

ACTAS DO
IX CONGRESO GALEGO DE ESTATÍSTICA
E INVESTIGACIÓN DE OPERACIÓNS

Ourense, 12–13–14 de Novembro de 2009

Organiza:
Departamento de Estatística e Investigación Operativa
Universidade de Vigo

Editores: Tomás R. Cotos Yañez
Manuel Alfredo Mosquera Rodríguez
Ana Pérez González

Imprime: Gráficas Suevia
San Roque, 78
36204 VIGO
Telf.: 986 418 974

I.S.B.N.: 978-84-613-6906-5

D. L.: VG 1449-2009

Comité Científico

Gustavo Bergantiños Cid (Universidade de Vigo)
Ricardo Cao Abad (Universidade da Coruña)
Jacobo de Uña Álvarez (Universidade de Vigo)
Wenceslao González Manteiga (Universidade de Santiago de Compostela)
Antonio Vaamonde Liste (Universidade de Vigo)

Comité Organizador

Presidentes

Tomás R. Cotos Yáñez (Universidade de Vigo)
Carlos F. González Salgueiro (Universidade de Vigo)

Secretaria

Ana Pérez González (Universidade de Vigo)

Vogais

Juan José Barreiro Iglesias (Universidade de Vigo)
M^a Isabel Fariñas Pérez (Instituto Nacional de Estadística)
M^a Gloria Fiestras Janeiro (Universidade de Vigo)
Manuel Alfredo Mosquera Rodríguez (Universidade de Vigo)
José Vicente Novegil Souto (Universidade de Vigo)
Juan Carlos Pardo Fernández (Universidade de Vigo)
Javier Roca Pardiñas (Universidade de Vigo)
Patricio Sánchez Fernández (Universidade de Vigo)

Presentación

O Departamento de Estatística e Investigación Operativa da Universidade de Vigo ten a honra de organizar o IX Congreso da Sociedade Galega para a Promoción da Estatística e da Investigación de Operacións (SGAPEIO). Dáse así continuidade a iniciativa de facilitar un foro onde se poidan atopar os profesionais, docentes, investigadores e estudantes interesados nesta área de coñecemento.

Este libro de actas contén os resumos das sete conferencias invitadas, as vintedúas comunicacións orais e as trinta e catro comunicacións en forma de póster. Agradecemos aos autores destes traballos pola súa contribución ao congreso.

O congreso celebrárase no Centro Cultural da Deputación de Ourense e na Facultade de Ciencias Empresariais e Turismo de Ourense. No programa detallado, que se pode atopar xunto coa documentación entregado aos congresistas, figuran os lugares e horas de exposición de cada conferencia invitada, comunicación oral ou comunicación en forma de póster. Este programa detallado tamén se atopa na páxina web do congreso, baixo a dirección:

<http://ixsgapeio.uvigo.es>

COLABORAN



Índice xeral

Comunicacións Invitadas

Estadística y Bioinformática: Una pareja no tan extraña	
<i>Alex Sánchez Pla</i>	3
¿Tecnología o metodología en el aprendizaje de la estadística?	
<i>José Vicente Novogil Souto</i>	5
Educación Estadística en los niveles no universitarios. Oportunidades y desafíos actuales	
<i>Carmen Batanero</i>	7
Transporte de personas en superficie: de la estrategia a la acción	
<i>Miquel Salicrú</i>	13
Algunas aplicaciones de la Teoría de Juegos a problemas de transporte público	
<i>Joaquín Sánchez Soriano</i>	19
Modelo de Análisis de las Estadísticas de Demanda Turística en España: Matriz origen-destino del turismo interno	
<i>Teresa Guardia y Juan Muro</i>	21
Recurrent events in psychiatric epidemiology	
<i>Per Kragh Andersen</i>	27

Sesión de Docencia de Estadística e Investigación de Operacións

Estudio preliminar de las actitudes de profesores portugueses hacia la estadística	
<i>J. A. Martins, M. M. Nascimento y A. Estrada</i>	31
Consideraciones histórico-didácticas relativas a un ensayo de Alan M. Turing sobre el Teorema Central del Límite	
<i>M. A. Mirás Calvo</i>	37
Realización de estudios bioestadísticos con software libre: EPILINUX	
<i>M. A. Rodríguez Muñíos, T. Seoane Pillado, X. Hervada Vidal y C. Cadarso Suárez</i>	45
EPIDAT 4.0: una herramienta de apoyo para la enseñanza de la estadística	
<i>M. I. Santiago Pérez, G. Naveira Barbeito y Equipo de Epidat 4</i>	49
An experimental study on the resolution of linear programming problems on High School classrooms	
<i>A. Teixeira y H. Monteiro</i>	53

Sesión de Inferencia non Paramétrica

Estimación en áreas pequeñas: el ingreso medio mensual por hogar en las comarcas gallegas <i>R. Domínguez Gómez, M. J. Lombardía Cortiña, E. López Vizcaíno, W. González Manteiga y J. M. Prada Sánchez</i>	61
Procesos puntuales espaciales aplicados al estudio de los incendios forestales en Galicia <i>I. Fuentes Santos, W. González Manteiga y M. F. Marey Pérez</i>	67
Predicción de la abundancia de merluza argentina en el atlántico suroeste utilizando una red neuronal <i>L. González Vilas, M. Darriba Estévez y J. M. Torres Palenzuela</i>	73
Diferenciación geográfica de la talla mínima de captura de pollicipes pollicipes (Gmelin, 1789) en la costa atlántica gallega. Interacciones factor-por-curva <i>M. Sestelo, J. Roca-Pardiñas, V. Lustres Pérez y E. Fernández Pulpeiro</i>	79

Sesión de Aplicacións da Estatística

Análisis de potenciales de comercio internacional mediante el empleo de modelos gravitacionales <i>C. Martínez de Ibarreta Zorita, A. Rúa Vieites, R. Redondo Palomo y A. Arahetes García</i>	85
Influencia de la vacuna neumocócica conjugada sobre los ingresos hospitalarios por neumonía en Galicia <i>G. Naveira Barbeito, M. I. Santiago Pérez y A. Malvar Pintos</i>	93
La metrología en el control estadístico de procesos <i>S. Naya Fernández</i>	97

Sesión de Investigación de Operacións

On problems in public passenger transport flexible systems <i>A. Dias, J. Telhada y M. S. Carvalho</i>	103
Adaptación y optimización del algoritmo Clarke&Wright a un problema de distribución multirestrictivo <i>J. J. Novelle, J. Campos, A. Formella, P. Carrión y J. F. Gálvez</i>	109
Integration and automation of multi-methodological algorithms for routing problems arising in flexible passenger public transport systems <i>J. Oliveira, J. Telhada y M. S. Carvalho</i>	115
A flexible optimization tool for inbound flows in a 2nd TIER automotive industry <i>L. C. Oliveira, M. Figueiredo y R. Lima</i>	123
Flowchart simulation - a tool for the automatic generation of simulation programs <i>G. Pereira, L. Dias y B. Ferreira</i>	129
Conceptual model of the construction logistics network <i>T. Pinho, J. Telhada y M. S. Carvalho</i>	135
A heuristic method for the generalized assignment problem <i>B. Silva y J. A. Oliveira</i>	143

Sesión de Teoría de Xogos

Bayesian-Nash equilibria in theory of reasoned action <i>L. Almeida, J. Cruz, H. Ferreira y A. Pinto</i>	151
El valor coalicional proporcional de Shapley <i>J. M. Alonso Meijide y F. Carreras</i>	159
Repeated anonymous random matching games: community enforcement beyond the Prisoner's Dilemma <i>J. Deb y J. González Díaz</i>	161

Posters

The Banzhaf value in TU games with restricted communications <i>M. Álvarez Mozos, J. M. Alonso Meijide y M. G. Fiestras Janeiro</i>	165
Análisis de regresión para un estudio caso-control con datos apareados <i>M. T. Alves-Pérez, J. Cubiella-Fernández, M. J. García García y I. Martínez-Silva</i>	167
Mercado de traspaso de jugadores: variables determinantes del precio <i>A. Barajas Alonso y P. Sánchez Fernández</i>	173
New characterizations of the family of obligation rules for minimum cost spanning tree problems <i>G. Bergantiños, L. Lorenzo y S. Lorenzo-Freire</i>	177
A reactive tabu search algorithm for the pickup and delivery routing problem with time windows. <i>A. Caldas, L. Carpenente y S. Lorenzo-Freire</i>	181
A maintenance optimization model for two interactive failure modes <i>M. Carvalho, J. Telhada y E. Nunes</i>	187
The museum pass problem: a case study using weighted bankruptcy rules <i>B. Casas Méndez, V. Fragnelli y I. García Jurado</i>	195
Recursos para exploración de la probabilidad condicional en internet <i>J. M. Contreras, C. Díaz y C. Batanero</i>	201
Predicción del nivel de actividad física en adolescentes a partir de diversos factores bio-sociales de influencia <i>C. A. Cordente Martínez, P. García Soidán, M. Sillero Quintana y J. Stirling</i>	207
Estimación mínimo-cadrática de tendencias espaciais non lineais <i>R. M. Crujeiras Casais y I. van Keilegom</i>	211
La estadística en el estudio de los paisajes rocosos (morfología granítica) <i>E. de Uña Álvarez</i>	213
Using environmental data and non-parametric additive regression models to study the Merluccius Hubbsi commercial fisheries efforts for the galician fleet in the South West Atlantic <i>R. Fernández Casal, J. M. Torres Palenzuela, T. R. Cotos Yáñez, M. Darriba Estévez y A. Pérez González</i>	219
Imaxes clasificadas automáticamente cunha ferramenta gratuita desenrolada por SICUBO S. L. <i>P. García Rodríguez, J. Arias, F. Calle y F. López</i>	225
A administración pública como fonte de datos da mobilidade laboral na eurorexión Galicia-Norte de Portugal <i>P. García Soidán, M. Valcarce Fernández, M. Fernández Prieto y F. Fernández Prol</i>	231

An application of the orthonormal series covariance to the Coal-Ash data	
<i>P. García Soidán y R. Menezes</i>	235
Balanced per capita contributions and level structure of cooperation	
<i>M. Gómez Rúa y J. J. Vidal Puga</i>	239
Estudio estadístico de las amenazas y oportunidades percibidas por las empresas gallegas antes de la crisis	
<i>A. T. González-Portela Garrido, A. Vaamonde Liste y J. L. Sáez Ocejo</i>	243
La subcontratación de servicios en las empresas gallegas	
<i>A. T. González-Portela Garrido, A. Vaamonde Liste y P. Cabanelas Lorenzo</i>	251
SWOT analysis of Pakistan textile supply chain	
<i>D. Hussain, M. Figueiredo y F. Ferreira</i>	257
Comparación de dos selectores de la ventana en la estimación de la distribución condicional con censura	
<i>M. C. Iglesias Pérez</i>	265
Unha proposta para levar a estatística pública ás aulas: a colaboración do IGE con la Voz de Galicia no programa prensa-escuela	
<i>E. López Vizcaíno y E. Calvo Ocampo</i>	271
Estimación local de variables laborales. Una aplicación a las comarcas de Galicia	
<i>E. López Vizcaíno, P. Sánchez Fernández y A. Vaamonde Liste</i>	275
La crisis de empleo en Vigo. Análisis estadístico	
<i>R. Luaces Pazos, A. Vaamonde Liste, P. Sánchez Bello y P. Sánchez Fernández</i>	281
p3state.msm: software for the analysis of multi-state survival data	
<i>L. Meira-Machado y J. Roca-Pardiñas</i>	285
Estudo da inserción laboral dos titulados no SUG. O acceso ao emprego	
<i>S. Naya Fernández, M. J. Lombardía Cortiña, B. Fernández de Castro, V. Carreira, J. M. Matías, P. Faraldo y R. M. Crujeiras Casais</i>	291
Fuzzy performance measures in a high uncertainty context	
<i>E. Nunes y S. Sousa</i>	297
Impacts of the North Atlantic oscillation on the tourist arrivals to the Balearic Islands	
<i>M. Otero Giraldez, M. Álvarez Díaz y M. González Gómez</i>	303
Estimación de la producción de pienso usando técnicas de Inteligencia Artificial	
<i>M. Pérez, M. Reboiro, J. López, D. González, R. Pavón y R. Laza</i>	311
La distribución del tamaño de las ciudades gallegas	
<i>F. Prieto y J. M. Sarabia</i>	319
La relación entre el desarrollo de la cuerna del corzo y su densidad ósea según la edad, la morfología y la genética	
<i>L. A. Ramil Novo, L. Rigueira Rey, J. M. Gonzalo Orden y L. E. Fidalgo Álvarez</i>	325
Vulnerabilidad social en Galicia I: descripción sociodemográfica mediante mapas perceptuales	
<i>A. Rua Vieites, R. Redondo Palomo, C. Martínez de Ibarreta Zorita y G. Malgesini</i>	335
Vulnerabilidad social en Galicia II: indicadores de riesgo	
<i>R. Redondo Palomo, A. Rua Vieites, C. Martínez de Ibarreta Zorita y A. Arahuetes Garcia</i>	341
Experiencias docentes en inglés en materias de Estadística y Teoría de Juegos	
<i>E. Sánchez Rodríguez y J. C. Pardo Fernández</i>	347
Aplicación del diseño de experimentos para el estudio comparativo de la estabilidad a la oxidación (OOT) de dos tipos de biodiesel	
<i>J. Tarrío-Saavedra, S. Naya Fernández, R. Artiaga y J. López-Beceiro</i>	351

Índice de Autores

357

Comunicaciones Invitadas

Estadística y Bioinformática: Una pareja no tan extraña

Alex Sánchez Pla^{1,2}

1 Departament d'Estatística. Universitat de Barcelona.

2 Unitat d'Estatística i Bioinformatica. Hospital Universitari Vall d'Hebrón.

RESUMEN

La llegada de la “era genómica”, caracterizada por la decodificación del genoma humano, ha sido posible gracias, entre otros factores, a una intensa colaboración entre la Bioinformática y la Estadística. Esta colaboración se intensificó aún más a partir de la década pasada cuando temas como el análisis de microarrays o los estudios de genoma completo atrajeron a un gran número de estadísticos, generando la publicación de miles de artículos. Y sin embargo esto solo ha sido el comienzo. Diez años después de disponer de primer borrador del genoma humano continúan apareciendo nuevas tecnologías, como la ultrasecuenciación, y generándose nuevos datos que requieren una implicación cada vez mayor por parte de los estadísticos.

Los retos presentados por la interacción entre bioinformática y estadística son científicos y sociales a la vez. No se trata tan sólo de pensar en que problemas se puede afrontar sino de planificar adecuadamente la financiación de la investigación, la educación (bio)estadística o la creación de los lugares y puestos de trabajo adecuados. El papel de las sociedades científicas, su interrelación para comprender y potenciar éste campo interdisciplinar, será sin duda definitivo en lograr que esta actividad pueda consolidarse en el medio plazo, tal como ha sucedido en otros países.

Palabras e frases clave: Bioinformática, Estadística, Biomedicina Genómica, Proteómica, Biología de Sistemas,

REFERENCIAS

- Ewens, W.J. and Grant, G.R. (Second edition, 2005). *Statistical Methods in Bioinformatics - an Introduction*. New York, Springer-Verlag.
- Mardia, K.V. (2005). A vision of statistical bioinformatics. *Quantitative Biology, Shape Analysis, and Wavelets*, 9-20. Edited by Barber, S., Baxter, P.D., Mardia, K.V. and Walls, R.E. Leeds, Leeds University Press.

¿TECNOLOGIA O METODOLOGÍA EN EL APRENDIZAJE DE LA ESTADÍSTICA?

José Vicente Novegil Souto¹

¹ Universidade de Vigo

RESUMEN

Del mismo modo que el trabajo cotidiano de los estadísticos ha sufrido una gran transformación con la utilización de las nuevas tecnologías, así también el proceso de enseñanza y aprendizaje de la estadística. Las nuevas herramientas tecnológicas de uso en docencia y aprendizaje vienen de la mano de la web2.0. Fomentan la creación de espacios abiertos con la posibilidad de crear redes virtuales entre los profesores. Se necesita por tanto readaptar las estrategias clásicas para el aprendizaje de la estadística e incorporar la innovación a través de la investigación en didáctica de la estadística.

Palabras y frases clave: aprendizaje, didáctica, diseño instruccional, estadística, investigación, web2.0.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, es difícil imaginar la enseñanza de la estadística sin usar algún tipo de tecnología para la información y comunicación -TIC-.

La incorporación de las TIC en cualquier proceso de enseñanza y aprendizaje es ya una práctica generalizada para cualquier ámbito del conocimiento.

A modo de ejemplo, en nuestra docencia estadística, es habitual encontrarse con:

- Las clases de laboratorio con software específico de tratamiento de datos, de construcción de modelos, etc.
- Los estudiantes trabajando en su propio equipo portátil con diferentes aspectos prácticos.
- La proyección una clase utilizando simulaciones para ilustrar conceptos teóricos que surgen de la práctica.

A todo ello hay que sumar la disponibilidad de recursos en red y la web 2.0 que están incorporando, en todos los niveles de educación, "nuevas herramientas" susceptibles de poder ser usadas en el aprendizaje de la estadística.

Mentalizar a nuestros profesores que el conocimiento es abierto. El nuevo principio de la economía es el conocimiento irrenunciable: "el conocimiento que se comparte crece y mejora". (Peralta 2009)

La introducción de tecnología en el proceso de enseñanza y aprendizaje está teniendo un gran impacto, produciendo un cambio tal vez más acusado en la estadística que en otras disciplinas.

2. LA INTERACCIÓN TECNOLOGÍA-METODOLOGÍA

Un nuevo marco de actuación se configura para la enseñanza de la estadística con base a la interacción entre tecnología y metodología. Este cambio se focaliza en diferentes aspectos interrelacionados que implican: contenidos, metodología y formato.

Cambios en los contenidos.

- La tecnología ha proporcionado nuevos métodos para visualizar y explorar los datos que a su vez ha conducido hacia nuevos métodos de análisis de datos.
- Podemos calcular, de un modo más aproximado que con el uso de tablas, los p-valores con el uso de calculadoras y ordenadores.

- Es posible trabajar con modelos más complejos que en el pasado utilizando la ayuda de los ordenadores.
- Los tópicos como el cálculo abreviado de la desviación típica ya no son necesarios.

Cambios metodológicos

La tecnología no comporta necesariamente una metodología didáctica adaptada a la enseñanza y aprendizaje de la estadística. El fin último del uso tecnológico no es el cálculo numérico "Per se". El profesor ha poner énfasis en explorar conceptos e ideas y en fomentar el aprendizaje del estudiante.

"More appropriate uses of technology are accessing, analysing, and interpreting large real data sets, automating calculations and processes, generating and modifying appropriate statistical graphics and models, performing simulations to illustrate abstract concepts and exploring "what happens if..." type questions." (Garfield and Ben-Zvi 2008)

Deberíamos concentrarnos en habilidades como:

- selección de las herramientas adecuadas
- evaluación de la validez de técnicas diferentes.
- utilidad de las herramientas gráficas para el análisis exploratorio de datos.
- proporcionar las interpretaciones adecuadas a partir de los resultados de tratamiento de datos.
- evaluar y comunicar de forma correcta las conclusiones

Cambios en el formato de los cursos

La tecnología también ha modificado el Diseño Instruccional (DI) de los cursos de estadística en diferentes tópicos. Ahora metodología y tecnología deberían aliarse con el fin de adaptar el formato más adecuado al conjunto de estudiantes.

- Estadística 2.0. Las vías por las que proporcionamos la información a los estudiantes, quienes a su vez la comparten entre ellos: Blogs, Wiki, Redes Sociales, Marcadores Sociales, Sindicación, etc. La comunicación social es la base para la construcción del conocimiento y aprendizaje de la estadística.
- Entornos Virtuales versus Entornos Personales de aprendizaje. Los caminos en que se construye el aprendizaje a través del trabajo activo y colaborativo.
- Learning Objects: Utilización de repositorios de Objetos de Aprendizaje.
- Nuevos métodos de evaluación: e-portfolios, evaluación por pares, cuestionarios de autoevaluación, etc.

3. CONCLUSIONES

Los cambios metodológicos propiciados por la introducción de la tecnología han de venir dados de la mano de la investigación en la validez de los métodos didácticos utilizados.

Importantes cuestiones deben ser abordadas sobre el papel de la tecnología y su utilización desde parámetros metodológicos:

- ¿Cual es el impacto de la tecnología en la metodología didáctica y en el formato de los cursos?
- ¿Cuáles son las herramientas disponibles y como deben utilizarse?
- ¿Qué ganamos al usar tecnología para guiar el proceso de enseñanza y aprendizaje?
- ¿Qué recomendaciones podríamos dar al instructor y qué obstáculos y aspectos de implementación debemos tener en cuenta al seleccionar diferentes herramientas?

REFERENCIAS

Garfield, J.B. and Ben-Zvi, D. (2008) Developing Students' Statistical Reasoning. Springer Science + Business Media B.V.

Peralta, J (2009) Diez pasos para introducir la Web 2.0 en las Universidades. Disponible on-line en <http://formacion-peru.universiablogs.net/2009/10/09/diez-pasos-para-introducir-la-web-20-en-las-universidades/> Consultado el 9 de octubre de 2009. Formación 2.0 Blog Universia

EDUCACIÓN ESTADÍSTICA EN LOS NIVELES NO UNIVERSITARIOS. OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS ACTUALES

Carmen Batanero

Universidad de Granada

RESUMEN

Los Decretos de Enseñanzas Mínimas amplían la enseñanza de la estadística, comenzando desde el primer ciclo de la Educación Primaria y reforzando los contenidos. Se sugiere también un cambio en la metodología de enseñanza para hacerla más exploratoria y reforzar los aspectos intuitivos. Con estas directrices, nuestro país se incorpora a la tendencia mundial de reforzar la cultura estadística de los ciudadanos, además de asegurar una preparación óptima para abordar los contenidos de inferencia en la Universidad. En esta presentación reflexionamos sobre algunos de los retos que plantean estos Decretos para que la incorporación de la estadística a las aulas sea una realidad.

Palabras y frases clave: Enseñanza de la estadística, diseño curricular, formación de profesores.

1. INTRODUCCIÓN

La estadística es hoy parte del currículo de matemáticas en la Educación Primaria, Secundaria y Bachillerato en muchos países, debido a su utilidad en la vida diaria, su papel instrumental en otras disciplinas, la necesidad del conocimiento estocástico básico en muchas profesiones y su importancia en el desarrollo de un razonamiento crítico (Wild y Pfannkuch, 1999; Franklin et al., 2005).

Aunque la enseñanza de la estadística ha estado presente en la escuela en los últimos 20 años, encontramos una tendencia reciente a introducirla desde los primeros años y a renovar su enseñanza, haciéndola más experimental, en forma que se pueda proporcionar a los alumnos una experiencia estocástica desde su infancia (por ejemplo, NCTM, 2000; MEC 2006 a y b). La tendencia actual en muchos currículos es una estadística orientada a los datos, donde los estudiantes han de diseñar investigaciones, formular preguntas de investigación, recoger datos usando observaciones, encuestas o experimentos, describir y comparar conjuntos de datos, usar y comprender los gráficos y resúmenes estadísticos, proponer y justificar conclusiones y predicciones basadas en los datos (Burrill, 2006; Burrill y Camden, 2006). En España, los Decretos de Enseñanzas Mínimas también siguen estas tendencias, que resumimos a continuación, reflexionando a continuación sobre los retos que estos cambios plantean a los profesores de matemáticas.

2. ESTADÍSTICA EN LOS DECRETOS DE ENSEÑANZAS MÍNIMAS

Observamos un incremento de los contenidos de estadística que se recomiendan en las nuevas directrices. Por ejemplo en el Decreto de Enseñanzas Mínimas de la Educación Primaria (MEC, 2006a) se incluyen los siguientes contenidos dentro del Bloque Tratamiento de la información, azar y probabilidad del área de Matemáticas:

- Primer Ciclo: Gráficos estadísticos: Descripción verbal, obtención de información cualitativa e interpretación de elementos significativos de gráficos sencillos relativos a fenómenos cercanos. Utilización de técnicas elementales para la recogida y ordenación de datos en contextos familiares y cercanos. Azar y probabilidad: Carácter aleatorio de algunas experiencias. Distinción entre lo imposible,

lo seguro y aquello que es posible pero no seguro, y utilización en el lenguaje habitual, de expresiones relacionadas con la probabilidad.

- Segundo Ciclo: Gráficos y tablas: Tablas de datos. Iniciación al uso de estrategias eficaces de recuento de datos. Recogida y registro de datos sobre objetos, fenómenos y situaciones familiares utilizando técnicas elementales de encuesta, observación y medición. Lectura e interpretación de tablas de doble entrada de uso habitual en la vida cotidiana. Interpretación y descripción verbal de elementos significativos de gráficos sencillos relativos a fenómenos familiares. Azar y probabilidad: Valoración de los resultados de experiencias en las que interviene el azar, para apreciar que hay sucesos más o menos probables y la imposibilidad de predecir un resultado concreto. Introducción al lenguaje del azar.
- Tercer Ciclo: Gráficos y parámetros estadísticos: Recogida y registro de datos utilizando técnicas elementales de encuesta, observación y medición. Distintas formas de representar la información. Tipos de gráficos estadísticos. Valoración de la importancia de analizar críticamente las informaciones que se presentan a través de gráficos estadísticos. La media aritmética, la moda y el rango, aplicación a situaciones familiares. Azar y probabilidad: Presencia del azar en la vida cotidiana. Estimación del grado de probabilidad de un suceso

Estos contenidos se continúan en la Enseñanza Secundaria Obligatoria el Decreto de Enseñanzas Mínimas de la Educación Secundaria (MEC, 2006 b) incluye, entre otros, los gráficos y tablas (primer curso), las frecuencias acumuladas, medidas de centralización y uso de la hoja de cálculo (segundo curso), ideas de representatividad en muestreo, agrupación en intervalos y medidas de dispersión, cálculo de probabilidades mediante la regla de Laplace y estimación de las mismas mediante simulación y experimentación (tercero), fases de un estudio estadístico, experiencias compuestas, uso de tablas de contingencia y diagrama en árbol en el cálculo de probabilidad compuesta y condicionada.

En relación al Bachillerato, el Decreto 1467/2007, de 2 de noviembre, por el que se establece la estructura del Bachillerato y se fijan sus enseñanzas mínimas (MEC, 2007) fija los siguientes contenidos: Distribuciones bidimensionales. Relaciones entre dos variables estadísticas. Regresión lineal. Distribuciones binomial y normal en las Matemáticas I y en las Matemáticas aplicadas a las ciencias sociales II se llega incluso al estudio de las distribuciones de probabilidad de las medias y proporciones muestrales, intervalo de confianza para el parámetro p de una distribución binomial y para la media de una distribución normal de desviación típica conocida; Contraste de hipótesis para la proporción de una distribución binomial y para la media o diferencias de medias de distribuciones normales con desviación típica conocida.

Estos documentos se concentran en el desarrollo del razonamiento estadístico, que va más allá del conocimiento matemático y de la comprensión de los conceptos y procedimientos. Asimismo se quiere proporcionar una cultura estadística, “que se refiere a dos componentes interrelacionados: a) capacidad para interpretar y evaluar críticamente la información estadística, los argumentos apoyados en datos o los fenómenos estocásticos que las personas pueden encontrar en diversos contextos, incluyendo los medios de comunicación, pero no limitándose a ellos, y b) capacidad para discutir o comunicar sus opiniones respecto a tales informaciones estadísticas cuando sea relevante” (Gal, 2002, p. 2-3). Para que estas sugerencias se lleven al aula se requiere tener en cuenta varias consideraciones que analizamos a continuación.

3. ¿QUÉ RETOS IMPLICAN LAS NUEVAS DIRECTRICES CURRICULARES?

Formación de los profesores

El punto primordial es promover una actitud positiva hacia la estadística en los profesores, quienes tienen un papel esencial al interpretar el currículo y adaptarlo a las circunstancias específicas (Ponte, 2001). En consecuencia, el cambio de la enseñanza de la estadística en las escuelas e institutos dependerá del grado en que se pueda convencer a los profesores de que la estadística es uno de los temas más interesantes y útiles para sus estudiantes y que todos ellos tienen capacidad para adquirir algunos conceptos elementales.

También se requiere una mejor preparación estadística de los profesores, sobre todos los de Educación Primaria, que no han tenido una formación específica en la materia. Muchas de las actividades que realiza el profesor, tales como “indagar lo que los estudiantes conocen, elegir y manejar representaciones de las ideas matemáticas, seleccionar y modificar los libros de texto, decidir entre modos posibles de acción (Ball, Lubienski y Mewborn, 2001) dependen de su razonamiento y pensamiento matemático. Como consecuencia, las decisiones instruccionales dependen del conocimiento que el profesor tiene sobre el contenido estadístico. Esto es un motivo de preocupación en el caso de los profesores de Educación Primaria, puesto que la investigación en

educación estadística está mostrando que muchos futuros profesores en este nivel educativo mantienen inconscientemente una variedad de dificultades y errores sobre la estadística que podrían transmitir a sus estudiantes.

Por ejemplo, Estrada y Batanero (2008) encontraron en su estudio una proporción preocupante de futuros profesores de Educación Primaria que no dominan los conceptos elementales que han de enseñar a sus futuros alumnos. Un 45% de la muestra no tuvo en cuenta el efecto de los valores atípicos sobre la media, 28% mostraron una interpretación deficiente de la probabilidad frecuencial, 45% confundieron correlación y causalidad, 24% no invierten adecuadamente el algoritmo de la media, 30% fueron insensibles al sesgo en el muestreo, 15% pensaron que no es posible dar una estimación cuando hay fluctuación aleatoria y otro 30% tenía confusiones varias respecto al muestreo.

Respecto a los gráficos, Espinel, Bruno y Plasencia (2008) indican que en su muestra, dichos futuros profesores ni siquiera alcanzan el mismo nivel que otros estudiantes universitarios. Aunque los participantes en su estudio parecían comprender los elementos básicos de la estadística descriptiva, no tenían recursos para interpretar los gráficos, hacían errores respecto a la simetría, valores atípicos y frecuencias acumuladas. Tuvieron dificultades con la media y mediana y piensan sobre todo en términos de variables cualitativas, confundiendo en consecuencia los histogramas y gráficos de barras. Fallaron al interpretar la distribución de datos, centrándose tan sólo en aspectos específicos como la media o un valor aislado.

Todos estos profesores, incluidos los de Educación Secundaria y Bachillerato también necesitan formación en el conocimiento profesional relacionado con la educación estadística, a la que no pueden transferirse algunos principios generales válidos para otras ramas de las matemáticas (Batanero, Godino y Roa, 2004). Si queremos impulsar el desarrollo del conocimiento profesional del profesor, hemos de tener en cuenta los componentes de dicho conocimiento, que según Ball, Thames y Phelps (2005) incluye cuatro componentes: conocimiento común del contenido, conocimiento especializado del contenido, conocimiento del contenido y la enseñanza y conocimiento del contenido y los estudiantes. Godino y cols. (2008) proponemos un modelo general para el conocimiento profesional del profesor de matemáticas con seis componentes:

- Epistémico: Incluye el conocimiento matemático y reflexión epistemológica sobre el significado de los objetos particulares que se pretende enseñar, y el análisis de sus transformaciones para adaptarlos a los distintos niveles de enseñanza.
- Cognitivo: Dificultades, errores y obstáculos de los alumnos en el aprendizaje y sus estrategias en la resolución de problemas
- Mediacional. Medios didácticos: Análisis del currículo, situaciones didácticas, metodología de enseñanza para temas específicos y recursos didácticos específicos. Afectivo: actitudes, creencias y sentimientos de los estudiantes, sus intereses y motivaciones.
- Interaccional: Organización del discurso en la clase, interacciones entre estudiantes y de ellos con el profesor, incluyendo la evaluación.
- Ecológico: Relación del tema con otros en la materia o en otras disciplinas, así como condicionantes internos y externos en la enseñanza.

Psicología del razonamiento estadístico

Un segundo reto es la mejora de la intuición estocástica de los estudiantes, pues la investigación psicológica ha mostrado que muchos adultos, incluso con formación estadística, cometen errores en la toma de decisiones bajo incertidumbre en situaciones cotidianas. Kahneman Slovic y Tversky (1982) mostraron que las personas no siguen las reglas estadísticas de la inferencia y toma de decisión, usando en su lugar heurísticas que reducen la complejidad de los problemas de probabilidad, pero que causan errores y son resistentes al cambio. Por ejemplo, en la heurística de la representatividad las personas estiman la verosimilitud de un suceso teniendo sólo en cuenta su representatividad respecto a la población a la cual pertenece. Un error asociado es la creencia en la ley de los pequeños números, por la que se espera una convergencia de las frecuencias relativas en pequeñas muestras.

A pesar de los esfuerzos, las concepciones erróneas permanecen después de la instrucción formal en estadística. Debiéramos preguntarnos por qué la enseñanza actual de la estadística no mejora las intuiciones y qué tendríamos que cambiar para remediar la situación. Quizás “la estadística debiera enseñarse a la vez que se muestran materiales sobre estrategias intuitivas y errores de inferencia”...” esto tendría la ventaja de aclarar los principios subyacentes de la estadística y probabilidad y facilitar que se aprecie su aplicación a situaciones concretas” (Nisbett y Ross, 1980, p.281).

La naturaleza “avanzada” de la estocástica

Otro problema didáctico es que las fronteras entre el pensamiento estadístico elemental y avanzado no están claramente definidas. La matemática avanzada se caracteriza por el uso del álgebra y el cálculo y el razonamiento deductivo. Por el contrario, a veces enseñamos inferencia, diseño de experimentos, análisis multivariantes o procesos estocásticos a profesionales o estudiantes que no tienen una base matemática suficiente. Además, situaciones que aparecen en la práctica profesional –diagnóstico, evaluación, planificación de una investigación o proyecto, control de calidad-, requieren un razonamiento estocástico maduro en profesionales que no siempre tienen suficiente formación matemática o estadística avanzada.

Más aún, conceptos aparentemente simples enseñados en la escuela son de hecho complejos. Es, por ejemplo, difícil encontrar una definición simple que pueda aplicarse para juzgar la aleatoriedad de un fenómeno; que tendrá que deducirse del análisis estadístico de una secuencia de resultados, contrastándolo con diferentes modelos matemáticos. Tanto estos modelos como los contrastes que aplicaríamos son ideas estocásticas avanzadas y además, su comprensión correcta depende de la comprensión de la idea de aleatoriedad, por lo que llegamos a un círculo vicioso. Hemos de reflexionar, por tanto, sobre la dosis adecuada de formalización que hemos de usar al enseñar estadística y cómo hacer llegar ideas estadísticas avanzadas a una audiencia cada vez mayor.

Tecnología

Una posible solución al problema planteado en el anterior apartado es la tecnología, que ha reducido el tiempo de cálculo, permitiendo trabajar en clase con aplicaciones reales, en línea con el uso de proyectos y las tendencias curriculares descritas anteriormente. Las posibilidades de simulación y creación de micromundos estocásticos virtuales permiten explorar los conceptos de probabilidad e inferencia y sustituir las demostraciones formales por razonamientos más intuitivos; se añaden también las funciones de tutor y ayuda al autoestudio, evaluación y ejercitación (Biehler, 2003). Los cambios implicados por la tecnología sobre la práctica de la estadística también indican la necesidad de analizar la necesaria transformación de la enseñanza para tenerlos en cuenta (Shaughnessy, Garfield y Greer, 1996). Dado el creciente uso de la enseñanza a distancia y la variedad de recursos virtuales disponibles, la investigación didáctica ha de proporcionar recursos para analizar la enorme cantidad de información generada por la interacción entre alumnos y profesores en los nuevos ambientes de aprendizaje (Stangl, 2001).

Un punto esencial para introducir la tecnología en la clase de estadística será la adecuada preparación de los profesores, tanto desde el punto de vista técnico como didáctico (Sánchez e Izunza, 2006). La tecnología puede utilizarse tanto como amplificadores o como reorganizadores conceptuales para desarrollar la comprensión de ideas estadísticas en los profesores. Ello es necesario pues algunos futuros profesores tienen dificultades en la utilización adecuada del software para fomentar la comprensión de los alumnos y consideraban que la simulación es sólo útil después de estudiar la probabilidad de manera teórica. En otros casos, al trabajar con la tecnología pasan por alto las ideas previas correctas de los estudiantes, centrándose sólo en sus errores (Stohl, 2005). Desde el punto de vista didáctico necesitamos formar al profesor en los diferentes niveles del conocimiento profesional en relación con el uso de la tecnología (Llinares y Krainer, 2006).

4. CONCLUSIONES

Aunque en este trabajo nos hemos centrado en la enseñanza de la Estadística en los niveles no universitarios, problemas semejantes se encuentran también en la Universidad donde en este momento, se añade la problemática propia del proceso de Bolonia, en el que el centro de atención se desplaza de enseñar a enseñar a aprender. En consecuencia, los aprendizajes no presenciales y las nuevas formas de evaluación cobran protagonismo (Sousa y Novegil, 2007).

Aunque las universidades tratan de ayudar al profesorado en la implantación del nuevo sistema, los cursos ofertados no siempre son específicos de la materia, de modo que el profesor debe asumir la responsabilidad de autoformación en la didáctica de la estadística. En el futuro master de educación secundaria se contemplan cursos relacionados con la didáctica de la matemática, donde es de esperar algunos contenidos de didáctica que permita mejorar las actitudes del profesorado, aumentar su sensibilidad hacia la dificultad que otras personas pueden tener en esta materia y capacitarlos para la enseñanza. Somos conscientes de que la variedad de conocimientos requeridos para estos cursos plantea el problema de elaborar materiales específicos, continuando

el trabajo que iniciamos en Batanero (2001). Esta responsabilidad la debieran tomar los propios estadísticos, si no queremos correr el peligro de matematizar excesivamente nuestra disciplina.

También reconocemos que la estadística es una ciencia en continuo cambio y expansión y que es necesario estar abiertos a las nuevas corrientes, tales como la inferencia bayesiana, o la estadística espacial. Estas nuevas tendencias necesitan ser difundidas y serán pronto objeto generalizado de enseñanza. Creemos que es necesaria aún mucha investigación y reflexión didáctica para poder seguir construyendo la Educación Estadística y concretándola en cursos destinados a futuros profesores. Esperamos que este trabajo logre interesar a otros investigadores por esta problemática.

Agradecimientos: Este trabajo forma parte del proyecto SEJ2007-60110 (MEC- FEDER).

REFERENCIAS

Ball, D. L., Lubienski, S. T., y Mewborn, D. S. (2001). Research on teaching mathematics: The unsolved problem of teachers' mathematical knowledge. En V. Richardson (Ed.), *Handbook of research on teaching* (pp. 433-456). Washington, DC: American Educational Research Association.

Ball, D. L., Thames, M. H. y Phelps, G. (2005). Articulating domains of mathematical knowledge for teaching. Online: www-personal.umich.edu/~dball/.

Batanero, C. (2001). *Didáctica de la Estadística*. Granada: Grupo de Investigación en Educación Estadística. Didáctica de las Matemáticas.

Batanero, C., Godino, J. D., y Roa, R. (2004). Training teachers to teach probability. *Journal of Statistics Education*, 12. On line: <http://www.amstat.org/publications/jse/>.

Biehler, R. (2003). Interrelated learning and working environments for supporting the use of computer tools in introductory courses. En L. Weldon y J. Engel (Eds.), *Proceedings of IASE Conference on Teaching Statistics and the Internet*. Berlin: IASE.

Burrill, G. (Ed.) (2006). *NCTM 2006 Yearbook: Thinking and reasoning with data and chance* (pp. 309-321). Reston, VA: NCTM.

Burrill, G., y Camden (Eds.) (2006). *Curricular development in statistics education: IASE 2004 Roundtable*. Voorburg: International Association for Statistical Education. On line: <http://www.stat.auckland.ac.nz/~iase/>.

Estrada, A. (2007). Actitudes hacia la estadística: un estudio con profesores de educación primaria en formación y en ejercicio. En M. Camaño, P. Flores y P. Bolea (Eds.), *Investigación en Educación Matemática XI* (pp. 121-140). Tenerife: Sociedad Española de Investigación en Educación Matemática.

Estrada, A. y Batanero, C. (2008). Explaining teachers' attitudes towards statistics. En C. Batanero, G. Burrill, C. Reading y A. Rossman (Eds.), *Joint ICMI/IASE Study: Teaching Statistics in School Mathematics. Challenges for Teaching and Teacher Education*. Proceedings of the ICMI Study 18 and 2008 IASE Round Table Conference. Monterrey, Mexico: International Commission on Mathematical Instruction and International Association for Statistical Education.

Espinel, C., Bruno, A. y Plasencia, I. (2008). Statistical graphs in the training of teachers. En C. Batanero, G. Burrill, C. Reading y A. Rossman (Eds.) (Eds.), *Joint ICMI/IASE Study: Teaching Statistics in School Mathematics. Challenges for Teaching and Teacher Education*. Proceedings of the ICMI Study 18 and 2008 IASE Round Table Conference. Monterrey, Mexico: International Commission on Mathematical Instruction and International Association for Statistical Education.

Franklin, C., Kader, G., Mewborn, D. S., Moreno, J., Peck, R., Perry, M. y Scheaffer, R. (2005). *A curriculum framework for K-12 statistics education. GAISE report*. <http://www.amstat.org/education/gaise/>.

Gal, I. (2002). Adult's statistical literacy. Meanings, components, responsibilities. *International Statistical Review*, 70 (1), 1-25.

- Godino, J., Batanero, C., Roa, R. y Wilhelmi, M. R. (2008). Assessing and developing pedagogical content and statistical knowledge of primary school teachers through project work. En C. Batanero, G. Burrill, C. Reading y A. Rossman (Eds.), *Joint ICMI/IASE Study: Teaching Statistics in School Mathematics. Challenges for Teaching and Teacher Education. Proceedings of the ICMI Study 18 and 2008 IASE Round Table Conference*. Monterrey, Mexico: International Commission on Mathematical Instruction and International Association for Statistical Education.
- Kahneman, D., Slovic, P. y Tversky, A. (1982). *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases*. New York: Cambridge University Press.
- Llinares S. y Krainer K. (2006) Mathematics (student) teachers and teacher educators as learners. En A. Gutierrez y P. Boero (Eds), *Handbook of Research on the Psychology of Mathematics Education* (pp. 429 – 459). Rotherdam: Sense Publishers.
- MEC (2006a). *Real Decreto 1513/2006, de 7 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas de la Educación primaria*.
- MEC (2006b). *Real Decreto 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria*.
- MEC (2007). *Real Decreto 1467/2007, de 2 de noviembre, por el que se establece la estructura del bachillerato y se fijan sus enseñanzas mínimas*.
- NCTM (2000). *Principles and standards for school mathematics*. Reston, VA; NCTM. <http://standards.nctm.org/>.
- Nisbett, R. y Ross, L. (1980). Human inference: Strategies and shortcomings of social Education, 4(1). On line: www.amstat.org/publications/jse/.
- Ponte, J. P. (2001). Investigating in mathematics and in learning to teach mathematics. In T. J. Cooney & F. L. Lin (Eds.), *Making sense of mathematics teacher education* (pp. 53-72). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Sánchez, E. e Izunza, S. (2006). Meanings' construction about sampling distributions in a dynamic statistics environment. En A. Rossman y B. Chance (Eds.), *Proceedings of the Seventh International Conference on Teaching Statistics*. Salvador (Bahia), Brazil: International Association for Statistical Education. CD ROM.
- Stohl, H. (2005). Probability in teacher education and development. En G. Jones (Ed.). *Exploring probability in schools: Challenges for teaching and learning* (pp. 345-366). New York: Springer.
- Shaughnessy, J. M., Garfield, J. y Greer, B. (1996). Data handling. En A. Bishop et al. (Eds.), *International handbook of mathematics education* (pp. 205-237). Dordrecht: Kluwer.
- Sousa, B. C. y Novegil, J. V. (2007). A techno-pedagogical design for assessment within the Bologna reform: a cross-border experiment. *IASE Satellite Conference On Assessing Student Learning in Statistics*. Guimarães.
- Stangl D. (2001). Design of an internet course for training medical researchers in Bayesian statistical methods. En C. Batanero (Ed.), *Training Researchers in the Use of Statistics* (pp. 147-157). Granada: International Association for Statistical Education and International Statistical Institute.
- Wild, C. y Pfannkuch, M. (1999). Statistical thinking in empirical enquiry. *International Statistical Review*, 67(3), 221-248.

TRANSPORTE DE PERSONAS EN SUPERFICIE: DE LA ESTRATEGIA A LA ACCIÓN

Miquel Salicrú

Departament d'Estadística. Universitat de Barcelona

RESUMEN

Los cambios políticos, económicos y sociales que se han producido en los últimos años han obligado a las empresas de transporte a impulsar un proceso de reflexión –en los ámbitos de la planificación y de la eficiencia operativa– para adaptarse a las necesidades e incrementar la capacidad de atracción de pasajeros. En este marco, presentamos en primer lugar el desarrollo de la iniciativa estratégica: “mejorar la puntualidad” introduciendo una alternativa a la construcción de tablas de tiempo basada en un desarrollo analítico y microsimulaciones. Para asegurar la eficiencia operativa, introducimos una estructura jerárquica de indicadores que permite identificar las causas raíz de no conformidad. Finalmente, comentamos algunos aspectos relativos a la integración tarifaria

Palabras y frases clave. Transporte de personas, puntualidad, construcción de horarios, control de la gestión, integración tarifaria

1. INTRODUCCIÓN

La gestión del transporte colectivo en el contexto de una realidad urbana está fuertemente condicionada por el modelo de ciudad, influido tanto por el urbanismo histórico como por los cambios en la sociedad. En este marco estático/dinámico, las empresas de transporte se comportan como un organismo vivo que se adapta a las necesidades de una ciudad o región metropolitana, impulsando la movilidad de los habitantes en transporte colectivo como alternativa al uso del vehículo privado y como instrumento para favorecer el desarrollo económico y social.

La naturaleza y la intensidad del cambio se expresan de forma distinta en cada entorno, y las causas deben buscarse de forma especial en la capacidad emprendedora de ámbito local y en el impacto diferencial que provoca la globalización de las economías y los mercados. En esta dirección, el impulso de la denominada “Sociedad de la Información y de las Comunicaciones” ha modificado la naturaleza del trabajo y los estilos de vida, la nueva “Cultura del Ocio” ha cambiado los hábitos de los ciudadanos y el incremento en la capacidad adquisitiva de los ciudadanos ha incorporado nuevas exigencias relacionadas con el cumplimiento del servicio, el confort, la información, la accesibilidad, la seguridad y el respeto al medio ambiente entre otros.

El cambio en las necesidades y exigencias de los ciudadanos ha obligado a muchas Empresas de Transporte a impulsar procesos de reflexión en los ámbitos de la planificación estratégica y de la eficiencia operativa para garantizar una suficiente cobertura e incrementar la capacidad de atracción de pasajeros. En estos escenarios, el interés se focaliza en la satisfacción de expectativas y la estrategia se orienta a la realización de iniciativas que favorezcan el desarrollo en los ámbitos financiero, cliente, operativo y recursos/personas. Sin la acuciante presión del cambio, resulta también deseable que las empresas de transporte impulsen la innovación y mejora continua para conseguir los mayores niveles de satisfacción y eficiencia.

1.1. Expectativas y valores

La importancia estratégica de la movilidad como elemento impulsor del desarrollo regional, y la posibilidad de utilizarla para influir en la opinión de los ciudadanos, convierten el transporte público de personas en un instrumento extremadamente atractivo para los políticos, para el mundo sindical y para los medios de comunicación.

Desde la perspectiva privada, el beneficio empresarial –reconocido como finalidad última de la práctica empresarial– es el resultado de una cadena causal en la que se suceden los ámbitos financiero, comercial/cliente, procesos internos y recursos –humanos y materiales–. En contraposición, desde la perspectiva de la

Administración Pública la eficiencia operativa no es el único objetivo, y en algunas ocasiones, ni siquiera el objetivo principal.

Esta comunión público-privada explica el esfuerzo en reducir los costes operativos y en paralelo el despliegue de líneas de proximidad o de barrio, la incorporación y mantenimiento de líneas de baja ocupación, el impulso a las líneas nocturnas –en especial en fin de semana–, el mantenimiento de redes poco eficientes, la inversión en accesibilidad y respeto ambiental, o la ocupación intensiva en personas, entre otros.

Con este mosaico indeterminado de intereses, de forma genérica se plantea como objetivo último la generación de valor. En la práctica, una de las dificultades es identificar y compartir cual o cuales son los valores de interés y para que cliente o clientes.

1.2. Orientación estratégica, mejora e innovación

El Balanced Scorecard introducido por Kaplan & Norton (1992) es un modelo de gestión que traduce la estrategia en objetivos relacionados. En este contexto, para entender la coherencia entre los objetivos estratégicos, favorecer la priorización y la agrupación en el marco de los procesos, mejorar el conocimiento de la organización y facilitar la comunicación dentro de la organización, se introducen los mapas estratégicos, con tantas perspectivas como dimensiones clave tiene la organización.

Obviamente, este planteamiento debe adaptarse a las peculiaridades de cada organización. De forma genérica, en entornos público-privados, la orientación a la satisfacción de necesidades y expectativas de las partes interesadas conduce a relacionar el objeto de valor con la satisfacción de clientes –usuarios y administraciones– y con el cumplimiento económico establecido en los contratos programa –coeficiente de cobertura, inversiones y endeudamiento–. La perspectiva interna recoge las aspiraciones en los procesos internos que son críticos para el posicionamiento en el mercado y la perspectiva recursos recoge los elementos asociados a los recursos materiales y a capacidades, motivación y satisfacción de los recursos humanos.

Interesados en pasar de la estrategia a la acción, al mapa estratégico le acompañan las iniciativas y las acciones que le desarrollan, la previsión de recursos, los responsables y el calendario de ejecución. Por otro lado, para valorar el impacto –potencial– de las iniciativas estratégicas en los objetivos priorizados es interesante considerar la tabla cruzada de correlaciones.

1.3. Elementos estructurales en la explotación de BUS

De acuerdo con los análisis y estudios recogidos en Serman and Schofer (1976), Strathman and Hopper (1993), Strathman, Dueker and Kimpel (1999), Kittelson & Associates, Inc (2003), Olssona and Haugland (2004), Yin, Lam and Miller (2004), Kho, Park, Kim and Kim (2005), Chen, Yu, Zhang and Guo (2009), los elementos estructurales que condicionan el cumplimiento del servicio en explotación por horario o intervalo de paso son: la longitud de trayecto, el número de paradas, el espaciado entre paradas, las condiciones de tráfico, la disponibilidad de carriles de uso preferencial, posibilidad de adelantamientos, las condiciones de prioridad semafórica, la disponibilidad de equipos y conductores, y la ocupación prevista.

Consideraciones y orientaciones en estas direcciones pueden verse en Wirasinghe and Ghoneim (1981), Levinson (1983), Demetsky and Lin (1982), Furth and Rahbee (2000), Saka (2001), Alterkawi (2006), y Bauer, Kandler and Weiß (2006) entre otros.

1.4. Componentes del trabajo

Adecuada estrategia, buen plan de acciones, desarrollo apropiado de iniciativas, control de la gestión y acción eficiente frente a no conformidades son las palancas que conducen al éxito en la gestión. Conscientes que la puesta en práctica de la receta no es nada fácil, presentamos en este trabajo algunas aplicaciones que pueden servir de orientación en la consecución de valor.

En el ámbito más operativo de la gestión del transporte de personas, presentamos en la sección 2 un modelo de construcción de tablas de tiempo –construcción de horarios– orientado a maximizar la puntualidad manteniendo el coste, y en la sección 3 centramos el interés en identificar las causas raíz de no conformidad en base a la consideración de una estructura jerárquica de indicadores.

En entorno de la planificación estratégica, el objetivo es desarrollar una buena red de transportes que permitan una optimización de los recursos, reducir el impacto medioambiental y descolapsar las vías más transitadas. En este ámbito, comentamos algunos aspectos relativos a la integración tarifaria.

2. CONSTRUCCIÓN DE TABLAS DE TIEMPO

En el marco de la explotación de líneas por horario, hemos fijado nuestro interés en la satisfacción del cliente –maximizando la puntualidad– manteniendo el coste operativo. En esta dirección, fijada la función objetivo a maximizar,

$$\% \text{ Pasos por parada con Dif (TRP, TEH)} \in [-a, +b]$$

siendo Dif (TRP, TEH) = tiempo real de paso–tiempo establecido en horario, hemos establecido un criterio de construcción de tablas de tiempo y de horarios en base a la realización de los siguientes pasos:

2.1. Filtrado y depuración de trayectos aberrantes atípicos.

La necesidad de disponer de información fiable de referencia obliga a filtrar y depurar las fuentes de información. En esta dirección, para los tiempos de paso entre paradas en franja horaria y para los tiempos acumulados de paso –desde el origen de trayecto– se considera el intervalo de aceptación:

$$\text{med } I_{\text{pas}} \pm 2.9 \cdot \text{med } \{ |I_{\text{pas}} - \text{med } I_{\text{pas}}| \}$$

2.2. Fijar las bandas horarias.

La segmentación en franjas homogéneas la obtenemos en base a la consideración de un algoritmo de clasificación jerárquico con condiciones y establecer la relación entre el porcentaje admisible de discrepancias en los tiempos de paso por parada y la varianza máxima admisible.

En este sentido, para una línea/sentido con k paradas o maxinodos y para la franja horaria correspondiente a las horas $\{i_1, i_2, \dots, i_m\}$, la dispersión se relaciona con la variabilidad total en los tiempos de paso acumulados,

$$D^2(i_1, \dots, i_m) = \sum_{h=1}^k s_{\text{FH}}^2(i_1, \dots, i_m; h) \frac{\text{Pes}(i_1, \dots, i_m; h)}{\text{Pes}(i_1, \dots, i_m; \cdot)}$$

siendo $s_{\text{FH}}^2(i_1, \dots, i_m; h)$ la variabilidad total en los tiempos de paso acumulados en la parada h, $\text{Pes}(i_1, \dots, i_m; h)$ el peso de la parada h en la franja horaria correspondiente y $\text{Pes}(i_1, \dots, i_m; \cdot)$ el peso total de las paradas en la franja horaria. En este marco, se plantea la agrupación en franjas horarias consecutivas de forma que se minimice la dispersión.

Por otro lado, atendiendo a que los tiempos de paso acumulados dentro de una misma hora puede asociarse a la composición de leyes normales con soporte en la media, asegurar un porcentaje admisible p de discrepancias en tiempos de paso por parada en relación al intervalo de puntualidad [-a, +b] resulta equivalente a garantizar que la varianza en tiempos de paso acumulados correspondientes a la franja horaria es inferior a la máxima admisible:

$$\sigma_{\text{ADM}} = \frac{a + b}{2 \cdot F^{-1}(\frac{1}{2}(1 + \frac{p}{100}))}$$

Gráficamente, en la figura 1 se muestra un esquema.

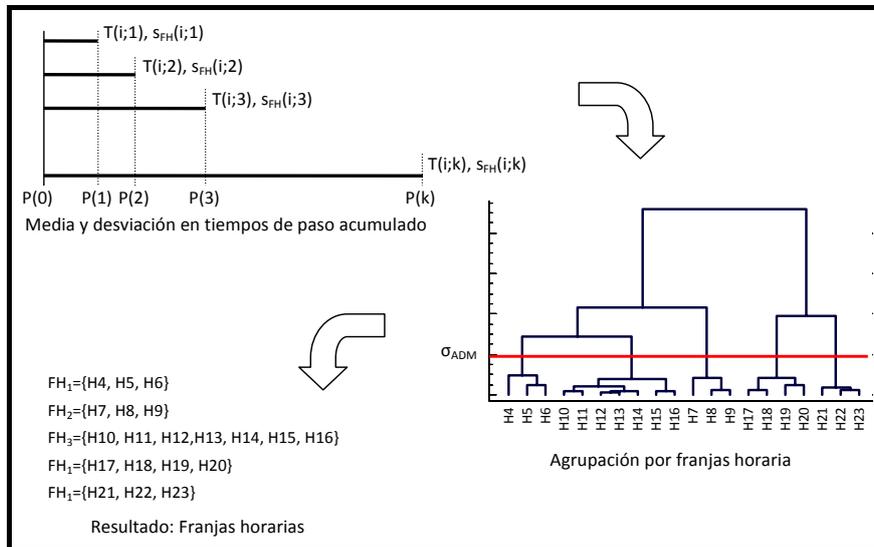


Figura 1. Agrupación en franjas horarias

2.3. Construcción de las tablas de tiempo de paso por parada.

De acuerdo con las consideraciones formuladas, maximizar la puntualidad requiere centrar en el intervalo objetivo [-a, +b] las diferencias entre los tiempos reales de paso y los establecidos en el horario. Por otro lado, es conocido que la desviación típica obtenida con los tiempos de paso acumulado por parada incrementa cuando se avanza en el trayecto de la línea/sentido. Por este motivo, para la parte inicial del trayecto –con poca variabilidad– estableceremos un intervalo objetivo [-a', +b'] más exigente y mantendremos el intervalo objetivo [-a, +b] para el resto del trayecto.

Con un tensado acorde con la varianza de la parada en cada franja horaria –con objetivo más exigentes en las paradas inicio de trayecto y con ajustes en paradas próximas–, el criterio considerado es:

$$T_{FH}(i_1, \dots, i_m; h)_{\text{horari}} = \begin{cases} T_{FH}(i_1, \dots, i_m; h) & \text{si } s_{FH}(i_1, \dots, i_m; h) \leq \frac{a'}{F^{-1}((1+p)/200)} \\ T_{FH}(i_1, \dots, i_m; h) - \frac{(b'-a')}{2} & \text{si } s_{FH}(i_1, \dots, i_m; h) \in \left(\frac{a'}{F^{-1}((1+p)/200)}, \frac{a'+b'}{2 \cdot F^{-1}((1+p)/200)} \right] \\ T_{FH}(i_1, \dots, i_m; h) - \frac{(b-a)}{2} & \text{si } s_{FH}(i_1, \dots, i_m; h) > \frac{a'+b'}{2 \cdot F^{-1}((1+p)/200)} \end{cases}$$

Además, se han plantado ajustes menores para garantizar la concordancia en las primeras paradas del trayecto, para paradas próximas y para la parte final del trayecto

2.4. Ajuste y validación.

Aprovechando la potencia computacional que permite la evaluación de distintas situaciones, hemos establecido un algoritmo para ajustar las bandas horarias y los tiempos de paso por parada. Para la situación óptima, obtenemos también la predicción de los resultados en puntualidad.

El proceso establecido en los apartados 2.1, 2.2 y 2.3 se basa en criterios de optimización con estimación de parámetros. A nivel práctico, es conveniente validar y ajustar la segmentación en franjas y la tabla de tiempos de paso por parada con un proceso de simulación con los registros históricos. En esta dirección, se plantean dos acciones:

- Acción 1.** Ajuste de bandas horarias. Para la segmentación en franjas horarias obtenida en el apartado 2.2: $FH_1 = \{H_1, H_2, \dots, H_{n(1)}\}$, $FH_2 = \{H_{n(1)+1}, H_{n(1)+2}, \dots, H_{n(2)}\}$, ..., $FH_k = \{H_{n(k-1)+1}, H_{n(k-1)+2}, \dots, H_{n(k)}\}$, se plantea un evaluar los escenarios que resultan de mover hasta las dos primeras horas o las dos últimas horas de la franja horaria adyacente. Con los registros históricos originales –no depurados y/o filtrados–, se calcula el porcentaje de pasos por parada que quedan fuera del intervalo objetivo $[-a, +b]$ y se escoge como definitiva la segmentación en franja horaria que maximiza la puntualidad objetivo.
- Acción 2.** De forma paralela, para las bandas horarias establecidas como definitivas en la acción anterior y para los tiempos de paso acumulados obtenidos con el protocolo definido en 2.3, se procede a ajustar los tiempos de paso con desviaciones de $\pm 1'$ y $\pm 2'$

2.5. Construcción de horario.

Para construir el horario no es suficiente con la tabla de tiempos, es necesario fijar el margen de maniobras – tiempo mínimo para la recuperación de incidencias TRI–, fijar la oferta de vehículos en función de la demanda y las posibilidades, asignar recursos: personas y vehículos, prever los puntos de relevo,.... En esta dirección, quisiéramos realizar las siguientes precisiones:

Para garantizar que el 99% de los vehículos puedan salir puntuales de la parada origen de trayecto, es necesario que el TRI satisfaga la condición:

$$TRI \geq 2.5 \cdot \sigma_{\text{trayecto}}(\text{banda horaria})$$

La asignación de recursos: personas y vehículos, la realizamos con el módulo ATP de HASTUS que permite optimizar los recursos disponibles.

Los microajustes necesarios para permitir los relevos durante el trayecto, se realizan de forma manual por programadores de línea.

Nota 1. Este planteamiento es compatible con los enfoques desarrollados por Ceder (1987), Palma y Lindsey (2001), y Ceder, Golany y Tal (2001), entre otros, si bien requiere de adaptar las funciones objetivo.

Nota 2. Para asegurar la aplicabilidad del modelo, hemos impulsado un desarrollo de software en el marco de la herramienta HASTUS.

3. JERARQUÍA DE INDICADORES

La apuesta por la competitividad impulsa a las empresas a proporcionar a sus clientes los productos o servicios que les aportan más valor. En este marco, reconocida la satisfacción de cliente como elemento de valor en el transporte de personas, y tomando como referente el modelo relacional SERVQUAL introducido por Parasuraman, Zeithaml y Berry (1985), el interés se centra en caracterizar las dimensiones operativas valoradas por el cliente: cumplimiento del servicio, capacidad de dar respuesta, confianza, empatía y elementos tangibles.

La adaptación de estos conceptos al transporte de personas en superficie, y la consideración de la lógica causa efecto en la que se suceden los niveles: dimensión de servicio, dimensión operativa y causa raíz, proporcionan una estructura jerarquizada de indicadores que favorece el seguimiento y la mejora del servicio.

La idea que subyace no es otra que jerarquizar los objetivos clave para el cliente en base a la consideración de relaciones causales o explicativas y trasladar esta jerarquía a los indicadores que los caracterizan. En el nivel superior se valora el impacto en el cliente y en los niveles inferiores el coste operativo –ver figura 2–.

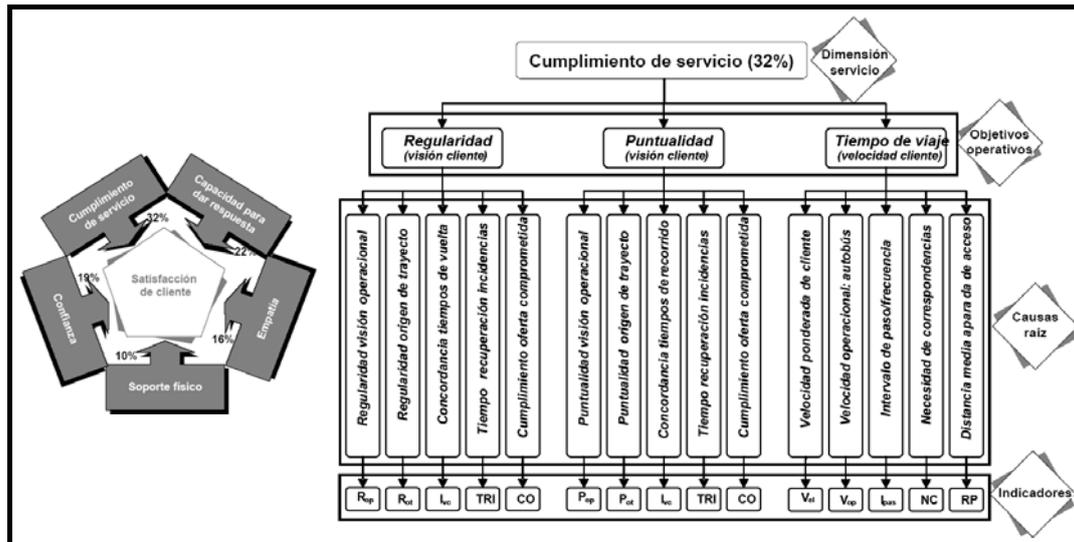


Figura 2. Estructura jerarquizada de indicadores en cumplimiento de servicio

En base a esta estructura jerarquizada de indicadores de gestión, es posible identificar oportunidades o no conformidades, analizar posibilidades y realizar acciones.

Para completar el dibujo, presentamos a título ilustrativo, la caracterización del indicador “regularidad visión cliente” –cumplimiento del intervalo de paso–. En esta dirección, para la parada i del trayecto j , se considera la desviación en exceso en el intervalo establecido en la programación:

$$R_{ij} = \max \left\{ 0, 100 - 100 \cdot \max \left\{ 0, \frac{I_{ij} - (1 + C_1)I_{ijo} - C_2}{I_{ijo}} \right\} \right\}$$

siendo I_{ij} el intervalo de paso real y I_{ijo} el intervalo de paso programado. Para niveles superiores de agregación, el indicador se obtiene por ponderación de pasaje afectado:

$$R_{ij}^{FH} (j = 1, \dots, s) = \sum_{j=1}^s R_{ij} \frac{u_{ij}}{\sum_{j=1}^s u_{ij}}$$

siendo u_{ij} el pasaje que accede en la parada i del trayecto j .

4. INTEGRACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

En los últimos años, las áreas metropolitanas y los entornos de las capitales se han configurado como una auténtica ciudad de ciudades, que han visto aumentada su movilidad debido principalmente a la consolidación de un único mercado de trabajo y a la reafirmación de la polaridad y de la capacidad de atracción de la ciudad. En este entorno, resulta evidente la necesidad de impulsar el transporte público en base a desarrollar una buena red de transportes que permita una optimización de los recursos, reducir el impacto medioambiental y descolapsar las vías más transitadas.

Para avanzar en esta dirección, las Autoridades del Transporte han impulsado la integración, entendiéndolo por tal, el proceso organizativo a través del cual los elementos del sistema de transporte (redes e infraestructuras, tarifas, billeteo, información, marketing, etc.) son el objeto de una interacción conjunta para conseguir un mejor resultado global.

Obviamente, el nivel de integración debe adaptarse a las necesidades y posibilidades de cada entorno, por lo que si bien la base operativa es común, el rango de elementos a tener en cuenta puede variar notablemente. Por interés y limitaciones de espacio, centramos nuestra atención en las áreas básicas de decisión.

- **Tecnología.** Para conseguir la compatibilidad de los títulos y de los sistemas de validación y venta, es necesario armonizar las máquinas de validación y venta, definir el soporte de los títulos y definir los parámetros de los títulos de transporte (banda magnética).
El sistema debe permitir al usuario viajar en diferentes empresas con un único título, la convivencia de los títulos propios de los operadores con los títulos integrados y recoger información suficiente para reconstruir las cadenas modales –para realizar la distribución de ingresos–
- **Política.** Conseguir los convenios de adhesión de las Empresas de Transporte al sistema tarifario integrado requiere: compartir la necesidad, el interés y los beneficios de la integración, y fijar las reglas de distribución de ingresos y de compensaciones.

- **Gestión.** El sistema debe gestionarse a dos niveles: económico y operativo. En el ámbito económico, los elementos a considerar son: establecimiento de precios, distribución automática de ingresos en función del uso y las cadenas modales, seguimiento de ventas y validaciones, determinación de los costes de integración y ajuste en la distribución de restos. En el ámbito operativo, los elementos a considerar son: gestionar la red de establecimientos de distribución de títulos, parametrización de títulos, reconstrucción de cadenas modales, asignación de viajes a títulos ilimitados, garantía en la seguridad en la transmisión de la información, favorecer el flujo de información entre la Autoridad del Transporte y los Operadores y auditar el sistema.
- **Usuarios.** Como beneficiarios últimos del proceso, los usuarios deben estar informados de la gama de títulos y sus características, la zonificación y los precios. Y todo ello debe ser de fácil comprensión, favoreciendo la fidelidad del usuario.

Reconocimientos. En el marco de los convenios de colaboración UB-TMB, se ha desarrollado el algoritmo para la construcción de tablas de tiempo y se ha construido la jerarquía de indicadores para el control de la gestión. La participación en la fiabilización del sistema tarifario integrado ha sido objeto de un proyecto de colaboración UB-ATM. A título personal, el autor quiere agradecer a A Ardanuy, JM Armengol, M. Capdet, M. Gabal, M.Gargallo, M. Fargas, R. Farré, Fernández-Buil, M. Lamas, LL. Pelaez, E. Ramos, J. Reviejo, C. Saura, E. Truco y E. Vilar sus valiosas aportaciones en la realización de los proyectos.

REFERENCIAS

- Alterkawi M.M. (2006). A computer simulation analysis for optimizing bus stops spacing: The case of Riyadh, Saudi Arabia. *Habitat International*, 30, 500–508
- Bauer M., Kandler A., Weiß H. (2006). Model of tram line operation. 17th International Conference on the Applications of Computer Science and Mathematics in Architecture and Civil Engineering K. Gürlebeck and C. Könke (eds.) Weimar, Germany.
- Ceder, A. (1987). Methods for creating bus timetables. *Transportation Research Part A*, 21, 59-83
- Ceder A., Golany B., Tal O. (2001). Creating bus timetables with maximal synchronization. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35, 913-928
- Demetsky, M. J., Lin, B. (1982). Bus stop location and design. *Transportation Engineering Journal of ASCE*, 108, 313–327.
- Furth, P. G., Rahbee, A. B. (2000). Optimal bus stop spacing through dynamic programming and geographic modeling. *Transportation Research Record*, 1731, 15–22.
- Kaplan, R. S., Norton D.P. (1992). The balanced scorecard - Measures that drive performance. *Harvard Business Review* (January-February): 71-79.
- Kittelson & Associates, Inc. (2003). *Transit Capacity and Quality of Service Manual*, second ed. TCRP Report 100, Transportation Research Board, National Research Council.
- Kho, S-Y., Park J-S., Kim Y-H., Kim E-H. (2005). A development of punctuality index for bus operation. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. 6, 492 – 504
- Levinson, H. S. (1983). Analyzing transit travel time performance. *Transportation Research Record*, 915, 1–6.
- Olsson N.O.E. and Haugland H. (2004). Influencing factors on train punctuality—results from some Norwegian studies. *Transport Policy*, 11, 387-397
- Palma A., Lindsey R. (2001). Optimal timetables for public transportation. *Transportation Research Part B: Methodological*. 35, 789-813
- Parasuraman A., Zeithaml V.A., Berry L.L (1985). A Conceptual Model of Service Quality and Its Implications for Future Research. *The Journal of Marketing*, 49(4) 41-50
- Saka, A. A. (2001). Model for determining optimum bus-stop spacing in urban areas. *Journal of Transportation Engineering*, 127, 195–199.
- Serman, B. and Schofer, J. (1976). Factors affecting reliability of urban bus services. *Transportation Engineering Journal* 102, 147–159
- Strathman, J., Hopper, J., (1993). Empirical analysis of bus transit on-time performance. *Transportation Research Part A*, 27, 93–100.
- Strathman, J., Dueker, K.J., Kimpel, T., (1999). Automated bus dispatching, operations control, and service reliability baseline analysis. *Journal of the Transportation Research Board*, 1666, 28–36.
- Wirasinghe, S. C., Ghoneim, N. S. (1981). Spacing of bus-stops for many to many travel demand. *Transportation Science*, 15, 210–221
- Chen, X., Yu L., Zhang Y., Guo J. (2009). Analyzing urban bus service reliability at the stop, route, and network levels. *Transportation Research Part A*, 43, 722–734
- Yin, Y., Lam, W., Miller, M., 2004. A simulation-based reliability assessment approach for congested transit network. *Journal of Advanced Transportation*, 38, 27–44.

Algunas aplicaciones de la teoría de juegos a problemas de transporte público

Joaquín Sánchez Soriano¹

1 I.U. Centro de Investigación Operativa, Universidad Miguel Hernández de Elche, España

RESUMO

El transporte público está formado por todos los medios de transporte en los que los pasajeros no son los propietarios de los mismos, siendo el servicio proporcionado por terceros. Los servicios de transporte público pueden ser provistos tanto por empresas públicas como privadas. Estos tienen el objetivo de facilitar el desplazamiento de personas desde un punto a otro, por ejemplo dentro de una misma ciudad (transporte urbano) o entre ciudades (transporte interurbano). La gran mayoría de las áreas geográficas poseen algún tipo de transporte público que permite la movilidad de sus individuos. El servicio de transporte de pasajeros es, en muchas ocasiones, responsabilidad de alguna administración pública (municipal, provincial, autonómica o nacional), aunque la administración pública correspondiente puede conceder licencias, a veces acompañadas de subvenciones para incentivar su puesta en marcha, a empresas privadas de transporte de pasajeros para que presten ese servicio.

El transporte público es parte esencial en la política de ordenación del transporte de pasajeros a todos los niveles: económico, social, medioambiental, de infraestructuras, etc. Entre muchas otras razones, se puede argumentar que disminuye la contaminación, ya que se utilizan menos vehículos, así como que permite el desplazamiento de personas que, no teniendo medio de transporte propio, necesitan recorrer largas distancias, relativas éstas al ámbito geográfico en el que nos circunscribamos y a sus propias circunstancias personales. También hay que considerar la posibilidad de personas que, aun teniendo la posibilidad de utilizar transporte propio, a veces no hacen uso de él para evitar, por ejemplo, los atascos en las ciudades, las dificultades de aparcar, el estrés que produce conducir o, simplemente, por comodidad y prefieren, al menos en algunas ocasiones, hacer uso del transporte público.

Entre los transportes públicos más habituales se encuentra el autobús. Los autobuses son prácticos y eficientes en rutas de corta y media distancia, siendo con frecuencia el medio de transporte más utilizado a nivel de transportes públicos, por constituir una opción más económica y sencilla de poner en práctica que otras alternativas. En la puesta en marcha de un servicio de transporte de pasajeros por autobús el primer paso será determinar las rutas a recorrer para prestar el servicio. La forma de llevar a cabo lo anterior dependerá de muchos factores, pero uno de los más relevantes, tanto para una administración pública como para una empresa privada, será el número (potencial o real) de usuarios que puede hacer uso del servicio de transporte una vez puesto en funcionamiento. Una vez determinada la ruta, el siguiente paso consiste en establecer las paradas de los autobuses a lo largo de la misma, con la finalidad habitual de prestar servicio al mayor número de usuarios, teniendo en cuenta el coste de prestación del mismo que ello supone y sus implicaciones tanto económicas como de otra índole.

De todo lo anterior podemos concluir que en el transporte de pasajeros existen diferentes agentes involucrados, por ejemplo, las empresas de transporte, las administraciones públicas y los usuarios finales; con intereses que pueden ser contrapuestos o no ir completamente en la misma dirección. Así, a modo de ejemplo, las empresas desean maximizar sus beneficios, las administraciones que el servicio se preste en unas determinadas condiciones a los ciudadanos y los usuarios finales que se preste el servicio con la mayor cobertura posible y con el menor coste para ellos. Todos estos intereses, generalmente, no podrán llevarse a la práctica de forma simultánea y, por lo tanto, estaremos ante un problema de conflicto de intereses. Una forma común de abordar este tipo de problemas suele ser haciendo uso de la Teoría de Juegos, por ser ésta la disciplina que tiene por objeto, precisamente, el estudio y análisis de tales situaciones.

En este trabajo se presentan diversos análisis, desde la perspectiva de la Teoría de Juegos, en transporte de pasajeros por autobús. En particular, se presenta un estudio de puesta en marcha de un servicio de transporte público por autobús para dar cobertura a los estudiantes universitarios en la provincia de Alicante. Este análisis se puede extrapolar a cualquier otra situación en la que exista la necesidad de conectar a través del transporte público por autobús un determinado número de ciudades o pueblos, o diversos puntos de una ciudad.

En primer lugar, se hace una breve revisión de los juegos cooperativos, incluyendo los principales elementos de los mimos y los conceptos de solución más conocidos. Se hará especial hincapié en el problema de reparto de costes, así como en las reglas de reparto, por ser este tipo de problemas los más cercanos a los que analizaremos posteriormente. A continuación, se presentarán los problemas de transporte por autobús mostrando sus principales características y proporcionando un modelo de juego cooperativo para describirlo, que denominaremos juego del autobús. Asimismo, se proporcionarán condiciones para que existan distribuciones de coste coalicionalmente estables, es decir, que el núcleo del juego es no vacío.

En segundo lugar, se presentará en detalle el problema del transporte de pasajeros por autobús para dar servicio a una determinada región geográfica, particularizando en el caso del transporte universitario en la provincia de Alicante. El primer intento de análisis será desde la perspectiva de los juegos cooperativos, estudiando en primer lugar la definición de los juegos cooperativos que se ajustan mejor a la situación descrita y, en base a ellos, se obtienen una serie de resultados sobre cómo distribuir los costes de la prestación del servicio de transporte. Analizando en detalle los modelos se observa que no se tienen en cuenta o se pierden algunos elementos relevantes del problema, por lo que es necesario otro enfoque que sí los considere.

Finalmente, se presenta un nuevo enfoque del problema, en este caso desde la perspectiva de los problemas de reparto de costes, que consideramos que sí recoge todos los aspectos relevantes del mismo. Este nuevo enfoque conlleva la consideración de dos tipos de costes y dos tipos de agentes, uno de los cuales es la institución pública interesada en que se proporcione el servicio de transporte público por autobús. Del análisis se obtiene una regla de distribución y de su aplicación al problema se obtienen como resultados por un lado, el coste para el usuario (el precio del billete) y, por otro lado, la subvención pública necesaria (si lo fuera) para hacer posible la prestación del servicio en los términos que se determinen.

Palabras e frases clave: Teoría de Juegos, juegos cooperativos, transporte público, autobuses.

REFERENCIAS

- Driessen T. (1988) Cooperative Games, Solutions and Applications. Kluwer Academic Publishers.
- Fagnelli, V., García-Jurado, I. and Méndez-Naya, L. (2004) A note on bus games. Economics Letters, 82, 99-106.
- Sánchez-Soriano, J., Llorca, N., Meca, A., Molina, E. and Pulido, M. (2002). An Integrated Transport System for Alacant's Students. UNIVERCITY. Annals of Operations Research, 109, 41-60.
- VV.AA. (2009) Transporte público. Fuente: <http://es.wikipedia.org/w/index.php?oldid=30728530>. 23 de octubre de 2009.

TÍTULO: Modelo de Análisis de las Estadísticas de Demanda Turística en España: Matriz origen-destino del turismo interno

Teresa Guardia y Juan Muro

1 Teresa Guardia, Subdirectora Adjunta del Instituto de Estudios Turísticos.

Teresa.guardia@iet.tourspain.es

2 Juan Muro, Catedrático del Dpt. De Fundamentos de Economía e Historia Económica, Universidad de Alcalá. Juan.muro@uah.es

RESUMO

Esta comunicación tiene como objetivo el estudio, mediante diferentes técnicas estadísticas, de los flujos turísticos interregionales en España durante el periodo 2004-2008. Para ello, se realiza un análisis descriptivo de los flujos netos interregionales e intrarregionales en el periodo 2004-2008, a través de los cuales se establecen los polos geográficos de atracción turística, así como las zonas de mayor fuerza centrífuga de viajes. Asimismo, se elaboran unos índices de atracción turística con base en la matriz origen-destino del periodo comprendido entre 2004-2008. Dichos índices, establecen los patrones de atracción más significativos no solo entre las diferentes regiones, sino también con la propia región y finaliza con la especificación y estimación de un modelo “gravitatorio” de datos de panel de la demanda de servicios turísticos entre las CCAA españolas, medida por los flujos internos de viaje, en el que se relacionan los flujos internos con sus principales determinantes: población autonómica, PIB per cápita, distancia, precios relativos y tipo de alojamiento (segunda residencia). El modelo se estima con información correspondiente al periodo 2004-2008.

Palabras e frases clave: flujos netos, índices de atracción turística, modelo “gravitatorio” de demanda turística

1. INTRODUCCIÓN

Para el análisis del turismo interno es necesaria una amplia base de datos que permita el estudio de los flujos regionales con suficiente fiabilidad estadística. Para ello las encuestas a hogares específicas de turismo, son una herramienta imprescindible que permite la obtención de los datos requeridos para este tipo de investigaciones, siempre y cuando tengan la base muestral necesaria y suficiente. Para dar respuesta a estas necesidades y a los requerimientos de información de la Oficina Estadística Europea (EUROSTAT) nació, en 1996, la operación estadística **FAMILITUR** “Movimientos Turísticos de los Españoles (FAMILITUR)”, elaborada por el Instituto de Estudios Turísticos, que tiene como objetivo la cuantificación de los viajes realizados y el conocimiento de los hábitos turísticos de los residentes en España, no solo entre las diferentes comunidades autónomas (CCAA), sino también fuera de nuestras fronteras.

FAMILITUR es una encuesta a hogares tipo panel que en la actualidad se encuesta mensualmente si bien el periodo de referencia es trimestral. Desde sus inicios hasta este momento, algunos cambios metodológicos se han llevado a cabo con la finalidad de mejorar la medición de los flujos turísticos de los residentes en España. Al margen de dichas modificaciones, sí que cabría destacar, los esfuerzos por la Administración Turística Central para ampliar la base muestral de esta operación estadística que han supuesto una mejora importante en el estudio de la demanda interna española.

2. Análisis de los flujos interregionales e intraregionales

Para identificar las grandes zonas que emiten y reciben viajes, el análisis de los flujos netos, resulta muy ilustrativo. A estos efectos, consideramos que aquéllas que tengan un saldo neto negativo serán las que hayan emitido más viajes que los que hayan recibido, mientras que las que tengan un saldo positivo habrán recibido más viajes que los que han emitido.

El cálculo del saldo neto para una comunidad cualquiera i se formula como sigue:

$$\text{Saldo neto (i)} = x_i - y_i + e_i$$

Donde:

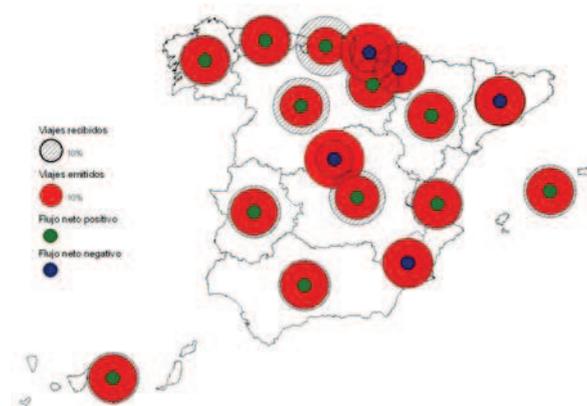
$$i = 1, 2, 3, \dots, 17;$$

x_i = los viajes recibidos de la comunidad i ;

y_i = los viajes emitidos por la comunidad i ;

e_i = los viajes emitidos por la comunidad i al extranjero.

En el siguiente mapa se plasman los flujos netos de cada una de las CCAA. A la vista del mismo, las CCAA cuyo saldo neto es negativo y, por tanto, emiten más viajes de los que reciben, son las de Madrid, el País Vasco, Cataluña, Murcia, Navarra y La Rioja. Por el contrario, las que tienen el mayor saldo positivo (reciben más viajes con destino interno que los que emiten) son las de Castilla y León, Castilla La Mancha, Andalucía, Cantabria, Comunidad Valenciana, Aragón, Extremadura, Galicia, Canarias, Baleares y Asturias. Es decir, en nuestro país existen unas áreas de emisión neta de viajes las cuales parecen coincidir, aunque con ciertos matices, con las zonas que tienen una mayor población o con una mejor situación económica y, por consiguiente, sus residentes tienden a viajar más, tanto dentro del país como fuera del mismo.



Sin embargo, las zonas de recepción neta de viajes parecen estar más difusas, aunque coinciden con Andalucía, las dos Castillas y la Comunidad Valenciana. En otras palabras, Andalucía, Cataluña y la Comunidad Valenciana participan notablemente de la emisión y recepción de viajes internos. En este caso, los flujos netos que se han comentado, parecen ser el resultado de entradas y salidas muy numerosas. En el polo contrario, Asturias, Baleares, Cantabria, Murcia, Navarra y La Rioja participan reducidamente de la emisión y recepción de viajes internos, es decir, los flujos netos son el resultado de escasas entradas y salidas. El resto de CCAA no destacan o están muy especializadas, como por ejemplo Madrid y País Vasco (importantes en viajes emitidos), si bien un porcentaje importante del origen de esos viajes (20% y 6% respectivamente), se dirigen hacia fuera de nuestras fronteras; Castilla-La Mancha y Extremadura (importantes en el origen de viajes y menos como destino) que, debido a su situación geográfica y a su situación económica, atraen a las CCAA más próximas a sus fronteras (Andalucía) y más viajeras (Madrid).

2.1 La atracción de los flujos turísticos entre regiones

Para estudiar la posible captación de viajes entre regiones, acudimos a la elaboración de un índice de atracción turística entre CCAA que mide en el corte transversal, para cada año del periodo considerado, la atracción entre cada par de CCAA; su variación temporal mide las fluctuaciones de esa atracción a lo largo del tiempo (véase la evolución en el tiempo del índice de atracción en el

anexo de tablas). El coeficiente obtenido, cuando es superior a 1, va a indicar que la captación de viajes de una comunidad por otra/s es muy intenso, mientras que cuando dicho coeficiente sea inferior o igual a 1 el grado de atracción entre CCAA es muy poco intenso.

El coeficiente de atracción turística se formula de la siguiente manera:

$$ca_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_j x_{ij}} \cdot \frac{\sum_j y_j}{y_j}$$

Donde:

ca_{ij} = coeficiente de atracción turística entre las CCAA i y j;

X_i = número de viajes realizados por la comunidad i;

Y_j = número de viajes recibidos por la comunidad j;

X_{ij} = número de viajes con origen en la comunidad i y destino en la comunidad j.

A la vista de los resultados, las CCAA que atraen de forma intensa viajes de un mayor número de otras CCAA son: Aragón, Cantabria, Castilla y León, Madrid, Navarra, País Vasco y La Rioja. Por razones de espacio, sólo se comenta el índice de atracción turística de Aragón. Como puede observarse, para la media del periodo 2004-2008, Aragón ejerce como polo de atracción para aquellas CCAA que están más próximas geográficamente, es decir, para Cataluña, Navarra y La Rioja, si bien es cierto que el mayor índice de atracción es con ella misma, Una vez más la distancia geográfica y el tamaño del territorio, parecen ser, además de la pujanza económica, factores que determinan el comportamiento viajero de los residentes en esas CCAA.

Índice de atracción turística de la Comunidad de Aragón

	2004	2005	2006	2007	2008	Media 2004- 2008
Aragón	14,55	12,96	14,99	14,72	12,97	14
Cataluña	1,14	1,22	1,25	1,16	0,96	1,14
C.Valencian	0,58	1,08	0,75	0,92	1,16	0,92
Navarra	1,66	3,23	3,25	2,78	1,8	2,48
La Rioja	1,07	1,33	2,08	1,1	0,87	1,25

2.2 La importancia del turismo intrarregional

Al hilo de lo anterior, resulta interesante realizar una parada para comentar la importancia que tienen los viajes dentro de la propia comunidad autónoma. Para ello, seguimos utilizando el índice de atracción turística entre regiones. Como puede observarse en el siguiente mapa, los mayores índices de atracción turística se encuentran en toda la cornisa cantábrica, Aragón, Murcia, Navarra, los archipiélagos (29,37 y 27,80 respectivamente) y La Rioja (40,12) que es la comunidad que tiene el índice de atracción más alto. En el extremo opuesto, nos encontramos con Madrid (1,93), que como destino resulta muy poco atractivo para sus residentes. Con un índice de atracción de intensidad media, se encuentran las dos Castillas, Cataluña, Comunidad Valenciana, Extremadura y Andalucía. Por tanto, para todo el norte peninsular y los archipiélagos parece que la distancia puede ser un factor importante para sus residentes a la hora de decidir los destinos de sus viajes



3. UN MODELO “GRAVITATORIO” DE LOS FLUJOS INTERNOS DE VIAJES ENTRE LAS CCAA ESPAÑOLAS

Como un último ejemplo ilustrativo de las potencialidades que ofrece una matriz de origen-destino para el estudio de la demanda interna de servicios turísticos, en este apartado se especifica y estima un modelo “gravitatorio” de los flujos internos de viaje entre las distintas CCAA españolas. En él, el volumen anual de flujos de viajes entre cada par de CCAA se hace depender de un conjunto de variables determinantes que incluyen variables que representan la dimensión de las CCAA (la población de cada CCAA y su PIB per cápita), variables que indican los costes de transporte entre CCAA (la distancia entre las CCAA y el carácter o no insular de las mismas), indicadores de precios relativos, y una variable que recoge la importancia de la CCAA de destino como receptora de flujos de viaje hacia alojamientos de segunda residencia (vivienda propia), y un índice de precios relativos entre ambas CCAA. El modelo se estima con un panel de datos de las 17 CCAA españolas para el periodo 2004-2008.

El modelo facilita una estimación de elasticidades y pseudoelasticidades y predice que el volumen de flujos está directamente relacionado con la dimensión de las CCAA, e inversamente relacionado con la distancia entre ellas y el nivel de precios relativos. La especificación se utiliza adicionalmente para inferir si el volumen de viajes con destino a alojamientos propios de segunda residencia, que tiene una indudable influencia directa sobre los flujos intrarregionales, afecta también a los flujos interregionales.

En el sector turístico, son numerosos los estudios que utilizan modelos gravitatorios para el análisis de los flujos internacionales de turismo, aunque su utilización para la investigación de los flujos internos es escasa.

La ecuación especificada es

$$\text{Log(Flujo}_{ijt}) = \alpha + \beta_1 \log(\text{Pob}_{it}) + \beta_2 \log(\text{Pob}_{jt}) + \beta_3 \log(\text{Pib}_{it}) + \beta_4 \log(\text{Pib}_{jt}) + \beta_5 D_{ij} + \beta_6 \text{Insula} + \beta_7 \text{Segunres}_{jt} + \beta_8 \text{Indp}_t + \beta_9 \text{Year}_t + u_{ijt}$$

Donde: Flujo_{ij}: Número de viajes turísticos anuales entre las CCAA i y j; Población_i: Población de la CCAA i; Pib_i: PIB per cápita de la CCAA i; D_{ij}: Dicotómica, toma el valor 0 si las CCAA i y j comparten límites; Insula: Dicotómica, toma el valor 0 para las CCAA peninsulares; Segunres: Índice del volumen de viajes con destino a una segunda residencia; Indp: Índice de precios relativos; Year: Tendencia temporal.

Las cifras del Cuadro siguiente presentan las estimaciones de nuestro modelo de datos de panel obtenidas por efectos aleatorios, Hausman-Taylor (H-T) y Amemiya-MaCurdy (A-M).

Estimación de una ecuación gravitatoria de los flujos internos de viajes turísticos entre las CCAA españolas. 2004-2008.

Variable	Efectos aleatorios		H-T*		A-M*	
	Coefficiente	Sig.	Coefficiente	Sig.	Coefficiente	Sig.
Población CCAA origen	0.857	***	1.088		0.974	***
Población CCAA destino	0.781	***	0.755	***	0.753	***
PIB per cápita CCAA origen	1.878	***	1.853	*	1.854	***
PIB per cápita CCAA destino	0.313		0.448		0.424	
Dij	-2.352	***	-2.365	***	-2.359	***
Insularidad	0.165		0.161		0.159	
Índice precios relativos	-3.913		-3.718		-3.760	
Segunda residencia (sr3)	0.164	*	0.144	*	0.143	*
Tendencia temporal	-0.134	***	-0.143	**	-0.140	***
Constante	241.103	***	254.922	**	250.709	***
obs=1320						
n=264						
R ² 0.682						
Hausman test chi2(6)=5.94 Prob>chi2= 0.43						

*** Significativo al 1%; ** Significativo al 5%; * Significativo al 10%

* Estimaciones de Hausman-Taylor. Variables endógenas lpobi lpibi (heterogeneidad de CCAA de origen)

Para nuestra muestra, las estimaciones obtenidas por el procedimiento de efectos aleatorios y las que tienen en consideración la heterogeneidad de las CCAA de origen, y su posible correlación con las variables incluidas en la especificación, A-M, son prácticamente equivalentes. Así, cabe decir que nuestros resultados cuantifican características del comportamiento a largo plazo de los flujos interregionales y presentan un equilibrio en el corte transversal. En este sentido, el comportamiento a corto plazo de los flujos supone mecanismos de corrección de errores producidos en relación con la senda de equilibrio.

La distancia entre CCAA, definida como la existencia o no de CCAA limítrofes, tiene un efecto negativo sobre la demanda aunque la insularidad no tiene una aportación significativamente estadística sobre la determinación de los flujos de viajes. Junto al resultado esperado del efecto de la distancia, nuestro modelo manifiesta que las condiciones de insularidad no tienen un efecto negativo adicional sobre los flujos de viajes. Este dato parece recoger la paulatina reducción relativa que han tenido los costes de viaje por vía aérea en los últimos años, por ejemplo con la explosión del mercado de compañías de bajo coste, lo que ha hecho que el sobrecoste de viajar a una isla, respecto a trayectos peninsulares, disminuya notablemente.

Los impactos externos al modelo sobre los flujos de viaje interregionales tienen un efecto negativo reducido, pero significativo, en el periodo 2004-2008. Una posible interpretación de este dato es la persistente reducción, aunque ligera, de los flujos interregionales por el atractivo creciente de los mercados turísticos internacionales en los últimos años.

Finalmente, los precios relativos¹ no tienen influencia significativa sobre el volumen de flujos y los viajes a alojamientos de segunda residencia (vivienda propia) tienen una influencia positiva, aunque con significatividad reducida. Respecto a esta última variable, en la especificación finalmente seleccionada, los viajes a segunda residencia se han representado mediante una variable dicotómica que indica aquellas CCAA de destino con un volumen de estos viajes superior al 50%. La pseudoelasticidad estimada nos dice que hay una relación directa y cualitativa entre el volumen total de viajes y los de segunda residencia, aunque los efectos cuantitativos sean muy reducidos.

4. CONCLUSIONES

La elaboración de matrices origen y destino es una herramienta fundamental para el conocimiento de la demanda interna de servicios turísticos. En España, el continuo progreso en la metodología, tamaño muestral y representatividad de la encuesta FAMILITUR del IET, ha facilitado la disponibilidad de matrices origen-destino para los últimos años. Esta información estadística ha abierto una importante vía de análisis de la demanda interna, aunque las investigaciones realizadas hasta ahora hayan sido escasas.

El análisis de los flujos netos nos proporciona una información que permite identificar las áreas de emisión neta de viajes que parece coincidir con las zonas de mayor población, proximidad geográfica o bonanza económica.

El análisis descriptivo, finaliza con el estudio de las CCAA con mayor poder de atracción y la importancia de la demanda intrarregional, cuyos resultados muestran un poder de atracción muy elevado de cada CCAA por sí misma, excepto Madrid.

Los resultados de la estimación de un modelo gravitatorio de datos de panel de los flujos interregionales para el periodo 2004-2008 manifiestan que a largo plazo el equilibrio en el corte transversal es coherente con las predicciones del modelo gravitatorio y se caracteriza por una demanda interna de servicios turísticos que depende directamente de las dimensiones de las CCAA de origen y destino -con elasticidad muy cercana a la unidad respecto a la población de las CCAA de origen y destino, y elasticidad superior a uno respecto al PIB per cápita de la CCAA de origen-e inversamente de la distancia entre CCAA -con elasticidad superior a la unidad. Adicionalmente, el

¹ La variable de precios relativos se ha construido a partir de los datos regionales del índice de precios al consumo (IPC). Se ha elegido esta alternativa al carecer de datos de precios relativos entre CCAA en cada instante del tiempo. Como se sabe, el IPC en una CCAA concreta mide la evolución de los precios en un momento concreto con relación al nivel de precios en otro momento concreto del tiempo para dicha CCAA y por lo tanto no mide si los precios son más altos o más bajos en esa CCAA con respecto a otra CCAA. Si el horizonte temporal fuera suficientemente largo, esas diferencias se acortarían en general; cuando el horizonte temporal es limitado, las diferencias entre los niveles de inflación en una CCAA y lo que en ocasiones se denomina la paridad del poder adquisitivo entre un par de CCAA, son notables.

efecto de la insularidad y de los niveles de precios no es apreciable, mientras que los shocks externos influyen negativamente y los viajes a viviendas propias de segunda residencia positivamente sobre la demanda interna, aunque estos dos últimos efectos son cuantitativamente poco importantes.

REFERENCIAS

- Anderson, J.E. (1979) "A theoretical foundation for the gravity equation". *American Economic Review*, pp. 106-116.
- Anderson, J. y E. van Wincoop (2003) "Gravity with gravitas: a solution to the border puzzle". *American Economic Review* 93, pp. 170-192.
- Cheng, I-H y H.J. Wall (2008) "Controlling for heterogeneity in gravity models of trade and integration". *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, 87(1), pp. 49-63.
- Instituto de Estudios Turísticos (2008) "Movimientos Turísticos de los Españoles (FAMILITUR). Referencias Metodológicas (2005-2008)"
- Khadaroo, J. y B. Seetanah (2008) "The role of transport infrastructure in international tourism development: A gravity model approach." *Tourism management*, 29, pp. 831-840.
- Martínez, E. (2002) "Flujos regionales del turismo doméstico en España". Inédito.
- Martínez-Zarzoso, Nowak-Lehmann, Felicitas, y Vollmer, Sebastian. 2007. "The log of gravity revisited." Presented at European Trade Study Group Annual Conference, Athens, 9-13-2007.
- Pearce, D. (1993) "Domestic tourist travel patterns in New Zealand". *GeoJournal*, 29, pp. 225-232.
- Santos Silva, J. y S. Tenreyro (2006) "The log of gravity." *The Review of Economics and Statistics* 88, pp. 641-658.
- Usach, J. (1998) "Análisis de los flujos interregionales de la demanda turística interna española". *Estudios Turísticos*, 136, pp. 27-43.
- Westerlund, J. y F. Wilhelmsson (2007) "Estimating the gravity model without gravity using panel data." Inédito.

RECURRENT EVENTS IN PSYCHIATRIC EPIDEMIOLOGY

Per Kragh Andersen¹

¹Dept. Biostatistics, Univ. Copenhagen, Denmark

RESUMO

In psychiatric epidemiology, analysis of recurrent events is important since the disease severity is often evaluated via the number of admissions to psychiatric hospitals. A hypothesis of interest concerns the so-called "sensitization theory" according to which the risk of recurrence increases with event count. A possible statistical modeling framework in which to study this hypothesis is a frailty model where a common random effect affects the rate of re-admission for each patient, thereby allowing for an intra-patient correlation between his or her gap times between admissions. We will address a number of methodological problems encountered in the analysis of such data, including test for fit of the frailty distribution, examination of the sensitization hypothesis without specifying the frailty distribution, and effects of event-dependent sampling of patients. The paper is based on joint work with Kajsa Kvist, Lars Kessing and Jules Angst.

Palabras e frases clave: frailty models; recurrent events.

1. TEST FOR FIT OF THE FRAILTY DISTRIBUTION

The results concerning possible sensitization have been shown to depend, to some extent, on the choice of frailty distribution (Kessing et al., 1999). Therefore, we have studied possible ways to test for the fit of such a distribution (Kvist et al., 2007). A difficulty in this connection is the lack of a simple non-parametric estimator for the marginal gap time distributions.

2. EXAMINING SENSITIZATION WITHOUT SPECIFYING THE FRAILTY DISTRIBUTION

The Total time on test (TTT) procedure has been applied in reliability to test for a constant failure rate against monotone alternatives. Kvist et al. (2008) adapted the TTT method for application in recurrent events analysis in order to study the hypothesis of sensitization. We showed that TTT may be used to test for a constant baseline recurrence rate in a frailty model no matter the distribution of the frailty.

3. EVENT DEPENDENT SAMPLING OF RECURRENT EVENTS

The objective is here to evaluate the effect of event-dependent sampling when analyzing the hypothesis of sensitization. A patient is selected for study if an event occurs in a given interval. Subsequently, either only data from selection and onwards are used in the analysis, or, both retrospective and prospective data from selected processes are used, see Kvist et al. (2009).

Two methods are proposed to correct for the selection depending on the data used in the analysis. When only prospectively sampled data are used, the frailty distribution is updated by conditioning on data from the period prior to sampling. When both prospective and retrospective data are used, inverse-probability-of-sampling-weighting is used. The power of the methods to correct for the bias when investigating the hypothesis of sensitization is studied using Monte Carlo simulations. Furthermore, the methods are applied to data on patients with affective disorder.

The frailty updating is found to work satisfactorily for prospective data while the method based on weights is found to quite sensitive to the choice of sampling weights. However, a set of weights depending of the total event count for each patient is found to work well. When analyzing Danish register data for bipolar patients, evidence for the sensitization theory found in earlier, purely prospective, studies is sustained.

3. CONCLUSIÓNS

Psychiatric epidemiology is an area where analysis of recurrent events plays a central role and several methodological challenges are raised.

REFERENCIAS

Kessing, L.V., Olsen, E.W., Andersen, P.K. (1999). Recurrence in affective disorder - analyses with frailty models. *Amer. J. Epidemiol.* **149**, 404-411.

Kvist, K., Gerster, M., Andersen, P.K., Kessing, L.V. (2007). Non-parametric estimation and model checking procedures for marginal gap time distributions for recurrent events. *Statist. in Med.* **26**, 5394-5410.

Kvist, K., Andersen, P.K., Angst, J., Kessing, L.V. (2008). Repeated events and total time on test. *Statist. in Med.* **27**, 3817-3832.

Kvist, K., Andersen, P.K., Angst, J., Kessing, L.V. (2009). Event dependent sampling of recurrent events. *Lifetime Data Analysis*. (Manuscript under revision.)

Comunicacións Orais

Sesión de Docencia de Estatística e Investigación de Operacións

ESTUDIO PRELIMINAR DE LAS ACTITUDES DE PROFESORES PORTUGUESES HACIA LA ESTADÍSTICA

José Alexandre Martins¹, Maria Manuel Nascimento² y Assumpta Estrada³

¹ Instituto Politécnico da Guarda (IPG y Centro de Matemática - UTAD) – jasvm@ipg.pt

² Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD y Centro de Matemática - UTAD) – mmsn@utad.pt

³ Universitat de Lleida – aestrada@matematica.udl.cat

RESUMO

En este trabajo nos proponemos analizar las actitudes de los profesores hacia la estadística, dado que pueden influir decisivamente sobre el proceso de enseñanza y aprendizaje. Abordamos el concepto de actitud, revisamos la literatura sobre las escalas utilizadas para medirlas y finalizamos presentando los resultados de una muestra de profesores de 2º y 3º ciclos de educación básica en Portugal.

Palabras y frases clave: Actitudes hacia la estadística, las escalas, los profesores, enseñanza de la estadística.

ABSTRACT

In this paper we discuss the attitudes of teachers towards statistics, since we believe that those attitudes have a key role in the teaching and learning process. We examine the concept of attitude, review the literature about measurement scales for attitudes towards statistics and we present the results and analysis of a questionnaire/scale applied to a sample of Portuguese teachers.

Keywords: Attitudes towards statistics, scales, teachers, statistics teaching.

1. INTRODUCCIÓN

Se puede considerar que sin el compromiso del docente en la enseñanza y en el aprendizaje es muy difícil que cualquier cambio significativo se produzca en la educación. Como Nóvoa (1992) señaló, "Las escuelas no pueden cambiar sin la participación de los maestros". Además, si se desea involucrar a los estudiantes en un aprendizaje más cognitivo y menos determinista y rutinario se tienen que tener en cuenta características intrínsecas y/o diferenciadoras de la estadística (Gal y Ginsburg, 1997). Por lo tanto, es necesario que en este abordaje se incluyan aspectos tales como actitudes, creencias, intereses, expectativas y motivaciones en lo que respecta a la estadística, porque el profesor debe ir más allá de la mera transmisión de conocimientos, con actitudes positivas, tanto en términos de la disciplina y del contenido de la misma, como en relación a los estudiantes, a la escuela y a la educación.

Así, en este trabajo, que es parte de un estudio más amplio sobre las actitudes y conocimientos estadísticos de docentes de 2º (10 a 11 años) y 3º (12 a 14 años) ciclos de la educación básica en Portugal, nos proponemos abordar sumariamente la cuestión de las actitudes de los profesores de matemática hacia la estadística, ya que estas según Estrada (2009), influyen en el proceso de enseñanza y aprendizaje, pudiendo afectar a la práctica docente y reflejarse en las actitudes (futuras) de los estudiantes. Consideramos que estas son razones suficientes para adentrarnos en su estudio a fin de garantizar las mejores condiciones para la aplicación de una verdadera mejora de la enseñanza de la estadística, y que esto no sea sólo un deseo reflejado en las directrices curriculares, porque, según Garção (2004), "... la experiencia adquirida y desarrollada a lo largo de los años pueden sobreponerse a discursos y a intenciones de cambio."

En este sentido, más allá de la presentación de una definición del término actitud y un enfoque multidimensional de este concepto a través de sus componentes y factores básicos, utilizados por Estrada (2002), haremos una breve revisión de los instrumentos de evaluación más utilizados en los últimos años.

Por último, analizaremos los resultados y la consistencia de un cuestionario administrado a maestros de 2º ciclo y 3º ciclo de la educación básica en Portugal, construido sobre la base de la escala de actitudes desarrollada por Estrada (2002), y cuyo objetivo era evaluar las actitudes hacia la estadística de los profesores.

2. ACTITUDES

No hay para el término actitud una definición única, habiendo sido asignados diversos significados en la literatura debido a que no constituyen una entidad observable, sino que son construcciones teóricas que se infieren de ciertos comportamientos externos, frecuentemente verbales.

Estrada *et al.* (2004) indican que Rokeach define la actitud como “una organización de creencias relativamente permanentes que predisponen a responder de un modo preferencial ante un objeto o situación”. Ya bajo el dominio afectivo más estricto de la educación matemática, refieren que McLeod distingue entre emociones, actitudes y creencias. Este autor presenta las emociones como respuestas inmediatas, dadas durante el estudio de las matemáticas o estadística; las actitudes como respuestas más estables o sentimientos más intensos que se desarrollan a través de la repetición de respuestas emocionales y son automatizados a través del tiempo; y las creencias individuales como ideas sobre el contenido, sobre sí mismo o sobre el contexto social que rodea el proceso de aprendizaje y que se mantienen durante mucho tiempo. En el mismo artículo se cita Chacón como introduciendo las actitudes como “uno de los descriptores básicos del dominio afectivo, junto con «los sentimientos» y «las creencias»” y “una predisposición evaluativa (es decir positiva o negativa) que determina las intenciones personales e influye en el comportamiento”. También se refiere que Auzmendi señaló que las actitudes hacia las matemáticas y la estadística surgen en edades tempranas, y que, si bien, en general, son positivas en un primer momento, tienden a mostrar una tendencia negativa, persistiendo en el tiempo.

Gal *et al.* (1994) subrayan la importancia de las actitudes y creencias y no tanto las emociones mencionadas por McLeod, considerando que las actitudes son influenciadas y influyen en las propias creencias. Estos autores presentan las actitudes hacia la estadística como la suma de las emociones y sentimientos experimentados a lo largo del tiempo, en el contexto del aprendizaje de las matemáticas o estadística. Además, las consideran muy estables, de intensidad moderada, con un pequeño componente de creencias cognitivas y que se expresan en un continuo positivo-negativo. Esta es también la posición que se adoptará en este trabajo.

Por otra parte, se aboga un enfoque multidimensional de las actitudes, como en Estrada *et al.* (2004), considerando componentes pedagógicos y antropológicos de las actitudes hacia la estadística. Así, los tres componentes pedagógicos son el cognitivo, el afectivo y de comportamiento. Los llamados componentes antropológicos son el social, el educativo y el instrumental. Estrada *et al.* (2004) describen estos componentes resumidos en la Tabla 1.

Tabla 1: Componentes de los factores Pedagógicos e Antropológicos (Estrada *et al.* (2004))

Factores Pedagógicos	
Componente cognitivo	Referido a las expresiones de pensamiento, concepciones y creencias acerca de las capacidades y conocimientos de estadística;
Componente afectivo	Constituido por expresiones de sentimiento hacia la estadística, o sea, reacciones subjetivas positivas/negativas, satisfacción/insatisfacción o interés/desinterés.
Componente conductual	Son expresiones de acción o intención conductual en relación con la estadística y representan la tendencia a resolverse en la acción de una manera determinada.
Factores Antropológicos	
Componente social	Relacionado con la percepción y la valoración del papel de la estadística en el ámbito sociocultural.
Componente educativo	Vinculado al interés hacia la estadística y su aprendizaje, a la visión de su utilidad para el alumno, a su opinión sobre si debiese incluirse en el currículo y a la dificultad percibida.
Componente instrumental	Referido a la utilidad de la estadística en otros campos de aplicación, como forma de razonamiento y como componente cultural.

Parece haber un sentimiento creciente de la necesidad de implementar cambios importantes en la educación de la estadística, que van más allá del desarrollo de conocimientos y habilidades, como la que citan Cazorla *et al.* (1999), refiriéndose a Snee (1993). Además, hay una advertencia de varios investigadores para no dejar de lado el estudio de las actitudes, es decir, el aspecto afectivo de la educación, haciendo hincapié en su importancia para lograr los niveles de rendimiento y el éxito deseado en la enseñanza-aprendizaje de la matemática y de la estadística. Todas estas razones nos inducen a interesarnos en el estudio de las actitudes hacia la Estadística de los profesores y sus instrumentos de evaluación ya que pueden proporcionar información útil, por ejemplo en el diseño de estrategias para la formación de los docentes, y aumentar así las actitudes positivas hacia la estadística y su enseñanza.

3. ESCALAS PARA MEDIR LAS ACTITUDES

En la revisión realizada, todos los instrumentos de medida estudiados son escalas de tipo Likert, la mayoría multidimensionales, compuestos por un número determinado de proposiciones, habitualmente más de 20, con 5 o 7 posibilidades de respuesta que varían según el grado de acuerdo del encuestado desde "muy en desacuerdo" a "muy de acuerdo". El valor de la actitud es la suma de las puntuaciones de las distintas sentencias, directas o invertidas según la naturaleza (positiva o negativa) del ítem correspondiente. Un análisis detallado de las

evidencias de fiabilidad y validez de estos cuestionarios aparece en Carmona (2004). Cazorla *et al.* (1999) destacan algunas escalas de actitudes hacia la estadística, así como algunas características de estas escalas (Tabla 2).

Tabla 2: Escalas de actitudes hacia la estadística (Cazorla *et al.* 1999)

Escalas	SAS Statistics Attitudes Survey	ATS Attitudes Toward Statistics	SATS Survey of Attitudes Toward Statistics	SASc Statistics Attitudes Scale
Autores	Robert e Bilderbak (1980)	Wise (1985)	Schau et al. (1995)	McCall et al. (1990)
Nº de proposiciones	33	29	28	20
Nº de alternativas	5	5	7	5
Dimensión	No indicado	Bidimensional: Disciplina y Aplicación en el área de actuación	Multidimensional: Afectividad, competencia cognitiva, valor e dificultad para aprender	Unidimensional
Características de la muestra	Alumnos de Estadística Introdutoria de la Universidad de Pensylvania EUA	Alumnos de Estadística Introdutoria de una universidad del Centro Oeste de los EUA	Alumnos de 33 cursos, de las universidades de Novo México y Dakota del Sur EUA	Alumnos de Pós- Graduación en Educación de la disciplina Metodología de Pesquisa, Univ. de Transkei África do Sul.
Dimensión de la muestra	Tres muestras $N=92$, $N=81$, $N=65$	$N = 92$	$N = 1403$	$N = 43$
Nivel de fiabilidad Alfa de Cronbach	0,93 a 0,95	Campo: 0,92 Disciplina: 0,90	Afectivo: 0,81 a 0,85 Cognitivo: 0,77 a 0,83 Valor: 0,80 a 0,85 Dificultad: 0,64 a 0,77	0,95
Validez Predictiva	Correlación con las clasificaciones: 0,33 a 0,54	Correlación con las clasificaciones: 0,27	Correlación con la escala ATS ¹ : 0,34 a 0,79	—
Validez Factorial	—	Dos factores responsables por 49% de la varianza total	Coefficiente de ajustamiento del modelo ³ = 0,97 TLI = 0,98	Tres factores, siendo el 1º factor responsable por 64,4% de la varianza total ²

¹Validez concurrente ²Análisis factorial exploratorio ³Análisis factorial confirmatorio

En este trabajo, decidimos usar la escala de Estrada (2002), aplicada a maestros en formación y en ejercicio, que tiene por base las escalas SAS, ATS, ambas consideradas internacionalmente como las más usuales y la española de Auzmendi (1992). Esta escala consta de 25 ítems, 14 de ellos positivos y además incorpora componentes educativos y antropológicos de las actitudes hacia la estadística.

4. METODOLOGÍA

Este estudio encuestó a 71 docentes del 2º y 3º ciclo de la educación básica portuguesa. El cuestionario fue administrado durante el ProfMat 2008 (al que asistieron 212 profesores de los ciclos mencionados, provenientes de diversas zonas de Portugal) así como en las escuelas EB 2,3 de Seia, S. Romão, Oliveira do Hospital y Lisboa. Además de la traducción y adaptación de los 25 ítems usados por Estrada (2002) y una vez que el uso de la tecnología es obligatorio en Portugal, se añadieron 2 ítems (uno positivo y otro negativo) relacionados con el uso de la tecnología en las prácticas lectivas en enseñanza de la estadística. El cuestionario resultante es una escala de Likert, compuesta por 27 ítems, 15 positivos y 12 negativos, y cuya distribución según los diversos componentes de las actitudes de estudio se presenta en la Tabla 3. Cada uno de los ítems tiene 5 respuestas posibles, incluyendo una alternativa neutral. La puntuación de la escala está formada por la suma de los valores obtenidos para cada elemento. Dado que los ítems no están redactados en el mismo sentido, todos ellos han sido codificados de modo que una puntuación mayor vaya asociada a una actitud más positiva y viceversa. Es por ello que los elementos positivos presentan la escala siguiente: muy en desacuerdo (1), en desacuerdo (2), sin especificar (3), de acuerdo (4) y muy de acuerdo (5) y los negativos: muy en desacuerdo (5), en desacuerdo (4), sin especificar (3), de acuerdo (2) y muy de acuerdo (1). Así, los valores de la puntuación total varían entre 27 y 135, siendo la mitad 81 puntos. Para el tratamiento de los datos se utilizó un paquete estadístico y una hoja de cálculo.

Tabla 3: Distribución de los ítems de la escala de actitudes según los componentes analizados

Componentes Pedagógico	Componentes de Antropología			Total
	Social	De Educación	Instrumental	
Afectiva	3	3	4	10
Cognitiva	3	3	2	8
Comportamental	2	5	2	9
Total	8	11	8	27

5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

De los 71 encuestados, 61 (86%) eran mujeres. En relación a los años de enseñanza de las matemáticas se observa que la media es de unos 15 años, con una desviación estándar de 7,8 años. La distribución correspondiente se presenta en la Figura 1 (izquierda), con elementos de los encuestados en todos los grupos de edad considerados en el cuestionario, es decir, hay desde profesores con una formación reciente hasta profesores con muchos años de enseñanza. La distribución de los ciclos de la enseñanza se refleja en la Figura 1 (derecha), y se puede señalar que el menor número de profesores es el de los que tienen experiencia en el 1º y 2º Ciclos (8,45%), mientras que el que es más representado es el de los que han enseñado apenas al 3º Ciclo (46,48%).

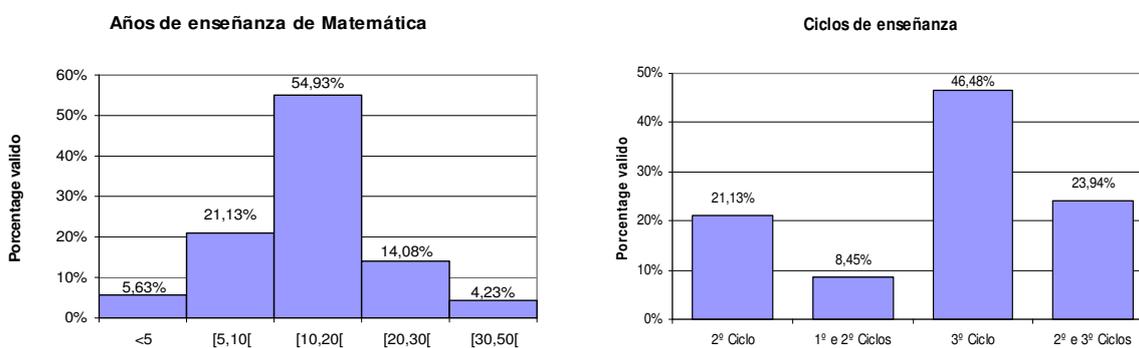


Figura 1: Distribución de los años de enseñanza de matemática (izquierda) y la distribución de los ciclos de enseñanza (a la derecha) en Portugal.

De los 71 encuestados sólo 51 (71,83%) indicaron cuales las áreas de su formación inicial. Como puede verse en la Figura 2, entre las 13 áreas de la lista, las más significativas son la licenciatura en Matemática, que representa alrededor del 78%. Otra área con cierto peso es la economía. Téngase en cuenta que las 20 no respuestas lo fueran, probablemente, debido a una mala interpretación de la cuestión.

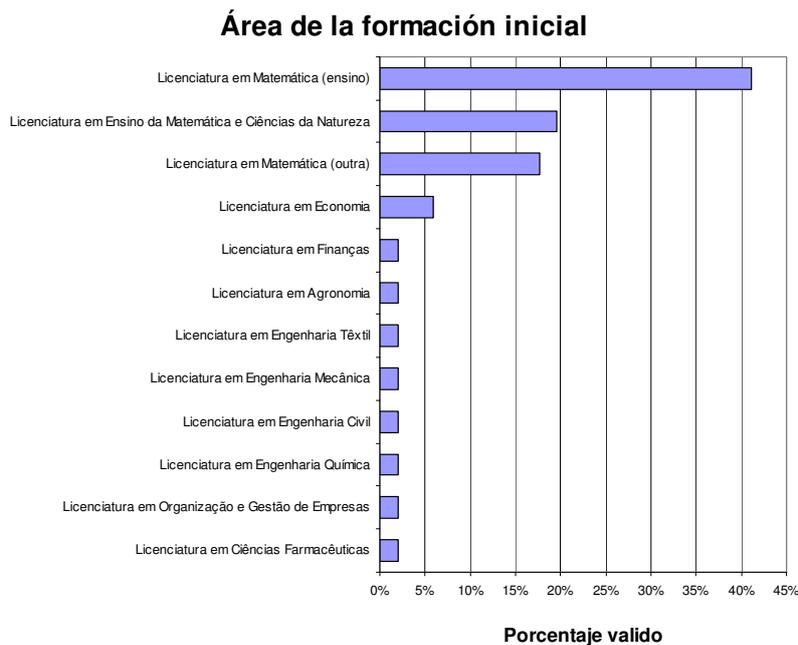


Figura 2: Distribución de las áreas de formación inicial

En cuanto a los 27 ítems examinados, y sólo para comparación, se presentan la media y desviación estándar de las respuestas obtenidas de los elementos más relevantes. Los elementos más valorados ($> 4,5$) son (valores de promedio y desviación estándar, respectivamente): Ítem 6 - "En la escuela no se debe enseñar estadística" - 4,93 y 0,26; ítem 21 - "La estadística no sirve para nada" - 4,76 y 0,71; ítem 19 - "La estadística sólo sirve para las personas de la área de la ciencia" - 4,66 y 0,53; y el ítem 23 - "Si pudiese eliminar alguno de los contenidos del programa sería la estadística" - 4,65 y 0,90. Estos resultados fortalecen, además de la actitud positiva hacia la estadística, una idea de que estos profesores de matemática parecen ser conscientes de la importancia de la estadística como parte del currículo de la matemática y como una herramienta necesaria para los ciudadanos y los profesionales de hoy.

Ya en los ítems de menor valor (< 3), únicamente se incluyen tres que son (valores de promedio y desviación estándar, respectivamente): Ítem 3 - "A través de las estadísticas se puede manipular la realidad" - 1,62 y 0,72; el ítem 22 - "Es normal explicar a mis colegas los problemas estadísticos que no entiendan" - 2,66 y 0,91; y el ítem 1 - "Me molesta los datos transmitidos en algunos programas de TV" - 2,69 y 1,15. Con respecto a los ítems 3 y 1, se sospecha de una mala interpretación del significado de la redacción por algunos de los encuestados. En el primer caso, parece que se confunde Estadística y la manipulación de datos estadísticos y, en el segundo caso, una indicación de la calidad de los datos transmitidos y no por el hecho mismo.

Destacamos, también, los ítems "de la tecnología" 26 - "En la clase de estadísticas necesito usar la computadora e Internet para realizar las tareas" y 27 - "No tengo necesidad de usar la calculadora para las tareas que propongo para la estadística", un promedio de 3,24 y 3,68 y una desviación estándar de 1,08 y 1,09, respectivamente. Estos resultados indican que todavía no hay ni una gran necesidad ni una adhesión incondicional a la inclusión de las nuevas tecnologías en las prácticas lectivas, siendo menos fuerte esta indicación en relación al uso de la calculadora.

Para el estudio de fiabilidad, se obtuvo el coeficiente de consistencia interna: alfa de Cronbach de 0,749. Este valor no difiere mucho del valor obtenido en el estudio de Estrada *et al.* (2004), 0,774. Dado el pequeño número de encuestados para este primer estudio, creemos que este es un valor razonable de confiabilidad. Además, para conocer el efecto de cada elemento de la coherencia interna de la escala se llevaron a cabo más 27 pruebas, con sólo 26 elementos a la vez. Para estas 27 pruebas los valores de alfa de Cronbach fueron consistentes, con el valor mínimo de 0,725 y un máximo de 0,768.

Las frecuencias de la puntuación total obtenida en este estudio se reflejan en la Figura 3, donde se puede observar que la mayoría de los encuestados tiene una puntuación total superior a los 81 puntos que corresponde a la indiferencia. También se puede ver que la moda corresponde a 104 puntos, la media tiene un alto valor de 102,58 puntos (con una desviación estándar de 8,38). El 60% de los encuestados tuvieron puntuaciones superiores o iguales a 102 puntos y un 20% más de 108 puntos. La asimetría es ligeramente negativa (coeficiente de asimetría de -0,53).

Distribución de frecuencia de la puntuación total

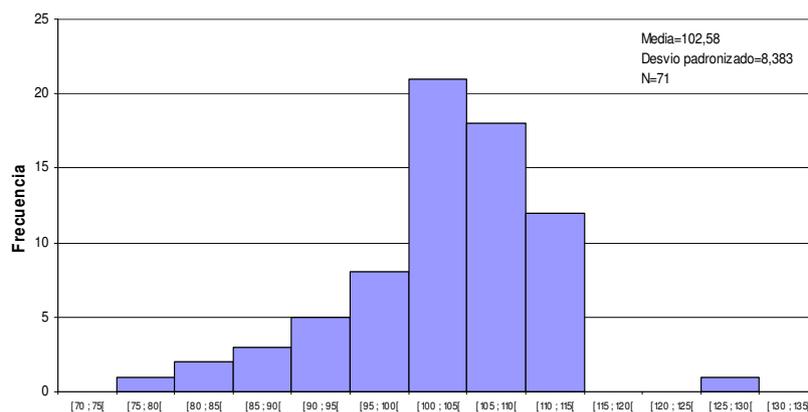


Figura 3: Histograma de la puntuación total

3. CONCLUSIÓN

El tamaño de la muestra y las características del cuestionario utilizado no permiten la generalización de los resultados, ni era propósito de este estudio lograrlas. En este estudio preliminar solo deseábamos testar los ítems y el funcionamiento de la escala, con referencia al estudio similar llevado a cabo por Estrada *et al.* (2004).

Para este estudio, el coeficiente de consistencia interna, alfa de Cronbach, fue 0,749. Este valor nos parece razonable, dado que el tamaño de la muestra fue pequeño. Para estos cuestionarios, el estudio sugiere que las

actitudes hacia la estadística son en general positivas, con un promedio total de 102,58 puntos (desviación estándar 8,38), muy por encima de la puntuación media 81, la indiferencia, lo que está en consonancia con los resultados de Estrada et al. (2004). En los dos ítems específicos relacionados con la actitud hacia el uso de la tecnología en la enseñanza de la estadística, parece que la actitud es más positiva para el uso de la calculadora, y los promedios son sólo un poco superiores a 3 (indiferencia), lo que refuerza la idea de que es necesario investigar la importancia que se da a la tecnología por los profesores en las prácticas lectivas.

Estos resultados, que deben interpretarse con mucha cautela y con conocimiento de se tener usado una muestra muy pequeña y de conveniencia, dejan algunas ideas para reflexionar, para la investigación y las acciones futuras, por ejemplo, la metodología de muestreo, la nueva redacción de algunos ítems o la inclusión de análisis sobre los componentes pedagógicos y antropológicos de las actitudes.

Tras haber seguido el estudio de Estrada *et al.* (2004), no se han utilizado, por ahora, todas las preguntas que se plantearon en el cuestionario distribuido, pero tenemos la intención de hacerlo en un análisis futuro. Para continuar con este estudio, sentimos la necesidad de recoger cuestionarios adicionales para validar la escala en el universo de los docentes en el 2º y 3º ciclos de la educación básica portuguesa. También queda la nota sobre el desarrollo de un protocolo de muestreo aleatorio cuidado, para evitar los sesgos en la selección de los profesores de matemática portugueses. Por otra parte, parece que se logrará enriquecer el tratamiento estadístico utilizando los otros métodos reportados por Estrada (2002), incluyendo el análisis factorial.

REFERENCIAS

Carmona, J. (2004). Una revisión de las evidencias de fiabilidad y validez de los cuestionarios de actitudes y ansiedad hacia la estadística. *Statistics Education Research Journal*, 3(1), 5-28. On line: <http://www.stat.auckland.ac.nz/~iase/serj/>.

Cazorla, I., Silva, C., Vendramini, C. and Brito, M. (1999). *Adaptação e Validação de uma Escala de Atitudes em Relação à Estatística*. Actas da Conferência Internacional “Experiências e Expectativas do Ensino de Estatística – Desafios para o Século XXI”, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

Estrada, A. (2002). *Análisis de las actitudes y conocimientos estadísticos elementales en la formación del profesorado*. Barcelona: Ph.D. Universidad Autónoma de Barcelona.

Estrada, A., Batanero, C. and Fortuny, J. M. (2004). Un estudio comparado de las actitudes hacia la estadística en profesores en formación y en ejercicio. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), 263-274.

Gal, I. and Ginsburg, L. (1994). The Role of Beliefs and Attitudes in Learning Statistics: Towards an Assessment Framework. *Journal of Statistics Education*, V. 2, Nº 2.

Gal, I., Ginsburg, L. e Schau, C. (1997). Monitoring Attitudes and beliefs in Statistics Education. *The Assessment Challenge in Statistics Education*. IOS Press.

Garção, N. (2004). *Reorganização Curricular do Ensino Básico: perspectivas, decisões e dificuldades de três professores de Matemática*. Lisboa: Coleção Teses, Associação de Professores de Matemática.

Nóvoa, A. (1992). *Formação de Professores e Profissão Docente*. Em *Os professores e sua Formação* (pp. 15-33). Lisboa: Publicações D. Quixote. Instituto de Inovação Educacional.

Consideraciones histórico-didácticas relativas a un ensayo de Alan M. Turing sobre el teorema central del límite

Miguel Ángel Mirás Calvo¹

¹Departamento de Matemáticas. Universidade de Vigo

RESUMEN

El nombre de Alan M. Turing no acostumbra a aparecer entre los grandes matemáticos que se citan en relación con la apasionante historia del teorema central del límite. Sin embargo, Turing presentó en 1934 una memoria, nunca publicada, titulada “On the gaussian error function” en la que, de forma independiente, obtenía una condición suficiente similar a la de Lindeberg de 1922 y anticipaba parte de los resultados posteriores de Feller, Lévy y Cramér del período 1935-1937. En este artículo presentamos una propuesta para aprovechar las características especiales de este texto histórico como recurso didáctico-divulgativo en el aula.

Palabras y frases clave: Alan M. Turing, teorema central del límite, utilización de textos históricos en el aula

1. INTRODUCCIÓN

En un sentido clásico, bajo el título genérico de “el teorema central del límite” se engloba a toda una familia de resultados que, desde los remotos orígenes de la teoría de las probabilidades a principios del siglo XVIII hasta los últimos años de la época de 1930, estudian la aproximación de la distribución de sumas de variables aleatorias independientes mediante la distribución normal o gaussiana. Formalmente, denotemos por $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2}t^2} dt$, la función de distribución de una variable aleatoria normal con media nula y varianza unidad. Consideremos una sucesión $\{X_r\}$ de variables aleatorias independientes, con media nula y varianza finita $\sigma_r^2 > 0$, y su sucesión de sumas parciales $S_n = X_1 + \dots + X_n$. El problema del teorema central del límite consiste en establecer condiciones bajo las cuales la sucesión $Z_n = \frac{S_n - \mu_n}{\sigma_n}$, de variables aleatorias normalizadas, converge en distribución a la normal típica, es decir,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} F_n(x) = \Phi(x), \text{ para todo } x \in \mathbb{R}$$

siendo F_n la función de distribución de Z_n . Ni que decir tiene que esta formulación analítica es el fruto de una larga evolución, en la que grandes matemáticos han

contribuido estudiando casos particulares del problema que han permitido establecer gradualmente las condiciones bajo las cuales el teorema se cumple. Escribimos en la terminología actual aquellas que, históricamente, se considera que resuelven satisfactoriamente el problema. Denotemos por $s_n^2 = \sum_{r=1}^n \sigma_r^2$.

Teorema 1 (Condición suficiente de Lindeberg (1922)) *Si para todo $\varepsilon > 0$,*

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{s_n^2} \sum_{r=1}^n \int_{\{|x| \geq \varepsilon s_n\}} x^2 dF_r(x) = 0$$

entonces se verifica el teorema central del límite.

Teorema 2 (de Cramér (1936)) *Si la suma $X + Y$ de dos variables aleatorias independientes sigue una distribución gaussiana, tanto X como Y deben ser gaussianas.*

Teorema 3 (Condición necesaria de Feller-Lévy (1937)) *$\{X_r\}$ cumple la condición de Lindeberg si y sólo si satisface el teorema central del límite y, además,*

$$\lim_{n \rightarrow \infty} m_n^2 = 0, \text{ donde } m_n^2 = \max_{1 \leq r \leq n} \left(\frac{\sigma_r^2}{s_n^2} \right).$$

En los magníficos ensayos y libros dedicados a glosar el teorema central, por ejemplo Feller (1945); Le Cam (1986); Adams (1974) o Fischer (2011), se detallan las contribuciones de, entre otros, de Moivre, Laplace, Poisson, Cauchy, von Mises, Chebyshev, Liapunov, Markov, Polyá, Lévy, Lindeberg, Feller, Bernstein, etc. Difícilmente encontrará el lector una mención a Alan M. Turing. Pero lo cierto es que en 1934 el joven Turing escribió un ensayo titulado “On the gaussian error function” (Turing (1934)) en el que estudiaba a fondo el teorema central. Aunque mi intención principal no es discutir pormenorizadamente la memoria de Turing desde un punto de vista técnico e histórico, sí quisiera contribuir, modestamente, a dar a conocer su brillante aproximación. Por ello, la Sección 2 está dedicada a recordar el contexto en el que Turing escribió su ensayo y los resultados esenciales del mismo. El propósito central de este trabajo, que ocupa la Sección 3, es aprovechar las peculiaridades del documento original de Turing para programar una actividad de análisis del texto orientada a la enseñanza del teorema central.

2. LA “FELLOWSHIP DISSERTATION” DE TURING

La información biográfica que aportaré ha sido extraída fundamentalmente de dos fuentes: el libro escrito por la madre Ethel Sara Turing (1959), tras la trágica muerte de su hijo, y la extraordinaria y completísima biografía de Andrew Hodges (1992).

Alan Mathison Turing (1912-1954) estudia Matemáticas en el King’s College de Cambridge, donde ingresa como becario en el otoño de 1931. Los estudios para graduarse en Matemáticas se estructuraban en dos períodos, de uno y dos años respectivamente, con exámenes obligatorios al final de cada uno. Además, para aquellos

estudiantes que quisieran optar a ser becarios de investigación en el King's College (Fellow of King's College), como era el caso de Turing, el último año se completaba con un bloque adicional de materias muy avanzadas y la elaboración de una memoria en la que el candidato debía mostrar un trabajo de investigación original (Fellowship Dissertation). Uno de los cursos del tercer año versaba sobre Metodología de la Ciencia y fue impartido por Sir Arthur Stanley Eddington. Entre los problemas tratados por el eminente astrofísico estaba el de justificar la tendencia de las medidas experimentales sujetas a errores de observación a seguir una distribución aproximadamente normal o gaussiana. Los argumentos del profesor Eddington no fueron suficientes para satisfacer a Turing quien se propuso demostrar con rigor el teorema central del límite. Era el otoño de 1933. Antes de finalizar el mes de febrero de 1934 Turing había concluido su trabajo, pero al intentar publicarlo se enteró de que Lindeberg ya había resuelto el problema 12 años antes y, además, utilizando una técnica similar. En cualquier caso, se le animó a presentar una versión del mismo, justificando la independencia de su trabajo, como su "Fellowship Dissertation". En noviembre de 1934 envía la memoria titulada "On the Gaussian error function" y el 16 de marzo de 1935 es elegido "Fellow" del King's College. Su vieja escuela de Sherborne lo celebra con medio día de fiesta. Al año siguiente, los chicos de Sherborne vuelven a disfrutar de otra media jornada festiva a cuenta de Turing, ya que la memoria fue galardonada con el prestigioso Smith's Prize por la Universidad de Cambridge.

Describiré ahora el contenido del ensayo presentado por Turing fijándome sólo en aquellos aspectos que considero de interés para la posterior propuesta didáctica. Para un análisis orientado a calibrar el valor científico e histórico de la memoria remito al lector a Zabell (1995). El documento original se conserva en los archivos de la biblioteca del King's College y nunca ha sido publicado. Dividido en tres partes (el prefacio, el ensayo y los apéndices) presenta una curiosa mezcla "tipográfica": el texto convencional está mecanografiado pero las fórmulas y expresiones matemáticas son manuscritas. En el volumen "Pure Mathematics" de la recopilación de las obras de Turing (Britton (1992)) se reproduce tan sólo el prefacio, de dos páginas, en el que Turing describe brevemente el contenido del ensayo y las circunstancias de su conocimiento posterior del artículo de Lindeberg. Afortunadamente, el documento ha sido digitalizado y, desde junio de 2000, está disponible para consulta (referencia: AMT/C/28) en el archivo digital de Alan M. Turing ([The Turing Digital Archive](#)). El ensayo propiamente dicho comprende desde la página 1 a la 32 y está dividido en 14 secciones. Los tres apéndices se extienden desde la página 33 a la 60.

A continuación, se resumen la notación y los resultados principales del ensayo. Si F es una función de distribución con media μ y varianza σ^2 , llamaremos función de distribución normalizada de F a la función $U(x) = F(\frac{x-\mu}{\sigma})$. Denotaremos por $H = F \oplus G$ a la convolución¹ de F y G , $H(x) = \int_{-\infty}^{\infty} G(x-t)dF(t)$. Con estas notaciones, Turing plantea el problema en los siguientes términos. Sea $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots$ una sucesión de errores independientes. Supongamos que el error ε_r tiene función de distribución G_r , función de distribución normalizada V_r , media nula y varianza σ_r^2 . Definimos

¹Turing llama "shape functions", con una errata manifiesta en su definición, a las funciones de distribución normalizadas y "sum distribution function" a la convolución.

$F_n = G_1 \oplus \cdots \oplus G_n$ y sea U_n su correspondiente función de distribución normalizada. Entonces, ¿bajo qué condiciones $U_n(x) \rightarrow \Phi(x)$ cuando $n \rightarrow \infty$, uniformemente en x ? Cuando esto ocurra diremos que F_n converge a la ley gaussiana.

En primer lugar, Turing proporciona sus condiciones “cuasi-necesarias”, a saber,

$$\sum_{r=1}^{\infty} \sigma_r^2 = +\infty \quad \text{y} \quad \left\{ \frac{\sigma_n^2}{\sum_{r=1}^n \sigma_r^2} \right\} \rightarrow 0. \quad (1)$$

Turing afirma que: “Rigurosamente, estas condiciones no son necesarias, pero si no se cumplen U_n sólo puede converger a Φ por accidente”.

Teorema 4 (Condiciones cuasi-necesarias) *Con las notaciones previas:*

1. Si $\sum \sigma_r^2$ es convergente y $F_n = G_1 \oplus \cdots \oplus G_n$ converge a la ley gaussiana entonces para cualquier distribución no gaussiana G_0 la sucesión $F_n^* = G_0 \oplus F_n$ no converge a la ley gaussiana.
2. Si $\sum \sigma_r^2$ es divergente, $\left\{ \frac{\sigma_n^2}{\sum_{r=1}^n \sigma_r^2} \right\}$ no tiende a 0 y $F_n = G_1 \oplus \cdots \oplus G_n$ converge a la ley gaussiana entonces dada cualquier sucesión de números naturales $\{m_s\}$ podemos encontrar una sucesión estrictamente creciente $\{n_s\}$, con $n_s \geq m_s$, de forma que la sucesión F_n^* dada por: $F_1^* = G_1$; $F_{n_s}^* = F_{n_s-1}^* \oplus H_{n_s}$ siendo H_{n_s} cualquier distribución no gaussiana con varianza $\sigma_{n_s}^2$; y $F_{n+1}^* = F_n^* \oplus G_{n+1}$ si $n+1 \neq n_s$ para todo s ; no converge a la ley gaussiana.

En palabras de Turing: “En el caso de que $\sum \sigma_r^2$ sea convergente, la convergencia de U_n a la ley gaussiana es tan delicada que un simple término adicional en la sucesión G_r la estropea. Si $\left\{ \frac{\sigma_n^2}{\sum_{r=1}^n \sigma_r^2} \right\}$ no tiende a 0 entonces podemos encontrar una subsucesión «arbitrariamente dispersa» G_{n_s} tal que el cambio de estas distribuciones impide la convergencia a la ley gaussiana”. Para establecer estos resultados, Turing demuestra previamente una versión parcial del teorema de Cramér.

Teorema 5 *Si F y G son funciones de distribución tales que F y $F \oplus G$ son gaussianas entonces G debe ser gaussiana.*

La condición suficiente más general que Turing encuentra es “demasiado rebuscada para su aplicación directa”. Por ello, Turing deriva otras condiciones más manejables. Aquí enunciamos la más sencilla y, por ende, la menos general.

Teorema 6 (Condición suficiente) *Si además de las condiciones (1) existe una función $\varphi(x) > 0$ tal que $\lim_{|x| \rightarrow \infty} \varphi(x) = +\infty$ y*

$$\sup_{n \in \mathbf{N}} \int_{-\infty}^{+\infty} x^2 \varphi(x) dV_n(x) < +\infty$$

entonces F_n converge a la ley gaussiana.

En definitiva, aunque la condición suficiente dada por Turing no es tan satisfactoria como la obtenida por Lindeberg 12 años antes, ciertamente comparte con ésta sus dos características más celebradas: recurren a condiciones que involucran tan sólo los momentos de orden dos y el método empleado en la demostración se basa en las funciones de distribución. Por contra, las condiciones cuasi-necesarias de Turing anticipan en un par de años el descubrimiento de Feller del fenómeno de las subsucesiones y su Teorema 5 avanza el papel clave del teorema de Cramér.

4. EL TEXTO DE TURING EN EL AULA

El tratamiento que se da en la enseñanza de la probabilidad es a menudo demasiado abstracto para estudiantes cuyo interés primordial reside en la metodología estadística. Es deseable, pues, buscar recursos que permitan introducir los resultados centrales sin requerir una vasta formación matemática. En mi experiencia con las nuevas metodologías de enseñanza-aprendizaje impulsadas por el proceso de convergencia al EEES, he constatado que la lectura y el análisis crítico de textos históricos en el aula, convenientemente seleccionados atendiendo al nivel de la materia y los alumnos, es una actividad que reporta excelentes resultados, pues permite trabajar simultáneamente un buen número de competencias.

El texto de Turing es especialmente adecuado: es un trabajo manuscrito, escrito por un estudiante, en inglés, y auto-contenido. Turing, como es característico en toda su obra, aborda el problema desde sus principios más básicos. Así, todos los resultados se plantean en términos de las funciones de distribución, de modo que el lector no precisa más que un conocimiento básico de la integral de Riemann-Stieltjes. Este planteamiento es adoptado por algunos libros de texto actuales, véase Severini (2005). Se trata, además, de un trabajo, digamos, en bruto, sin revisar ni pulir. Un desilusionado Turing escribe: “Después de leer el artículo de Lindeberg, y por razones obvias, no he modificado la parte del ensayo que es similar a la suya”. Así pues, Turing deja intacto su trabajo consciente de que su método es, en esencia, idéntico al de Lindeberg, aunque los resultados no son exactamente iguales. Y este “abandono” voluntario es, precisamente, la clave del interés de su ensayo. Turing nos regala en el Apéndice B una inusual visión de su propio proceso de maduración del problema. En concreto, partiendo de la demostración “popular” (y falaz) del teorema central mediante densidades (probablemente la utilizada por Sir Eddington), Turing nos muestra sus razones para atacar el problema a partir de las distribuciones. Habitualmente, el teorema central del límite se demuestra, o justifica, en los cursos básicos de teoría de la probabilidad, recurriendo a las funciones características o a métodos analíticos avanzados. No obstante, hay varios excelentes trabajos, sirvan Chatterji (2007), Dalang (2005) y Goldstein (2009) como muestra, que abordan el teorema desde puntos de vista más simples. Como queda dicho, el teorema central del límite de Alan M. Turing es de este último tipo; y el estudiante puede leerlo de la fuente original, sin filtros, ni interpretaciones, ni intermediarios.

Son muchos los aspectos del teorema central que se pueden discutir, con mayor o menor profundidad, a partir del ensayo de Turing. Mencionemos algunos de los más interesantes. De una comparación superficial de los enunciados del teorema central dados en las páginas 1 y 3, al estudiante debería resultarle llamativo que Turing

soslaye el concepto de variable aleatoria y que requiera convergencia uniforme de las funciones de distribución. El planteamiento aplicado de Turing, en términos de errores, podría servir al profesor para recordar aspectos históricos del teorema central y de la teoría de la probabilidad. Así, podría recordar que el concepto de variable aleatoria no formaba parte del vocabulario de entonces. De hecho, en el Apéndice C, Turing recurre a un espacio de parámetros para probar propiedades básicas de la media y la varianza de la suma de errores (variables aleatorias) independientes. La propia inclusión de este apéndice tan básico nos habla acerca del “status” de la probabilidad en la Matemática del momento, un asunto que quizás merezca alguna reflexión. En cuanto a la convergencia en distribución sería oportuno recalcar que equivale a la convergencia uniforme, puesto que la distribución límite es una función continua.

Las condiciones cuasi-necesarias (1) de Turing son equivalentes a las condiciones del Teorema 3. El primer apartado del Teorema 1 es inmediato a partir del Teorema 2. El teorema de Cramér requiere resultados muy avanzados, mientras que la demostración del Teorema 5 es sencilla empleando la teoría de los polinomios de Hermite (cuya completitud, aunque ya conocida, Turing establece mediante una prueba original en el Apéndice A). La condición suficiente del Teorema 6 engloba los casos de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas y la condición de Liapunov. Precisamente, en el Apéndice B, Turing deduce la condición suficiente de Liapunov para proponer algunas posibles generalizaciones. Por supuesto, la condición suficiente de Turing es más débil que la de Lindeberg, pero una lectura comparada de ambas demostraciones resulta altamente enriquecedora. El contraejemplo aportado por Turing al final de su ensayo puede servir para ilustrar las hipótesis del Teorema 3.

Referencias

- Adams, W. J., 1974. *The life and times of the central limit theorem*. Kaedmon Publishing Company, New York.
- Britton, J. L. (Ed.), 1992. *Collected works of A. M. Turing*. Pure Mathematics. North Holland, Amsterdam.
- Chatterji, S. D., 2007. Lindeberg’s central limit theorem à la Hausdorff. *Expositiones Mathematicae* 25, 215–233.
- Dalang, R. C., 2005. Une démonstration élémentaire du théorème central limite. *Elemente der Mathematik* 60, 1–9.
- Feller, W., 1945. The fundamental limit theorems in probability. *Bulletin of the American Mathematical Society* 51, 800–832.
- Fischer, H., 2011. *History of the Central Limit Theorem. From Laplace to Donsker*. Springer-Verlag, Berlin, (En prensa).
- Goldstein, L., 2009. A probabilistic proof of the Lindeberg-Feller central limit theorem. *The American Mathematical Monthly* 116, 45–60.

- Hodges, A., 1992. *Alan Turing: The enigma*. Vintage Books, London.
- Le Cam, L., 1986. The central limit theorem around 1935. *Statistical Science* 1 (1), 78–96, (with comments by H. F. Trotter, J. L. Doob and David Pollard).
- Severini, T. A. (Ed.), 2005. *Elements of distribution theory*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Turing, A. M., 1934. *On the Gaussian error function*. Unpublished fellowship dissertation, King's College Library, Cambridge.
- Turing, E. S., 1959. *Alan M. Turing*. W. Heffer & Sons, Ltd., Cambridge.
- Zabell, S. L., 1995. Alan Turing and the central limit theorem. *The American Mathematical Monthly* 102 (6), 483–494.

REALIZACIÓN DE ESTUDIOS BIOESTADÍSTICOS CON SOFTWARE LIBRE: EPILINUX

Miguel Ángel Rodríguez Muíños¹, Teresa Seoane Pillado², Xurxo Hervada Vidal¹, Carmen Cadarso Suárez³

¹ Dirección Xeral de Saúde Pública e Planificación, Consellería de Sanidade, Xunta de Galicia.

² Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística, Complejo Hospitalario Universitario A Coruña.

³ Unidade de Bioestatística, Facultade de Medicina, Universidade de Santiago de Compostela.

RESUMEN

El campo de la investigación biomédica se nutre de programas informáticos que dan soporte a las necesidades de cálculo y de elaboración de proyectos que conforman el proceso de realización de estudios bioestadísticos. Hoy en día la mayoría de estos programas son privativos; es decir, son propiedad de una empresa y pagamos por poder utilizarlos imposibilitándonos, la propia licencia del producto, a realizar modificaciones en los mencionados programas. Como alternativa a esta práctica, existe una tendencia creciente: la utilización de software libre. Decimos que un programa de ordenador es software libre cuando, además de la posibilidad de utilización del mencionado programa, el autor nos faculta para distribuirlo libremente y/o realizar las modificaciones que creamos oportunas. Abordar la realización de estudios bioestadísticos utilizando software libre es viable y altamente recomendado dadas las ventajas que aporta sobre el software privativo. EpiLinux es un sistema operativo que aporta un entorno de trabajo, en el que se ofrece una completa selección de programas especialmente orientados a la realización de estudios bioestadísticos y a la formación de los futuros investigadores y/o profesionales del sector. EpiLinux es software libre.

Palabras y frases clave: Biomedicina, bioestadística, informática, Linux.

1. INTRODUCCIÓN

El panorama actual del software necesario para la realización de estudios bioestadísticos pasa por la necesidad de homogeneizar el entorno de trabajo que, hoy en día consiste en la utilización de más de un programa simultáneamente, en ciertos casos un número elevado de ellos, algunos de los cuales están disponibles en sistemas operativos distintos (como pueden ser Windows, Linux, ...).

Además de esto, a la hora de utilizar programas informáticos para la realización de este tipo de estudios asumimos el elevado coste del software propietario, no considerándolo un punto a tener en cuenta a la hora de evaluar su conveniencia. Esta situación provoca un sesgo en el panorama del software especializado inclinando la balanza, claramente, hacia el lado del software comercial. El *software comercial* es el software por el que las compañías que lo producen, cobran dinero, ya sea por el producto, su distribución y/o soporte.

Como valor añadido de la adquisición de dichos programas, hay que tener en cuenta el coste del mantenimiento de los mismos: casi todos los productos poseen una política de licencias que obliga a que, anualmente, tengamos la necesidad de renovarlos (no permitiendo, incluso, continuar utilizando las versiones anteriores).

Este tipo de “estrategias” de utilización de software influyen, de una manera indirecta, en las herramientas a utilizar en futuros estudios y delimitan el campo de acción de los estudiantes (futuros profesionales del sector) y nuevos investigadores consiguiendo, así, marcar tendencias en la docencia y la investigación que aumentan, todavía más, el coste indirecto imputado; además crean un entorno que no favorece la evolución de los sistemas

de software ni la posibilidad de incorporación de nuevas rutinas y/o programas de fácil acceso y utilización por parte de la comunidad científica.

Se debe considerar la independencia del software de terceras partes, el acceso completo y abierto a sus funcionalidades y la posibilidad de modificación/adaptación del mismo como un factor diferenciador a la hora de seleccionar las herramientas de referencia para la realización de estudios bioestadísticos.

2. SOFTWARE LIBRE

La alternativa es el software libre. Podemos definir “software libre” como aquel del cual disponemos del código fuente y de la posibilidad, contemplada en la licencia del mismo, de modificarlo y/o adaptarlo según nuestras necesidades, pudiendo redistribuirlo posteriormente.

Según la definición de la *Free Software Foundation*, organización creada por Richard Stallman en la década de los 80, el software libre se refiere a la oportunidad de los usuarios para utilizar, distribuir y modificar el software, basándose en cuatro libertades:

- la libertad de usar el programa, con cualquier propósito;
- de estudiar y adaptar el programa según las necesidades de cada uno;
- de distribuirlo libremente, y
- de modificar el programa y hacer públicas las modificaciones, de modo que toda la comunidad se beneficie.

3. TIPOS DE LICENCIAS

La forma de ofrecer un programa como software libre consiste en ponerlo a disposición de la comunidad con una licencia anexa de forma que, el autor o autores del mismo, provea a los interesados una manera de realizar “actuaciones legales” sobre dichos programas. Desde el punto de vista del software libre, existen distintos tipos de licencias. Una de las más extendidas es la Licencia GPL (*General Public License*). Esta licencia posibilita la utilización, modificación y redistribución del software y obliga a que siga manteniéndose este tipo de licencia en las versiones modificadas. La Licencia GPL es un proyecto creado por la Free Software Foundation para proteger el uso, modificación y distribución del software libre.

4. EPILINUX

EpiLinux es software libre, distribuido bajo licencia GPL. Es un Sistema Operativo, de libre distribución, especialmente orientado a la utilización de herramientas de análisis bioestadístico. Aporta un sistema completo y autónomo, de sencillo manejo y de utilidad para todas aquellas personas, tanto profesionales como estudiantes, que desarrollen sus actividades en el campo de la bioestadística. Para ello, se ha recopilado en una misma distribución y con un entorno homogéneo el software necesario para la realización de este tipo de estudios.

<<< FIGURA 1 >>>

5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

EpiLinux es una distribución completa de Linux. Está basado en Ubuntu, con entorno de escritorio KDE en su versión 3, en la que se ha incluido, una completa recopilación de software, listo para utilizar: desde herramientas ofimáticas (OpenOffice), software de Internet (Firefox,) hasta software específico bioestadístico, epidemiológico y de análisis de datos (R, SciLab, Octave, PSPP, WinBUGS, OpenStat, EpiGrass, Quantum GIS,...)

Como complemento al software nativo, EpiLinux dispone del emulador WINE (<http://www.winehq.org/>), que permite ejecutar software diseñado para Windows en su propio entorno. Funciona como un “cargador” para

Linux de programas basados en las API Win16 y Win32. WINE es un acrónimo recursivo que significa Wine Is Not an Emulator (Wine no es un emulador).

EpiLinux se puede utilizar como un sistema “live” y ejecutar directamente desde el DVD evitando, así, la interacción con instalaciones previas de otros Sistemas Operativos. También se puede instalar en el disco duro del equipo. Está disponible para su descarga desde la Web de la Dirección Xeral de Saúde Pública e Planificación (<http://www.galiciasaude.es/dxsp>) gratuitamente, en su apartado de portada “Información Destacada”.

6. CONCLUSIONES

La realización de estudios bioestadísticos con software libre es posible (y recomendable). EpiLinux ofrece la posibilidad de disponer, en un entorno completo, homogéneo y de libre distribución, de las herramientas necesarias para la realización de estudios epidemiológicos, bioestadísticos y de salud en general.

7. AGRADECIMIENTOS

El proyecto EpiLinux surge de la colaboración entre la Dirección Xeral de Saúde Pública e Planificación de la Consellería de Sanidade, Xunta de Galicia; la Unidad de Bioestadística de la Facultad de Medicina, Universidad de Santiago de Compostela y los proyectos de investigación MTM2005-00818/MTM208-01603 del Ministerio de Ciencia e Innovación.

REFERENCIAS

Mas i Hernández J. Software Libre: técnicamente viable, económicamente sostenible y socialmente justo. <http://www.infonomia.com/img/pdf/llibrejmas.pdf>

Bessen J. What good is free software? En: Hahn R, ed. (2002). Government Policy toward open Source Software. Washington, DC, AEI-Brookings Joint Center for Regulatory Studies.

Lerner J, Tirole J. The open source movement: Key research questions. *European Economic Review* 45 (2001).

DiBona C, Ockman S, Stone M. Open Sources: Voices from the Open Source Revolution. eds. O'Reilly & Associates, Sebastopol, CA (1999).

Raymond ES. The magic cauldron (1999). <http://www.catb.org/~esr/writings/magic-cauldron/>

Raymond ES. The cathedral and the bazaar (2000). <http://www.catb.org/~esr/writings/cathedral-bazaar/>

Stallman R. Free as in freedom. (2002). <http://www.oreilly.com/openbook/freedom/>

González JM, Heras P, Matellán V, Martínez G. Sobre software libre. Compilación de ensayos sobre software libre. Madrid. 2004. <http://gsync.es/~grex/sobre-libre/index.html>

Libro Blanco del Software Libre en España. <http://www.libroblanco.com>

Stallman R. Free Software, Free Society. GNU Press, 2002.

EpiLinux: <http://www.galiciasaude.es/dxsp>.

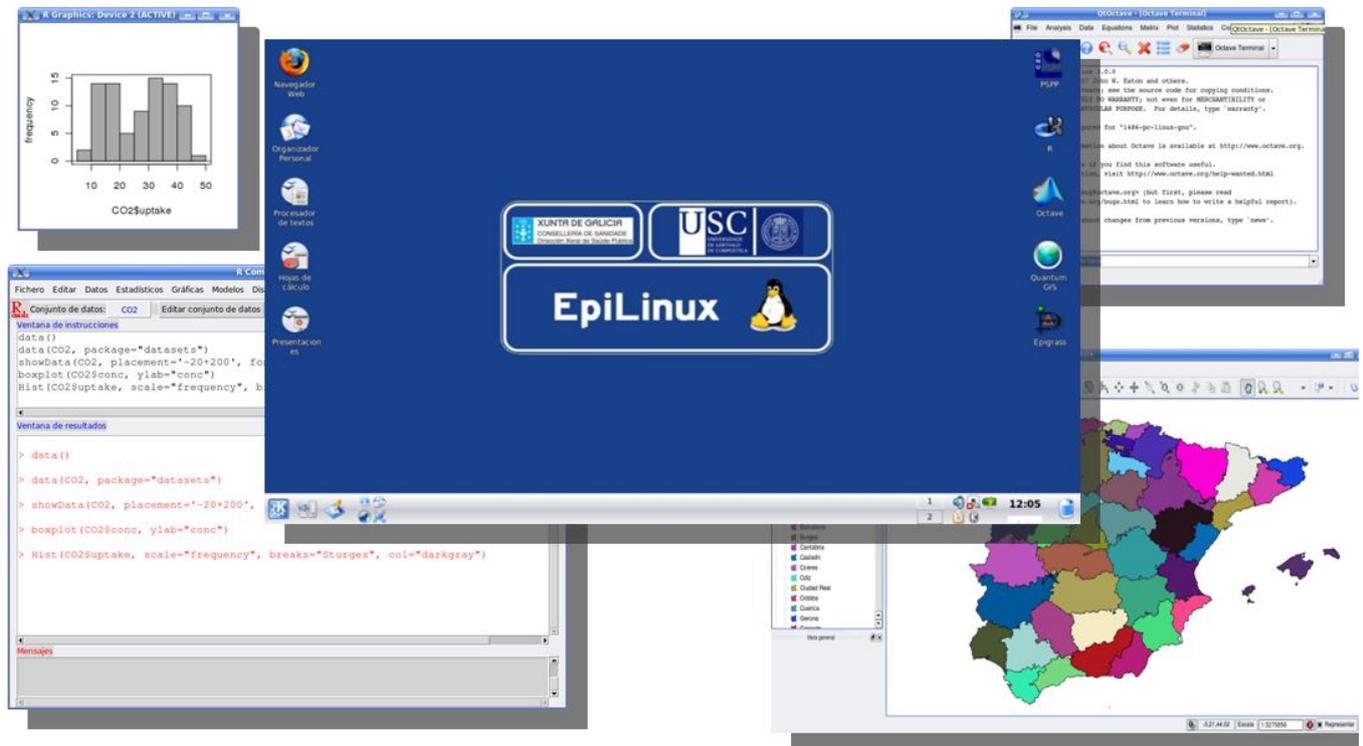


Figura 1: En la parte central, superpuesta, vemos el escritorio de EpiLinux, donde se puede observar la barra de tareas y los iconos de acceso directo. En las ventanas inferiores, se muestra el funcionamiento de R con su entorno gráfico Rcommander, el sistema de información geográfica QuantumGIS y Octave, la alternativa libre a Matlab.

* * * * *

EPIDAT 4.0: UNA HERRAMIENTA DE APOYO PARA LA ENSEÑANZA DE LA ESTADÍSTICA

M. I. Santiago Pérez¹, G. Naveira Barbeito¹ y el Equipo de Epidat 4²

1 Dirección Xeral de Saúde Pública e Planificación. Consellería de Sanidade. Xunta de Galicia.

2 M^a Isolina Santiago, Gael Naveira, Xurxo Hervada, Luis Carlos Silva, Enrique Vázquez, Óscar Mújica, Jorge Bacallao, Humberto Fariñas.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es describir la trayectoria, características y situación actual de Epidat, un proyecto desarrollado por la Dirección Xeral de Saúde Pública e Planificación de la Consellería de Sanidade (Xunta de Galicia) en colaboración con la Organización Panamericana de la Salud. Se trata de una herramienta de libre distribución con una gran variedad de opciones para el análisis estadístico y epidemiológico de datos; actualmente se distribuye la versión 3.1 y está en desarrollo la 4.0.

Palabras y frases clave: Software, epidemiología.

1. INTRODUCCIÓN

Para la enseñanza de la estadística, tanto en el ámbito universitario como en la enseñanza media, es fundamental combinar las clases teóricas con clases prácticas que ayuden a los alumnos a profundizar en los conceptos estadísticos y a una mejor afirmación de los conocimientos. Para alcanzar este objetivo es necesario contar con herramientas de manejo sencillo y, preferiblemente, de libre acceso para los alumnos.

La Dirección Xeral de Saúde Pública e Planificación (DXSP) de la Xunta de Galicia lleva más de 15 años trabajando en un proyecto, llamado Epidat, que consiste en el desarrollo y difusión de un programa de libre distribución para el análisis estadístico y epidemiológico de datos, y que constituye una herramienta válida para apoyar y facilitar la docencia de la estadística¹. El propósito de este trabajo es repasar a grandes rasgos la trayectoria del proyecto y dar información acerca de la versión 4.0 en la que actualmente se trabaja.

Epidat nació como una calculadora sencilla para dar respuesta a las necesidades de cálculos estadísticos y epidemiológicos básicos en la DXSP, debido a la escasez y poca disponibilidad de programas con estas características a principios de los años 90. Su primera versión, desarrollada para el entorno MS-DOS, resultó de la cooperación técnica entre la Consellería de Sanidade y la Organización Panamericana de la Salud (OPS), que se ha mantenido desde entonces a través de un convenio de colaboración entre ambas instituciones. La secuencia y características de las sucesivas versiones de Epidat se recoge en la tabla 1. Actualmente, puede descargarse gratuitamente la versión 3.1 desde la página Web de la DXSP: <http://dxsp.sergas.es>.

Tabla 1: Características de las sucesivas versiones de Epidat

Versión	Año	Rasgos fundamentales
1.0	1994	Calculadora básica de indicadores epidemiológicos para MS-DOS
2.0	1997	Ampliación limitada de la versión anterior, ahora para Windows 3.1
2.1	1998	Traducción al catalán, gallego, inglés y portugués
3.0	2004	Ampliación radical de contenidos, entorno Windows 98
3.1	2006	Corrección de errores y traducción al gallego, inglés y portugués

A finales del año 2007 se realizó una encuesta por vía electrónica entre los usuarios registrados de la versión 3 de Epidat (3.0 y 3.1)². El cuestionario, que fue enviado a 13.063 direcciones de correo, incluía 19 preguntas, 14 de las cuales se referían a la versión 3 (frecuencia de uso, dificultades halladas, grado de uso y utilidad de cada módulo, errores detectados y valoración de diferentes aspectos en una escala de 0 a 10), y las 5 restantes solicitaban sugerencias de cara a una nueva versión. Los resultados de la encuesta, con casi 1.500 respuestas, pusieron de manifiesto un alto grado de satisfacción con el programa por parte de la mayoría de los usuarios, quienes dieron ideas sobre la inclusión de nuevos métodos, fundamentalmente modelos de regresión, análisis multivariante y supervivencia, y sugerencias para mejorar la ayuda y el manejo del programa.

Dada la amplia difusión alcanzada por Epidat, presente en más de 50 países (aunque el 98% de los usuarios son de Iberoamérica), y teniendo en cuenta el interés mostrado por los usuarios en la encuesta, así como las necesidades de optimización identificadas, el equipo de Epidat se ha trazado la tarea de desarrollar una nueva versión, la 4.0, en la que trabaja desde principios del año 2008.

2. CARACTERÍSTICAS DE EPIDAT 4

En el desarrollo de Epidat 4.0 participan estadísticos, epidemiólogos e informáticos de Galicia, Cuba y OPS. Esta nueva versión se está programando en Java, debido a la versatilidad de este lenguaje, que permite el funcionamiento de la aplicación en distintos sistemas operativos, tales como Windows, Linux y Macintosh.

Igual que en la versión anterior, el entorno y, fundamentalmente, el contenido y la ayuda, son elementos distintivos de Epidat 4.0. Un cambio importante con respecto a las versiones anteriores es que Epidat 4.0 tiene una estructura modular de modo que, a partir de un entorno general, se podrán añadir o modificar de forma independiente los distintos módulos temáticos, lo cual facilitará las actualizaciones del programa.

Epidat 4.0 tiene un entorno amigable en el que se ha priorizado que el manejo de datos y la gestión de resultados sean sencillos para el usuario (Figura 1). Aunque esta versión mantiene la filosofía de estar orientada preferentemente al manejo de datos tabulados, en algunos procedimientos opera con bases de datos no agregados. Además, en la mayoría de las opciones del programa es posible cargar los datos de forma automática a partir de tablas en formato Excel, Access o de OpenOffice, utilizando un asistente para la obtención de datos. Los resultados que genera el programa, que pueden ser numéricos o gráficos, se acumulan en un editor de texto que se puede salvar con formato rtf, pdf o una extensión propia de Epidat, epi. Una novedad destacable de esta versión es el editor de gráficos, que permite personalizar todos los gráficos generados por el programa y guardarlos en formato de imagen.

El contenido de Epidat ha ido creciendo con las sucesivas versiones hasta llegar a 12 módulos en la versión 3, ahora ampliados a 19 (tabla 2) como resultado de las discusiones del equipo de trabajo y de las numerosas sugerencias aportadas por los usuarios. Estos métodos abarcan una amplia variedad de técnicas estadísticas y epidemiológicas, que cubren las necesidades más generalizadas de los epidemiólogos y técnicos de salud, así como las carencias presentes en los paquetes estadísticos más frecuentemente empleados por los profesionales de la Epidemiología.

Tabla 2: Módulos contenidos en Epidat 4.0.

Presentes en la versión 3	Nuevos en la versión 4.0
Ajuste de tasas	Análisis descriptivo
Demografía	Depuración e imputación de datos
Muestreo	Estimación de la mortalidad atribuida
Distribuciones de probabilidad	Regresión logística
Concordancia y consistencia	Análisis de supervivencia
Pruebas diagnósticas	Índices de desarrollo o privación
Tablas de contingencia	Medición de desigualdades en salud
Inferencia sobre parámetros	Métodos de evaluación económica
Análisis bayesiano	
Vigilancia epidemiológica	
Meta-análisis	

A continuación se describen brevemente los módulos con un carácter más específicamente estadístico, cinco de los cuales ya estaban incluidos en la versión 3 del programa³:

- **Análisis descriptivo:** ofrece la posibilidad de organizar y resumir un conjunto de datos mediante tablas de frecuencias, cálculo de medidas características y representaciones gráficas. En este módulo el editor de gráficos juega un papel fundamental.
- **Depuración e imputación de datos:** contiene procedimientos para identificar datos atípicos y para imputar datos faltantes en varios casos particulares pero muy frecuentes en el análisis de datos tabulados.
- **Muestreo:** incluye procedimientos para determinar tamaños muestrales, selección de muestras probabilísticas con diferentes diseños y tratamiento de datos en muestras complejas.
- **Inferencia sobre parámetros:** permite calcular intervalos de confianza y hacer pruebas de hipótesis sobre medias, proporciones y tasas de incidencia, con datos de una o dos muestras.
- **Análisis bayesiano:** permite aplicar la metodología bayesiana a problemas básicos de inferencia, como son la estimación y comparación de medias y proporciones. En la mayoría de opciones de este módulo el usuario puede seleccionar de una forma interactiva la función de distribución a priori más adecuada para sus datos.
- **Tablas de contingencia:** contiene un submódulo orientado a la epidemiología, con opciones para estudiar la asociación entre exposición y enfermedad, y otro que permite analizar la asociación entre dos variables categóricas en tablas bidimensionales M×N.
- **Regresión logística:** contiene opciones para hacer ajustes logísticos, tanto a partir de tablas de contingencia múltiples como con bases de datos extendidas.
- **Análisis de supervivencia:** permite estimar la supervivencia por el método de Kaplan-Meier, o ajustar modelos de regresión de Cox.
- **Distribuciones de probabilidad:** ofrece la posibilidad de computar valores de la función de distribución y su inversa para un amplio abanico de distribuciones discretas y continuas, así como representar gráficamente la función de densidad y de distribución. También permite generar muestras simuladas para cada una de las distribuciones incluidas.

La ayuda de Epidat es, desde la versión 3, uno de sus elementos distintivos respecto de aplicaciones similares. Lejos de reducirse o concentrarse en explicar el manejo del programa, la ayuda incluye los fundamentos estadísticos y epidemiológicos de cada método, con numerosos ejemplos debidamente resueltos y comentados. Además, en la versión 4, la ayuda tendrá como novedad un anexo con los algoritmos implementados en cada módulo y la bibliografía utilizada para delimitarlos, y se pondrá especial celo en conservar su enfoque crítico y mejorar su calidad.

3. CONCLUSIONES

En resumen, la versión 4 de Epidat va a constituir una herramienta versátil, de manejo sencillo, válida para distintos sistemas operativos y con una ayuda bien diferenciada respecto a otras aplicaciones. El programa se pondrá a libre disposición de los usuarios en el primer trimestre del año 2010 cuando estén programados la mitad de los módulos previstos. Los restantes se irán incorporando progresivamente. Para cualquier comentario o sugerencia para la nueva versión puede dirigirse a soporte.epidat@sergas.es.

REFERENCIAS

- 1 Hervada Vidal, X., Santiago Pérez MI, Vázquez Fernández E, Castillo Salgado C, Loyola Elizondo E, Silva Ayçaguer LC. Epidat 3.0: Programa para el análisis epidemiológico de datos tabulados. Versión 3.0. Rev Esp Salud Pública 2004;78(2):277-80.
- 2 Santiago-Pérez MI, Vázquez E, Hervada X, Silva LC, Fariñas H, Mújica OJ et al. Perfil y opiniones de los usuarios registrados de Epidat 3. XXVI Reunión Científica de la Sociedad Española de Epidemiología. Gacet Sanit. 2008;22(Espec Congr):72.
- 3 Santiago Pérez MI, López Ratón M, Vázquez Fernández E, Silva Ayçaguer LC, Hervada Vidal X. Epidat 3.1: Una herramienta para el análisis epidemiológico de datos tabulados. Congreso de Estadística e Investigación de Operaciones de Galicia y Norte de Portugal.

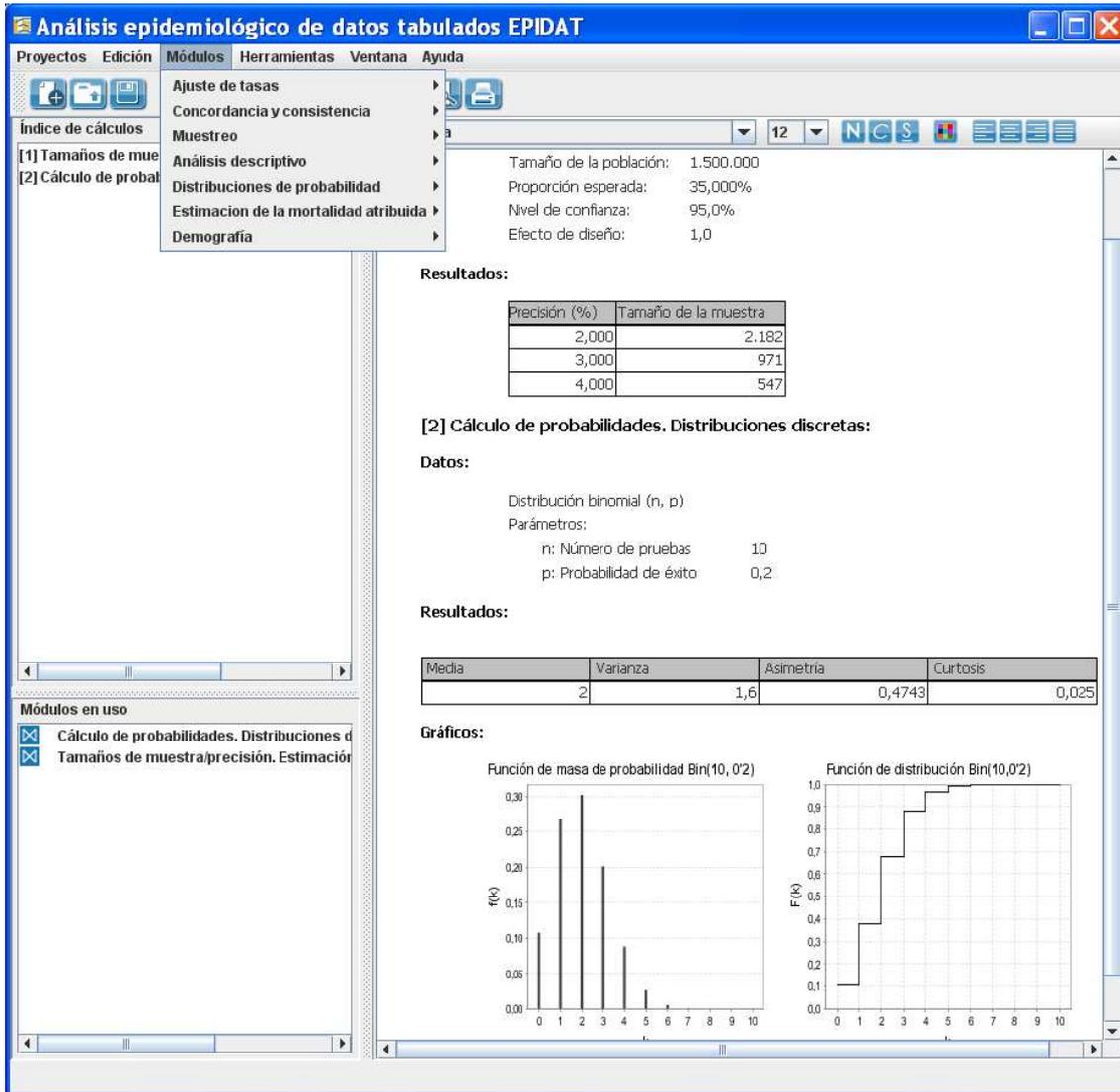


Figura 1: Pantalla de Epidat 4.0

An experimental study on the resolution of Linear Programming problems on High School classrooms

A. Teixeira¹ and H. Monteiro²

1 Department of Mathematics, UTAD, Vila Real, Portugal / CIO, Faculty of Sciences, Lisbon, Portugal
2 High School of S. Pedro, Vila Real, Portugal

ABSTRACT

In this paper we will describe an experimental study with one hundred and fourteen Portuguese students of the 11th grade who attended to the classes of Mathematics A. Two practical activities involving the resolution of some Linear Programming, LP, problems were solved by the students (one before and the other after the theme was taught). The aim of this study is not only to understand how the students respond to this theme and their main difficulties when solving LP problems, but also to study their knowledge evolution and to identify which concepts of LP they acquired.

Keywords: Linear Programming, problem resolution, High School

1. INTRODUCTION

In 1975, Sebastião e Silva [7] (cit. [2,5]) already considered that, in Portugal, “The inclusion of Optimization problems on High School was becoming each day more imperious”. In Portugal, Linear Programming, LP, officially appeared, for the first time, in the Mathematics’ program at the so called “Anos Propedêuticos” (1978/79 and 1979/80), being suppressed afterwards with its replacement by the 12th grade. At school year 1998/99 this theme was reintroduced as an optional part of the Mathematics’ program for the 11th grade, having assumed an effective character only from school year 2004/05.

In [5] an experimental study where a group of students of the 10th grade solved some LP problems with very positive results is described. The experience in [5] was performed in 12 lessons of 50 minutes, while the actual program of Mathematics A only reserves 3 to 4 lessons of 90 minutes to the theme of LP [1,3,6,8,10]. Therefore, we want to confirm if the good results achieved in the previous study could be attained within the time reserved to this theme in the actual program of Mathematics A.

With this study we intend to present an experience performed with the 11th grade students of an High School from the city of Vila Real, Portugal. We proposed to the students the resolution of two practical activities involving the resolution of LP problems (adapted from [3] and [9], respectively) in pairs. The first one was given to the students before the theme was taught, while the second one was solved by them after learning it.

The aim of this study is not only to understand how the students respond to this theme and their main difficulties when solving LP problems, but also to analyze their knowledge evolution on the topic and to identify which concepts of LP they acquired.

2. EXPERIMENTAL STUDY DESCRIPTION

This experience took place in the second period of school year 2008/09 and involved the one hundred and fourteen 11th grade High School students of a school in the city of Vila Real (Portugal), that attended to the classes of Mathematics A. This school was chosen because one of the researchers teaches there.

Two practical activities involving the formulation and resolution of LP problems were proposed to each pair of students. Both activities are presented in the Appendix, at the end of the paper. As it can be seen in the Appendix, the first practical activity, PA1, (with the problem adapted from [3]) was structured to work as a guide; the purpose was to help the students (that were contacting with the theme of LP for the first time) formulate the LP problem and guide them towards its solution(s) and optimal value, if any. This activity was solved by the students at the beginning of January in one lesson of 90 minutes and 30 more minutes of a second lesson (questions Q7 and Q8 were solved in the second lesson). The second practical activity, PA2, (with the

problem adapted from [9]) was solved by the students in a lesson of 90 minutes, just after the theme of LP as been taught. The resolution of this activity was divided in two phases: first the students were asked to write a LP formulation of the problem (question Q1) and secondly, given a formulation of the problem, they answered the remaining questions of the activity. We adopted this strategy because, during the lessons, the teachers noticed that the students felt difficulties interpreting and formulating LP problems. We also note that both activities were structured to make the students focus on some particular variants of the studied problems and during their resolution the students were allowed to use the graphic calculating machine.

3. PRESENTATION AND ANALYSIS OF THE RESULTS

We remember that the aim of this study is to understand how the students respond to the theme of LP proposed in the program of Mathematics A for the 11th grade and their main difficulties when solving LP problems. We also want to study their knowledge evolution, concerning to the topic, and identify which concepts of LP they acquired. To do so, for both practical activities, we will analyze how the students attained the following twelve objectives:

- O1- Interpret the text of the problem;
- O2- Identify the type of optimization used (maximization/minimization);
- O3- Understand the meaning of the variables;
- Translate to mathematical expressions:
 - O4- the objective function;
 - O5- the main constraints;
 - O6- the non-negativity constraints;
- O7- Represent geometrically the feasible region;
- Identify:
 - O8- feasible solutions of the problem, even the non-optimal ones;
 - O9- an optimal solution;
 - O10- the existence of more than one optimal solution;
- O11- Interpret the optimal solution and the optimal value in the context of the problem;
- O12- Distinguish the notion of optimal solution from the notion of optimal value.

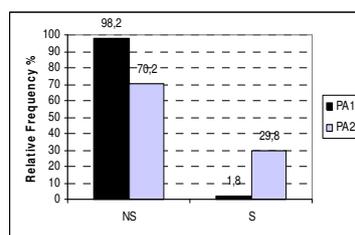
The following five-point Likert scale was used to classify each one of these objectives, depending on the degree of satisfaction with which it was attained:

- 1- Not satisfied (NS);
- 2- Little satisfied (LS);
- 3- Satisfied (S);
- 4- Quite satisfied (QS);
- 5- Completely satisfied (CS).

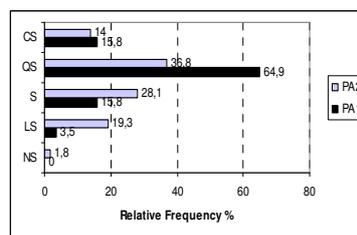
The second objective (O2) was the only exception; it was classified as:

- 0- Not satisfied (NS);
- 1- Satisfied (S).

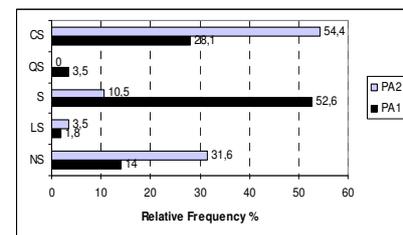
For both practical activities, we will analyze not only the degree of satisfaction with which the students attained each objective, but also if the objectives were better attained for the second activity than for the first one. To help the reading and clarify the analysis of the results, we will present graphics to synthesize the obtained information.



Graphic 1- Results for O2.



Graphic 2- Results for O1.



Graphic 3- Results for O3.

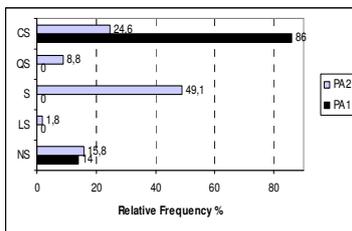
For the second objective (O2), Graphic 1 allows us to observe that only 1.8% of the students identify correctly the type of optimization to be used in the first practical activity, PA1, while this number increased approximately 30% for the second activity, PA2. So, we can conclude that, most of the students (more than 70%) can't identify the type of optimization to be used.

To analyze the remaining eleven objectives we not only computed the relative frequencies of each class in the Likert scale, for both practical activities, but we also used the non parametric hypothesis Wilcoxon Test, WT, with level of significance of 0.05, to study the students' knowledge evolution from the first to the second activity (the notation used follows the one presented in [4]).

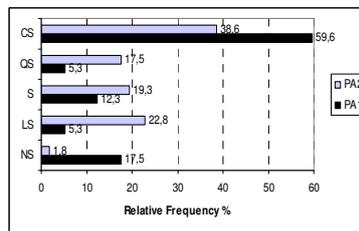
Graphic 2 allows us to observe that, for the first objective (O1), from the first to the second activity the percentage of students with classification "Quite satisfied" diminished more than 25%, having the inverse

situation occurred for the case of classifications “Satisfied” and “Little satisfied”, which increased approximately 12% and 16%, respectively. The other classifications remained practically unaltered. Wilcoxon Test (WT) allows us to conclude that there isn’t statistically significant improvement from the first to the second activity ($\tilde{X}_1 = \tilde{X}_2 = 4$; $S_- = 684$; $S_+ = 262$; $Z = -2.63$; $p_{UE} = 0.996$); this is, the students do not interpret the text of the problem of the second activity better than they interpret the text of the first one. Nevertheless, in each practical activity, more than 75% of the students do it, at least in a satisfactory way; being that more than 50% do it quite or completely well.

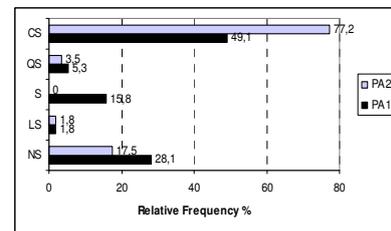
Relatively to the third objective (O3), from Graphic 3 is possible to verify that, from PA1 to PA2, the percentage of students with classification “Satisfied” diminished more than 40%, while for classifications “Not satisfied” and “Completely satisfied” it increased approximately 16% and 27%, respectively. Using WT, we conclude that there isn’t statistically significant improvement from the first to the second activity ($\tilde{X}_1 = 3$; $\tilde{X}_2 = 5$; $S_- = 434,5$; $S_+ = 511,5$; $Z = -0.490$; $p_{UD} = 0.329$); this is, the students do not understand what the variables of the problem of the second activity represent better than they understand what the variables of the first activity represent. Still, for both practical activities, more than 60% of the students understand the meaning of the variables, at least satisfactorily; for the second activity, the percentage of students who does it completely well is approximately 55%.



Graphic 4- Results for O4.



Graphic 5- Results for O5.



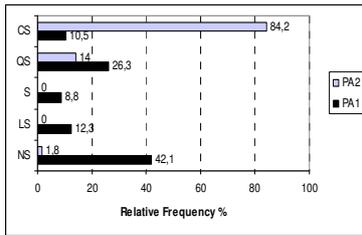
Graphic 6- Results for O6.

From Graphic 4 we observe that, for the fourth objective (O4), the percentage of students with classification “Completely satisfied” diminished approximately 60%, from PA1 to PA2, while for the case of classifications “Satisfied” and “Quite satisfied”, it increased 49% and 9%, respectively. From WT we conclude that there isn’t statistically significant improvement from the first to the second activity ($\tilde{X}_1 = 5$; $\tilde{X}_2 = 3$; $S_- = 685$; $S_+ = 135$; $Z = -3.861$; $p_{UE} = 1.000$); this is, the students do not translate to a mathematical expression the objective function of the second activity better than they translate the one of the first activity. However, in each practical activity, more than 80% of the students translate the objective function to a mathematical expression at least satisfactorily.

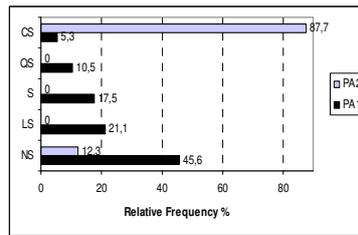
For the fifth objective (O5), Graphic 5, we verify that the percentage of students with classifications “Not satisfied” and “Completely satisfied” diminished, from the first to the second activity, approximately 16% and 20%, respectively, having the inverse situation verified for the case of classifications “Little satisfied”, “Satisfied” and “Quite satisfied”, which increased approximately 17%, 7% and 12%, respectively. From WT we conclude that there isn’t statistically significant improvement from PA1 to PA2 ($\tilde{X}_1 = 5$; $\tilde{X}_2 = 4$; $S_- = 514$; $S_+ = 432$; $Z = -0.5$; $p_{UE} = 0.787$); this is, the students do not translate to mathematical expressions the main constraints of the problem of the second activity better than they translate the ones of the first activity. Nevertheless, we note that, for both practical activities, more than 75% of the students translated the main constraints, at least, in a satisfactory way; being this number superior to 55% for the case of quite or completely correct translations.

Graphic 6 allows us to observe that, for the sixth objective (O6), the percentage of students with classifications “Not satisfied” and “Satisfied” diminished approximately 11% and 16%, respectively, from PA1 to PA2; for the case of classification “Completely satisfied” the increase was of 28%. From WT, we conclude that there is statistically significant improvement from the first to the second activity ($\tilde{X}_1 = 4$; $\tilde{X}_2 = 5$; $S_- = 203,5$; $S_+ = 462,5$; $Z = -2.083$; $p_{UD} = 0.019$); this is, the students represent the non-negativity constraints better in the second activity than in the first one. For both practical activities, more than 70% of the students do it, at least satisfactorily; being that more than 50% of them do it quite or completely well.

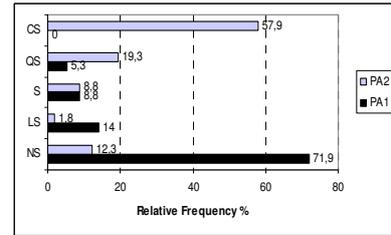
We note that, the general decrease verified on the classifications, from the first to the second activity (for the first, third, fourth and fifth objectives), can be somewhat justified by the fact of the text of the problem in the second activity be less simpler than the one presented in the first activity. We remember that the first text was adapted from an 11th grade High School manual [3], while the second one was adapted from a book of Operations Research for College students [9].



Graphic 7- Results for O7.



Graphic 8- Results for O8.

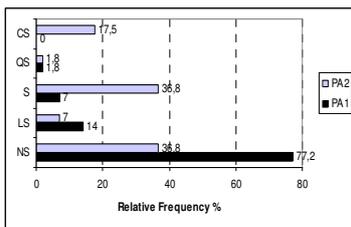


Graphic 9- Results for O9.

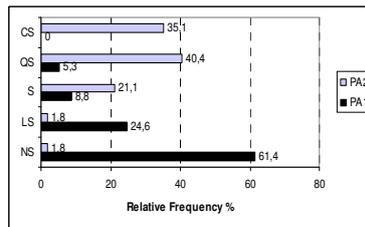
Relatively to the seventh objective (O7), Graphic 7, there is an increase of approximately 74%, from PA1 to PA2, on the students with classification “Completely satisfied”, while a decrease can be verified for the remaining classifications. From WT we conclude that there is statistically significant improvement from the first to the second activity ($\tilde{X}_1 = 2; \tilde{X}_2 = 5; S_- = 8; S_+ = 1217; Z = -6.096; p_{UD} = 0.000$); this is, the students represent geometrically the feasible region of the second activity better than the one of the first activity. We also notice that, only approximately half of the students represent, at least satisfactorily, the feasible region of the first activity, while for the second one almost all the students do it quite or completely well (being the percentage superior to 80% in this last case).

Graphic 8 allows us to observe that, for the eighth objective (O8), from PA1 to PA2, there was an increase of more than 80% on the students with classification “Completely satisfied”, while the inverse situation occurred for the remaining classifications. From WT, we conclude that there is statistically significant improvement from the first to the second activity ($\tilde{X}_1 = 2; \tilde{X}_2 = 5; S_- = 29; S_+ = 1246; Z = -5.951; p_{UD} = 0.000$); this is, the students identify feasible solutions of the problem in the second activity better than they identify feasible solutions of the problem in the first activity. We note that, more than 65% of the students aren’t able to identify, at least satisfactorily, a feasible solution of the problem in the first activity, while for the second one almost 90% of the students do it completely well.

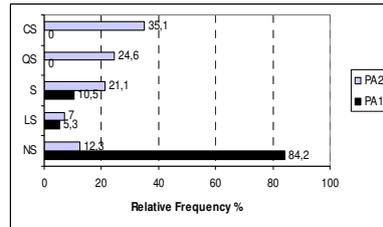
About the ninth objective (O9), Graphic 9, from PA1 to PA2, classifications “Completely satisfied” and “Quite satisfied” registered an increase of approximately 58% and 14%, respectively, having the inverse situation verified for classifications “Non satisfied” and “Little satisfied”, which decreased approximately 60% and 12%, respectively. The WT allows us to conclude that there is statistically significant improvement from the first to the second activity ($\tilde{X}_1 = 1; \tilde{X}_2 = 5; S_- = 0; S_+ = 1275; Z = -6.237; p_{UD} = 0.000$); this is, the students identify an optimal solution of the problem in the second activity better than they identify an optimal solution of the problem in the first one. We also note that, more than 85% of the students don’t identify, at least satisfactorily, an optimal solution of the problem in the first activity, while for the second one 77% of the students do it quite or completely well; being in this last case almost 60% of the students.



Graphic 10- Results for O10.



Graphic 11- Results for O11.



Graphic 12- Results for O12.

Graphic 10 allows us to verify that, for the tenth objective (O10), the percentage of students with classifications “Completely satisfied” and “Satisfied” increased 18% and 30%, respectively, from PA1 to PA2, while classifications “Non satisfied” and “Little satisfied” decreased 40% and 7%, respectively. From WT, we conclude that there is statistically significant improvement from the first to the second activity ($\tilde{X}_1 = 1; \tilde{X}_2 = 3; S_- = 16.5; S_+ = 686.5; Z = -5.169; p_{UD} = 0.000$); this is, the students identify the existence of more than one optimal solution of the problem better in the second activity than they do in the first one. We also note that more than 90% of the students aren’t able to identify, at least in a satisfactory way, the existence of more than one optimal solution of the problem for the first activity, while for the second activity more than 55% of them do it; being that more than 15% do it completely well.

Relatively to the eleventh objective (O11), Graphic 11 allows us to observe that, from PA1 to PA2, the percentage of students with the two lowest classifications, “Not satisfied” and “Little satisfied”, decreased approximately 60% and 23%, respectively, while an increase of 35% can be verified for the two highest classifications, “Quite satisfied” and “Completely satisfied”. The WT allows us to conclude that there is

statistically significant improvement from the first to the second activity ($\tilde{X}_1 = 1$; $\tilde{X}_2 = 4$; $S_- = 0$; $S_+ = 1431$; $Z = -6.415$; $p_{UD} = 0.000$); this is, the students interpret the optimal solution and the optimal value in the context of the problem better for the second activity than for the first one. We note that, more than 85% of the students aren't able to interpret the optimal solution and the optimal value in the context of the problem of the first activity, at least in a satisfactory way, while for the second activity more than 95% of the students do it at least satisfactorily; being that more than 75% of them do it quite or completely well.

Finally, about the twelfth objective (O12), Graphic 12, the percentage of students with the lowest classification, "Not satisfied", decreased, from PA1 to PA2, approximately 72%, while the percentage of the three highest classifications, "Satisfied", "Quite satisfied" and "Completely satisfied", increased 11%, 25% and 35%, respectively. The WT allows us to conclude that there is statistically significant improvement from the first to the second activity ($\tilde{X}_1 = 1$; $\tilde{X}_2 = 4$; $S_- = 0$; $S_+ = 1225$; $Z = -6.149$; $p_{UD} = 0.000$); this is, the students distinguish the notion of optimal solution from the notion of optimal value better in the second activity than in the first one. We also note that, approximately 85% of the students aren't able to distinguish the optimal solution from the optimal value in the first activity and 5% do it in a little satisfactory way, while for the second activity more than 80% of the students do it, at least, satisfactorily; being that 35% of them do it completely well.

4. FINAL CONCLUSIONS

From the results presented in the previous section, we can conclude that, in general, the students acquired the concepts of Linear Programming proposed in the program of Mathematics A for the 11th grade. We also notice that, for the second activity more than 65% of the students attained, at least, a satisfactory classification for all the studied objectives. The only exception is the objective concerning to the identification of the type of optimization to be used; we verified that this was the most difficult objective for the students, with more than 70% of them not being able to attain it.

REFERENCES

- [1] Costa, B., Resende, L. C. e Rodrigues, E. (2004) Espaço 11, Asa Editora, Porto.
- [2] Filipe, J. (1998) Programação Linear: relato de uma experiência, Educação e Matemática, No 49, pp. 25-27, 32.
- [3] Jorge, A. M. B., Alves, C., Fonseca, G. e Barbedo, J. (2004) Infinito 11, Parte 1, Areal Editores, Porto.
- [4] Maroco, J. (2007) Análise Estatística com utilização do SPSS, 3ª Edição, Edições Sílabo.
- [5] Nascimento, M. J. (2004) Programação Linear: Uma proposta de intervenção didáctica no Ensino Secundário, Master's Thesis.
- [6] Neves, M. A. F., Guerreiro, L. e Moura, A. (2005) Geometria 11º ano, Porto Editora, Porto.
- [7] Sebastião e Silva, J. (1975) Guia para a utilização do compêndio de Matemática, Vol 1, Edição GEP, Lisboa.
- [8] Soveral, A. A. e Silva, C. V. (2004) Matemática – 11º ano, Vol. 1, Texto Editora, Lisboa.
- [9] Valadares, L., Oliveira, R. C., Themido, I. H., Correia, F. N. (1996) Investigação Operacional, McGraw Hill.
- [10] http://sitio.dgidec.min-edu.pt/secundario/Paginas/Programas_ES_M.aspx.

APPENDIX

In this section, we present the two practical activities proposed to the students during this experimental study.

Practical Activity - Problem 1 (adapted from [3])

To earn some money for the Students Association, the students managed to obtain an offer of 20 pairs of tennis shoes and 60 t-shirts; to sell them they decided to do two types of items: Type A – a pair of tennis shoes and a t-shirt; Type B – a pair of tennis shoes and five t-shirts. They intended to sell the items of type A by 40 € and the items of type B by 60 €. The students wanted to obtain maximum profit.

Q₁ – How much will the Association profit if they sell 10 items of type A and 4 items of type B?

Q₂ – What about if 3 items of type A and 4 items of type B are sold?

Q₃ – Let x be the number of items of type A and y be the number of items of type B. Fill the next table, considering the data presented in the problem.

	Number of items	Total number of pairs of tennis shoes	Total number of t-shirts	Total profit (L)
Type A	x			
Type B	y			
Total	$x+y$			

- Q₄** – a) Write a mathematical expression that represents the profit function, that we intend to maximize.
 b) Write other mathematical conditions that represent the problem constraints.

Suggestion: Use the table in question **Q₃** and note that:

- if you don't have it you can't use it;
- the quantity used must be less or equal to the quantity that is available;
- the number of items can't be negative.

Q₅ – Represent geometrically the region of the plan defined by the conditions presented in question **Q₄** – b).

Q₆ – Using the previous geometric representation, try to determine a solution of the problem (how many items of each type should be sold) and the maximum profit.

Q₇ – In one of the Association's meetings, Peter said that if they sold the items of Type A by 20 € and the ones of Type B by 100 € they would obtain a bigger profit.

- a) Is Peter right?

Suggestion: i) Write the new profit function.

ii) Obtain a solution for the problem and the maximum profit.

b) Is the solution presented in a-ii) unique? If not, determine all the solutions of the problem and the respective profit.

Q₈ – After a long talk about the profit of the items' sale, the president of the Association suggested that they should sale all the items by 40 €, because it would be easier. Is this the right decision? Justify.

Practical Activity - Problem 2 (adapted from [9])

Our country has a beautiful region crossed by the Blue river. A group of businessmen proposed to the Mayor the investment in an industrial unit that would employ 420 people. As this region is a poor one, the Mayor is very interested in this investment. This unit would basically produce products A and B. Unfortunately, this production generates a lot of water pollution and the ecologists are against the construction of this industrial unit if the concentration of CBO5 (indicator of the presence of organic matter) in the river is superior to 210 mg/l. On the other side, the businessmen say that they won't invest if the monthly profit is inferior to 100000 €.

An analysis of the production system allowed to conclude that the maximum monthly capacity of production of the industrial unit is 100 tons and that each ton of A produced is responsible for 0.7 mg/l of CBO5 and each ton of B by 3.5 mg/l. We also know that, even if there isn't any production, there is a monthly fixed cost of 1400000 € and that, without considering this cost, the profit obtained for each ton of A or B is 10000 € or 20000 €, respectively. The Ministry of the Environment agrees with the ecologists and only allows the construction of the industrial unit if the constraint for the value of the CBO5 is satisfied. Will the Mayor be able to convince the businessmen to invest in the industrial unit?

Q₁ – Write the formulation of a Linear Programming problem that allows us to obtain the monthly plan of production that maximizes the profit.

Q₂ – Use the graphic representation to determine the monthly plan of production that maximizes the profit, knowing that the problem can be formulated as

$$\begin{aligned}
 \text{Maximize } & L = 0.1x + 0.2y - 14 \\
 \text{s. to } & 0.7x + 3.5y \leq 210 \\
 & x + y \leq 100 \\
 & x \geq 0, y \geq 0,
 \end{aligned}$$

where x and y represent, respectively, the number of tons of products A and B produced monthly and the profit is in hundreds of thousands of euros. Determine the maximum profit obtained.

Q₃ – Suppose, now, that there was a reduction of the expenses on the production of product A and that the monthly profit obtained for each ton of this product is 20000 €.

a) Determine the maximum profit obtained with this new condition.

b) With this new condition, will the production plan be unique? If not, determine all the monthly plans of production that you can find.

Comunicacións Orais

Sesión de Inferencia non Paramétrica

ESTIMACIÓN EN ÁREAS PEQUEÑAS: EL INGRESO MEDIO MENSUAL POR HOGAR EN LAS COMARCAS GALLEGAS.

Roberto Domínguez Gómez¹, María José Lombardía Cortiña², Esther López Vizcaíno³, Wenceslao González Manteiga¹ y José Manuel Prada Sánchez¹

¹Universidade de Santiago de Compostela

²Universidade da Coruña

³Instituto Galego de Estatística

RESUMEN

El ingreso medio mensual por hogar es un indicador de la situación socioeconómica y por lo tanto es de principal interés para la sociedad en general, y en particular para la administración local y regional que necesitan la información para diferentes programas económicos y sociales. La efectividad de estos programas depende del conocimiento de la situación socioeconómica a través de información estadística fiable. En consecuencia, hoy en día los estudios y las investigaciones a nivel regional y local son de gran interés. Un estudio de simulación compara los resultados de la estimación basada en el diseño con la estimación basada en el modelo. Finalmente se aplican los estimadores con datos reales.

Palabras clave: Encuesta de Condiciones de Vida, modelo lineal mixto, efecto aleatorio, bootstrap.

1. INTRODUCCIÓN

El problema surge cuando a partir de una encuesta se quiere ofrecer datos con un nivel de desagregación inferior a provincia o agrupación comarcal. En particular, el IGE realiza encuestas para dar estimaciones directas para las provincias o agrupaciones comarcales pero no es habitual ofrecer datos con un nivel de desagregación inferior, debido a que las encuestas no están diseñadas para dar estimaciones directas para este nivel de desagregación. Un área es considerada como área pequeña cuando la muestra en el área no es suficientemente grande para conseguir estimaciones directas fiables. Ejemplos de áreas pequeñas pueden ser áreas geográficas (estados, provincias, municipios, comarcas, distritos escolares), grupos socio-demográficos (grupos específicos por edad-sexo-raza) y otras subpoblaciones como un conjunto de firmas de empresas.

Un modo de afrontar el problema en áreas pequeñas es aumentar el tamaño muestral. Sin embargo, un aumento de tamaño de muestra lleva, entre otras cosas, a un aumento en el coste del estudio, una mayor carga de respuesta a los informantes y mayores errores ajenos al muestreo, lo que, en general, se trata de evitar. Otra alternativa es utilizar técnicas más complejas, asistidas y basadas en modelos. Las estimaciones basadas en el modelo están siendo de gran interés en los últimos años por sus buenos resultados. Una propiedad importante de estos estimadores es su bajo error cuadrático medio (MSE) comparado con los estimadores directos. Notamos que es importante que el modelo esté bien especificado y que las variables auxiliares contengan información relevante. La inclusión de efectos aleatorios de área en el modelo es común en la estimación para áreas pequeñas. Estos efectos recogen la variación en las áreas que no está explicada por las variables auxiliares.

En general se dispone de la información auxiliar a través del censo u otras fuentes administrativas. Si se cuenta con información auxiliar relevante para cada unidad de la población, entonces los modelos se pueden definir a nivel de individuo. Sin embargo, existen casos donde la información a nivel de individuo no está actualizada u otros donde no se dispone de información a nivel de individuo por razones de privacidad. Normalmente en estos casos es posible conseguir datos agregados por área, lo que nos llevaría a un modelo de área.

Este documento se centra en la estimación del ingreso medio mensual por hogar en las 53 comarcas de Galicia. Dada una muestra s , se quiere estimar el ingreso medio mensual \bar{Y}_d en la comarca d . A continuación se definen los estimadores usados en el estudio, estos se pueden clasificar en dos grupos: los estimadores clásicos basados en el diseño y los estimadores basados en el modelo.

2. METODOLOGÍA

Estimación basada en el diseño:

- **Estimador Horvitz-Thompson:**

$$\widehat{Y}_d^{HT} = \frac{\sum_{s_d} \omega_j y_j}{\sum_{s_d} \omega_j}, \quad d = 1, \dots, D$$

donde s_d es la muestra perteneciente a la comarca d , y_j el ingreso mensual del hogar j y ω_j el peso muestral asignado al hogar j .

- **Estimador postestratificado sintético:**

$$\widehat{Y}_d^{POST,S} = \frac{1}{M_d} \sum_{h=1}^H M_{dh} \widehat{Y}_h^{HT}, \quad d = 1, \dots, D$$

denotando por h los postestratos relevantes, M_d el total poblacional de las personas en la comarca d y M_{dh} el total poblacional de las personas que pertenecen

a la intersección de la comarca d con el estrato h . Además definimos \widehat{Y}_h^{HT} como el estimador de Horvitz-Thompson de la media mensual en el estrato h .

• **Estimador compuesto:**

$$\widehat{Y}_d^{COMP,P} = \gamma_d \widehat{Y}_d^{HT} + (1 - \gamma_d) \widehat{Y}_d^{POST,S}, \quad d = 1, \dots, D$$

donde γ_d son pesos dependientes del tamaño muestral en la comarca d , definidos como:

$$\gamma_d = \begin{cases} 1 & \text{si } \widehat{M}_d^{HT} \geq \delta M_d \\ \frac{\widehat{M}_d^{HT}}{\delta M_d} & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

con \widehat{M}_d^{HT} la estimación de Horvitz-Thompson del total de las personas M_d en la comarca d . Para el parámetro δ se pueden tomar distintos valores, $\delta \in \{1, 3/2, 2\}$ (Eustat, 2008).

Estimación basada en el modelo:

• **Modelo Fay-Herriot:**

El modelo se construye a partir de la información auxiliar disponible de la Agencia Estatal de la Administración Tributaria (AEAT). La información está disponible solamente a nivel de comarca y por lo tanto la estimación se basa en el siguiente modelo de área (Fay and Herriot, 1979):

$$\widehat{Y}_d^{HT} = \beta_0 + X_d \beta_1 + u_d + \varepsilon_d, \quad d = 1, \dots, D$$

Este modelo asume que los efectos aleatorios de área u_d son independientes e idénticamente distribuidos según $u_d \sim N(0, \sigma_u^2)$ y los errores de muestreo ε_d son independientes y distribuidos según $\varepsilon_d \sim N(0, \sigma_d^2)$, con u_d independientes de ε_d .

También se asume que la varianza σ_u^2 de los efectos aleatorios es desconocida y que las varianzas $\sigma_d^2 = s_d^2/n_d$ de los errores muestrales son conocidas, siendo s_d^2 y n_d la cuasivarianza muestral de la variable objetivo y el tamaño muestral en la comarca d , respectivamente.

Además, como covariable X_d se toma la renta media anual declarada por individuo en la comarca d (datos del IRPF).

Basándose en este modelo, se define el **estimador Fay-Herriot**:

$$\widehat{Y}_d^{EBLUP} = \hat{\beta}_0 + X_d \hat{\beta}_1 + \hat{u}_d, \quad d = 1, \dots, D$$

Los parámetros se estiman por máxima verosimilitud restringida (REML). Para más detalle, véase Rao (2003, Cap. 6 y 7).

3. APLICACIÓN

Se quiere estimar el ingreso medio mensual por hogar en las comarcas gallegas. A continuación se dan las estimaciones de la variable objetivo para cada comarca y su coeficiente de variación estimado (CV):

$$CV_d = \frac{\sqrt{mse(\widehat{Y}_d)}}{\widehat{Y}_d} \times 100, \quad d = 1, \dots, 51$$

En el estudio se aplican los estimadores Horvitz-Thompson (HT), compuesto (COMP2) y Fay-Herriot (FH).

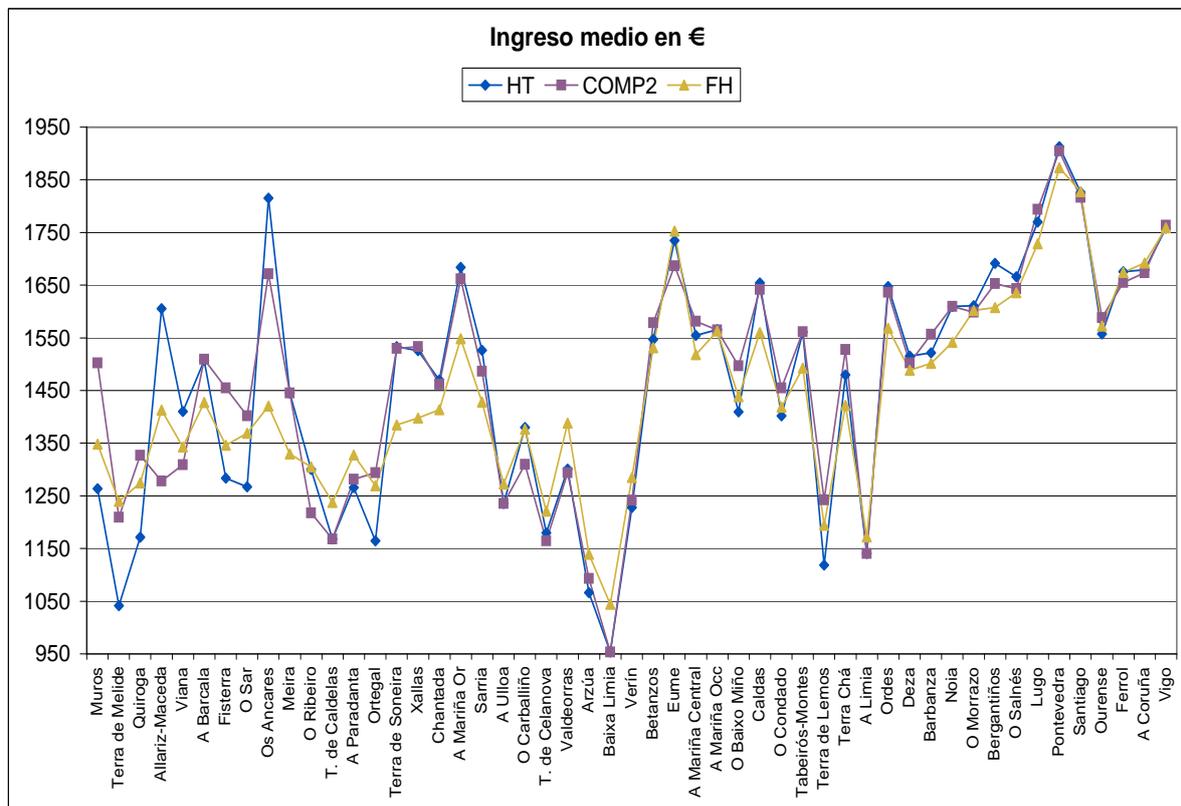


Figura 1: Estimación del ingreso medio mensual en las comarcas de Galicia.

Nota: datos experimentales.

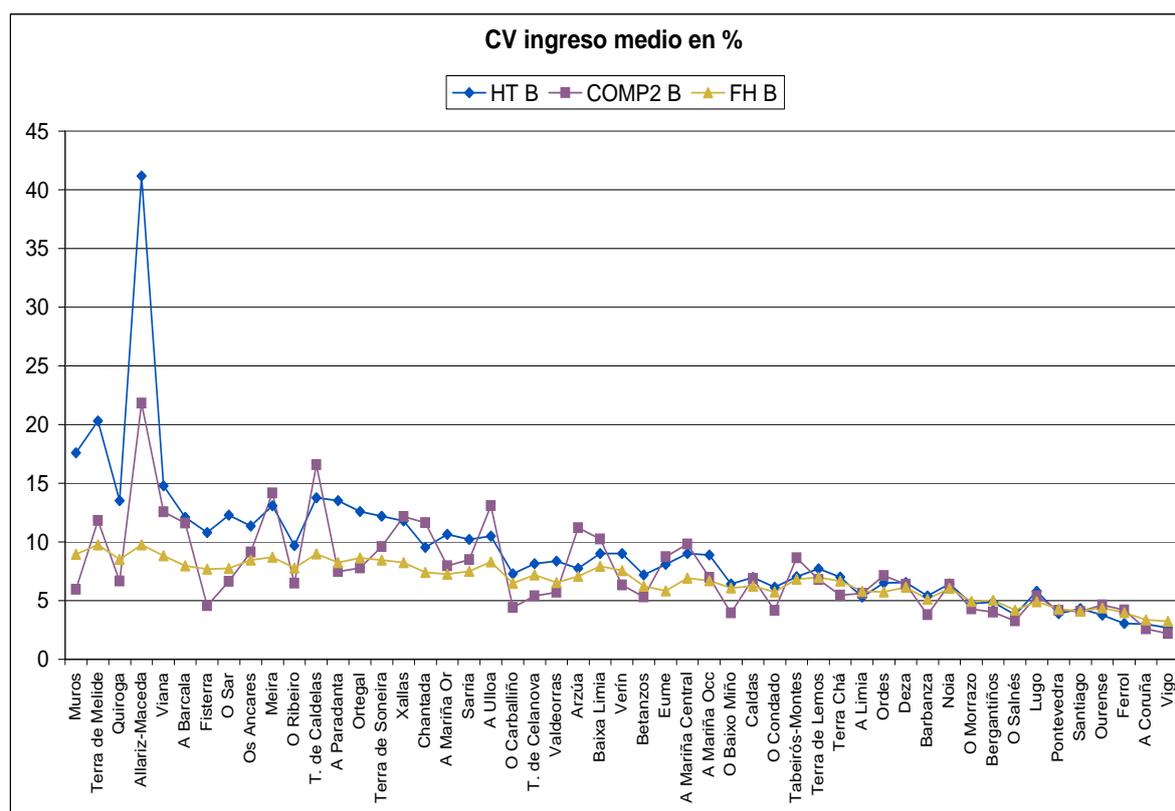


Figura 2: Estimación del CV (en %) de los estimadores del ingreso medio mensual en las comarcas de Galicia. Nota: datos experimentales.

Las comarcas en las Figuras 1 y 2 están ordenadas según su tamaño muestral. Se observa en la Figura 1 que los valores más altos de la variable objetivo se obtienen en las comarcas con mayor tamaño muestral. Pontevedra es la comarca con el valor más alto con un ingreso medio mensual de cerca de 1.900 euros, A Baixa Limia es la comarca con el valor más bajo con un ingreso medio mensual de aproximadamente 1.000 euros. Además, en la Figura 1 se observa una gran diferencia (de aproximadamente 400 euros) entre las estimaciones de HT y de FH del ingreso medio mensual en la comarca de Os Ancares. Para estas comarcas se coge el estimador con menor coeficiente de variación.

En la Figura 2 se ve que el estimador Fay-Herriot obtiene mejores resultados en cuanto al CV, sobre todo para las comarcas con menor tamaño muestral. Por ejemplo, en la Figura 2 se observa una diferencia del 30% entre los CV de los estimadores en la comarca de Allariz-Maceda.

Analizando los resultados se puede concluir que el estimador Fay-Herriot basado en el modelo es un serio competidor de los estimadores clásicos basados en el diseño.

REFERENCIAS

Eustat (2008) Estimación de áreas pequeñas en la encuesta de población en relación con la actividad de la C.A. de Euskadi. Eustat.

Fay, R. E. and Herriot, R. A. (1979) Estimates of income for small places: An application of James-Stein procedures to census data. *Journal of the American Statistical Association* , 74, 269-277.

Rao, J. N. K. (2003) *Small Area Estimation*. Wiley, New York.

PROCESOS PUNTUALES ESPACIALES APLICADOS AL ESTUDIO DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN GALICIA

Isabel Fuentes Santos¹, Wenceslao González Manteiga² y Manuel F. Marey Pérez³

1 Departamento de Matemáticas. Facultade de Informática. Universidade da Coruña.

2 Departamento de Estatística e Investigación Operativa. Universidade de Santiago de Compostela.

3 Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escola Politécnica Superior, Campus de Lugo, Universidade de Santiago de Compostela.

RESUMEN

En este trabajo se aplican diversas técnicas de análisis e inferencia estadística en procesos puntuales espaciales al estudio de los incendios forestales, la principal amenaza que han sufrido los bosques gallegos en las últimas décadas. Nuestro objetivo es conocer la distribución espacial de los focos para después modelar y predecir el comportamiento de los incendios, información que resultaría de gran ayuda en la elaboración de planes de prevención y lucha contra el fuego.

Palabras y frases clave: CSR, intensidad, K-función.

1. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales suponen uno de los principales problemas medioambientales a los que se enfrenta la sociedad actual. En particular, en Galicia el fuego es la principal causa de destrucción de los bosques. El objetivo de este trabajo es utilizar la metodología estadística desarrollada en procesos puntuales espaciales para analizar y modelar el comportamiento de los incendios forestales en Galicia.

Si a cada incendio se le asocian sus coordenadas espaciales, longitud y latitud del centroide de la zona quemada o del lugar donde se ha detectado, junto con otras variables como magnitud o causa del incendio y además se controla el momento temporal en el que se ha producido, podemos identificar el conjunto de incendios forestales con un proceso estocástico espacio-temporal. Este tipo de procesos suelen presentar dependencia entre las posiciones espaciales y los instantes temporales, así como interdependencia entre ambas. En esta ocasión nos centraremos en el aspecto espacial, entendiendo el conjunto de datos como un proceso puntual espacial con marcas e incluyendo el aspecto temporal (año del incendio) como una marca.

En este trabajo se han aplicado distintas técnicas de análisis e inferencia en procesos puntuales espaciales al conjunto de datos correspondiente a los incendios forestales registrados en el distrito Fonsagrada- Ancares, uno de los más conflictivos de nuestra Comunidad Autónoma, en el periodo 1991-2008. En la sección 2 se presentan las técnicas de contraste y estimación utilizadas para, a continuación mostrar algunos de los resultados derivados de su aplicación al estudio de los incendios. Este trabajo se ha llevado a cabo con la ayuda del paquete Spatstat de R (Baddeley, A. &Turner, R. 2005)

2. METODOLOGÍA

El primer paso en el análisis de un proceso puntual espacial es contrastar la hipótesis de aleatoriedad espacial completa CSR (complete spatial randomness), un proceso puntual es completamente aleatorio cuando: (i) el número esperado de eventos en la región plana A con área $|A|$ tiene distribución de Poisson con área $\lambda|A|$, y (ii) dados n eventos $\{x_i\}_{i=1,\dots,n}$ en A , estos son una muestra aleatoria de la distribución uniforme en A . La constante λ en (i) es la intensidad del proceso, o número esperado de eventos por unidad de área. Según la condición (i), CSR implica que la intensidad es constante y según (ii), la CSR también implica que no hay interacción entre eventos, los procesos que verifican esta propiedad se denominan procesos Homogéneos de Poisson. Rechazar esta hipótesis es un requisito mínimo previo al desarrollo de un modelo para un patrón

observado, dado que la aleatoriedad espacial completa actúa como una hipótesis intermedia entre diseños regulares y agregados.

En primer lugar, se ha aplicado un test Chi-cuadrado (quadrat counts) para determinar si la intensidad es homogénea. Se divide el área de interés en m subregiones de tamaño similar y se cuentan los eventos observados en cada una, se define el estadístico de contraste como:

$$X^2 = \sum_{i=1}^m (n_i - \bar{n}_i)^2 / \bar{n}_i \quad (1)$$

Donde $\bar{n}_i = \bar{n} \times w_i$, siendo $\bar{n} = n/m$ y w_i la proporción del i -ésimo cuadrante rectangular que está dentro de la región de observación, así se corrige el efecto frontera producido cuando la región de estudio no es cuadrada. Bajo CSR el estadístico tiene distribución aproximada χ_{m-1}^2 . En este contexto rechazar la hipótesis nula puede indicar una distribución no homogénea de los eventos o la existencia de relaciones de dependencia. En particular, valores de X^2 suficientemente grandes o pequeños indican, respectivamente, distribuciones agregadas o regulares.

Este contraste se ha combinado con un test gráfico basado en la función de segundo momento reducida o K-función que caracteriza la estructura de segundo orden del proceso y, para un proceso puntual estacionario e isotrópico, se define como:

$$K(t) = \lambda^{-1} E[\text{eventos a una distancia menor que } t \text{ de un evento arbitrario}] \quad (2)$$

Para un proceso Homogéneo de Poisson en \mathbb{R}^2 , $K(t) = \pi t^2$.

El test gráfico implementado en Spatstat consiste en (i) estimar la K-función del diseño observado $\hat{K}_i(t)$ (ii) simular 99 procesos Homogéneos de Poisson del mismo tamaño que el observado y estimar las K-funciones correspondientes. (iii) definir las envolturas superior e inferior de las simulaciones como:

$$U(t) = \max_{i=2, \dots, 100} \{\hat{K}_i(t)\}, L(t) = \min_{i=2, \dots, 100} \{\hat{K}_i(t)\} \quad (3)$$

(iv) valores de la K-función empírica mayores que la envoltura superior o menores que la inferior indican, respectivamente, diseño agregado o regular.

Cuando el proceso no es completamente aleatorio, el análisis de su estructura de segundo orden mediante la K-función homogénea nos puede llevar a sobreestimar la dependencia entre eventos, al interpretar en el contraste de CSR la tendencia como interacción. Para salvar esta dificultad y extender el análisis de segundo orden del proceso al caso no homogéneo, se introduce la K-función inhomogénea. Así se elimina la hipótesis de intensidad constante, aunque pueden seguir manteniéndose estacionariedad e isotropía. La interpretación de la K-función inhomogénea es análoga a la del caso homogéneo, salvo que ahora la intensidad no es constante, sino que depende de la localización de los eventos. Si no hay interacción entre eventos se verifica $K_{inhom}(t) = \pi t^2$.

Baddeley et al (2000) propusieron el siguiente estimador puntual insesgado de la K-función inhomogénea:

$$\hat{K}_{inhom}(t) = \frac{1}{|A|} \sum_{x_i \in X \cap A} \sum_{x_j \in (X \cap A) \setminus \{x_i\}} \frac{I(\|x_i - x_j\| \leq t)}{\hat{\lambda}(x_i) \hat{\lambda}(x_j) w_{ij}} \quad (4)$$

Una vez estimada la K inhomogénea para el diseño observado, se puede aplicar un contraste de independencia análogo al propuesto para CSR. En este caso aceptar la hipótesis nula significa que el diseño corresponde a un proceso Inhomogéneo de Poisson, esto es un proceso con intensidad variable y que no presenta interacción entre eventos.

Para calcular \hat{K}_{inhom} se necesita estimar previamente la intensidad variable, en esta ocasión se ha utilizado un estimador no paramétrico:

$$\hat{\lambda}_h(x) = \frac{1}{p_h(x)} \sum_{i=1}^n k_h(x - X_i) = \frac{1}{p_h(x) h^2} \sum_{i=1}^n k((x - X_i)/h) \quad (5)$$

donde k es la función núcleo, h el parámetro de suavizado y $p_h(x) = \int_A h^2 k((x-u)/h) du$ el corrector de efecto frontera. Spatstat utiliza un núcleo Gaussiano donde σ actúa como ventana. Así valores de σ grandes nos llevan a un sobruavizado, aproximando la intensidad a una constante, mientras que valores pequeños introducen demasiada variabilidad reflejando tendencia local en lugar de global. Para seleccionar la ventana óptima se ha tomado como referencia el método bootstrap propuesto por Cowling, Hall y Philips (1996) que permite aproximar el MSE del estimador de la intensidad de un proceso puntual en \mathbb{R} mediante bootstrap suavizado. Así se ha desarrollado un método de remuestreo para obtener la ventana óptima a partir de la estimación bootstrap del MISE.

La base de datos de incendios es un proceso puntual espacial marcado por, entre otras variables, año, causa y tipo de fuego. La interacción espacial entre dos tipos de eventos sucede cuando los eventos de distintos tipos aparecen más próximos o alejados de lo que se espera cuando ambos procesos son independientes. Cuestiones como “¿están los fuegos registrados en 1995 cerca o lejos de los de 1994?”, “¿se han registrado incendios cerca de los conatos?” pueden responderse analizando la función K-cross, que es la extensión de la K-función a procesos puntuales multitempo. Para un proceso puntual con intensidad constante para cada tipo de eventos, la función K-cross se define como:

$$K_{ij}(t) = \lambda_j^{-1} E[\text{eventos de tipo } j \text{ a una distancia menor que } t \text{ de un evento de tipo } i \text{ arbitrario}] \quad (6)$$

Si el proceso no es homogéneo se define la K-cross inhomogénea de modo análogo al caso univariante. Cuando no hay interacción entre los dos tipos de eventos se verifica que $K_{ij}(t) = \pi t^2$ independientemente del diseño marginal de cada uno de los procesos. Esta propiedad sugiere la elaboración de un contraste de independencia basado en la función K-cross análogo al K-test de CSR para procesos univariantes. En lugar de aplicar el test basado en la K-cross es habitual utilizar la L-cross, $L_{ij}(t) = \sqrt{K_{ij}(t)/\pi}$. Esta función verifica que bajo independencia de los dos tipos de eventos $L_{ij}(t) = t$, proporcionando un test gráfico de interpretación más sencilla que el basado en la K-función.

Para analizar la dependencia entre eventos en función del año, se ha utilizado el L-índice, definido por Genton et al (2006), que nos permite presentar en un único gráfico el test para varios pares de años. El L-índice es una aproximación del área entre $\hat{L}_{ij}(t)$ y la línea de referencia, esto es $L_{ij}(t) = t$ que se obtiene sumando $\hat{L}_{ij}(t) - t$, para distancias no demasiado grandes, en este caso se ha tomado t hasta 11 km. Este índice resulta de gran utilidad para comparar la evolución del área entre $\hat{L}_{ij}(t)$ y t para una sucesión de pares de años situados a la misma distancia.

Se han calculado los L-índices suponiendo tanto homogeneidad como intensidad no constante en cada uno de los procesos marginales y se han simulado las envolturas superior e inferior. Si suponemos que ambos procesos son homogéneos de Poisson, se estiman las intensidades marginales $\hat{\lambda}_i$ y $\hat{\lambda}_j$, se simula un proceso de Poisson para cada una de las intensidades. Los puntos simulados con $\hat{\lambda}_i$ se etiquetan con la marca i y los simulados con $\hat{\lambda}_j$ con la marca j . Estos dos conjuntos de puntos se combinan para generar un único proceso. Se repite este procedimiento 100 veces y se calcula $\hat{L}_{ij,k}(t)$ para cada simulación, el máximo y el mínimo de las 100 $\hat{L}_{ij,k}(t)$ serán, respectivamente, la envoltura superior e inferior. Si para el proceso observado $\hat{L}_{ij}(t)$ es mayor que la envoltura superior o menor que la inferior tendremos, respectivamente, atracción o inhibición entre los dos tipos de eventos. Cuando el proceso no es homogéneo, se aplica el mismo algoritmo sustituyendo el estimador de la intensidad constante por el estimador no paramétrico de la intensidad variable tanto en el cálculo de $\hat{L}_{ij}(t)$ como en las simulaciones para obtener las envolturas.

3. ANÁLISIS DE INCENDIOS

La base de datos consta de 4764 fuegos forestales registrados entre 1991 y 2008, clasificados según su causa (4153 fuegos intencionados, 279 provocados por causas naturales, 197 de origen desconocido y otras categorías de menor peso) y tipo según la superficie quemada. De acuerdo al PLADIGA 20008 se tienen 2909 conatos, menos de 1 ha total y más de 0.5 ha de superficie forestal quemadas, 1169 quemados, menos de 0.5 ha de superficie forestal quemadas, y 686 incendios, más de 1 ha total y más de 0.5 ha de superficie forestal quemadas.

Tabla 1: Test Chi-cuadrado

		Número	4x2	8x2
Total		4764	821.2179	1060.203
Causa	Intencionado	4153	940.7118	1174.127
	Natural	279	38.8212	48.4056*
	Desconocida	197	7.4746	24.5604*
Tipo	Incendio	686	61.3163	144.3209
	Conato	2909	555.2473	660.7257
	Quema	1169	308.5264	390.0507

(*) Valores esperados inferiores a 5, test no fiable.

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos al aplicar el test Chi-cuadrado a cada uno de los diseños de interés. Se han realizado 2 divisiones verticales, por la forma irregular del área de estudio, junto con 4 y 8 horizontales para analizar la homogeneidad global y local respectivamente. Si comparamos los resultados obtenidos para cada uno de los patrones observados con los valores críticos $\chi_{7,0.01}^2 = 18.475$ y $\chi_{15,0.01}^2 = 30,578$, salvo en el caso de fuegos con causa desconocida, debemos rechazar la hipótesis de CSR. Los K-test correspondientes a cada diseño confirman esto y dan claras evidencias de agregación en todos ellos.

Tras rechazar la hipótesis de CSR, suponemos que nuestros datos corresponden a un Proceso Inhomogéneo de Poisson y estimamos su intensidad para posteriormente aplicar el test de CSR basado en la K-función inhomogénea. En la figura 1 se presentan los gráficos correspondientes a los fuegos intencionados registrados en el periodo 1991-2008, se ha aplicado el método de selección de ventana para valores de σ entre 1 y 12 km obteniendo una ventana óptima de 3 km, en el gráfico superior izquierdo vemos el MISE bootstrap correspondiente a los distintos valores de σ . El estimador de la intensidad muestra que en gran parte del distrito se han registrado al menos 1.5 fuegos por km^2 . Destaca por su conflictividad la zona sureste del distrito, formada por los municipios de Navia de Suarna y Pedrafita do Cebreiro, donde se han alcanzado los 6 fuegos/ km^2 . La principal causa de estos fuegos es la conflictividad debida a las disputas de propiedad y gestión de la tierra al haber sido catalogada gran cantidad de superficie de monte como Monte Vecinal en Mano Común (mvmc) lo cual es incorrecto, pues no se trata de montes vecinales sino de montes de barras o voces que es un tipo de monte de proindiviso no reconocido hasta fechas recientes por la legislación. Hay otro pico en el centro del distrito, que corresponde a los montes que limitan entre los municipios de Baleira, Baralla, Becerreá y Navia. En esta zona la causalidad es en gran medida similar al caso anterior, con la incorporación de un factor como es la ganadería extensiva que aprovecha el monte durante algunas épocas del año, sobre todo en verano, provocando los incendios de primavera.

Respecto al K- test, como ya se ha comentado, vemos que si suponemos intensidad constante (izquierda) la distancia entre la K-función empírica y la envoltura superior muestra claras evidencias de clustering. Al pasar al caso inhomogéneo esta distancia se reduce notablemente, confirmando que se estaba interpretando la tendencia como interacción, aún así seguimos viendo indicios de clustering con radio aproximado de interacción de 4 km.

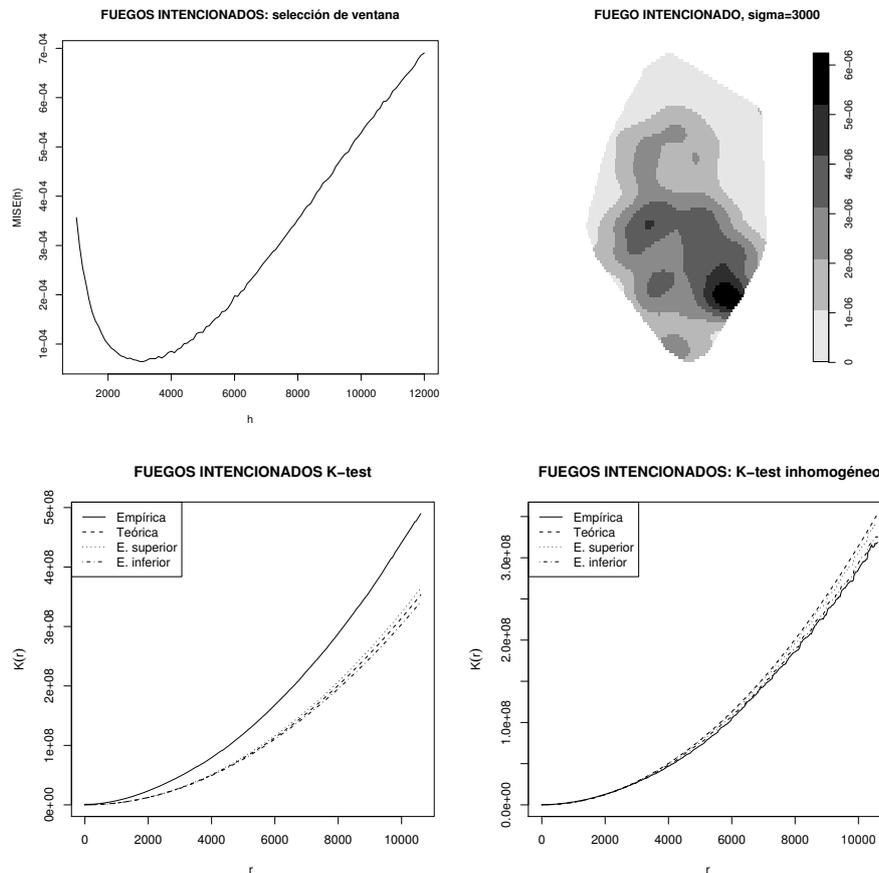


Figura 1: Gráficos correspondientes al análisis de los fuegos intencionados. Arriba: selección de ventana y estimador no paramétrico de la intensidad. Abajo: K-test homogéneo e inhomogéneo. (h y r en metros)

En la figura 2 se presentan dos gráficos correspondientes al análisis de dependencia multitypo. En primer lugar, aplicando el test basado en la K-cross hemos contrastado la interacción entre incendios y conatos registrados en 1992, nos hemos limitado a un único año por motivos de interpretación. El gráfico correspondiente al K-test inhomogéneo aplicado muestra dependencia positiva con radio de interacción de 3 km, confirmando la teoría de que los pirómanos tratan de provocar reiteradamente un incendio en la misma zona hasta que finalmente lo consiguen.

Por último, dado que al observar la base de datos vemos que años con muchos fuegos van seguidos de años con pocos y viceversa, parece razonable analizar si existe dependencia espacial entre los fuegos registrados en distintos años. El gráfico correspondiente a los L-índices para pares de años consecutivos muestra que, en cuanto se elimina la hipótesis de homogeneidad en los procesos marginales, no se observa dependencia entre la localización de los fuegos en años consecutivos.

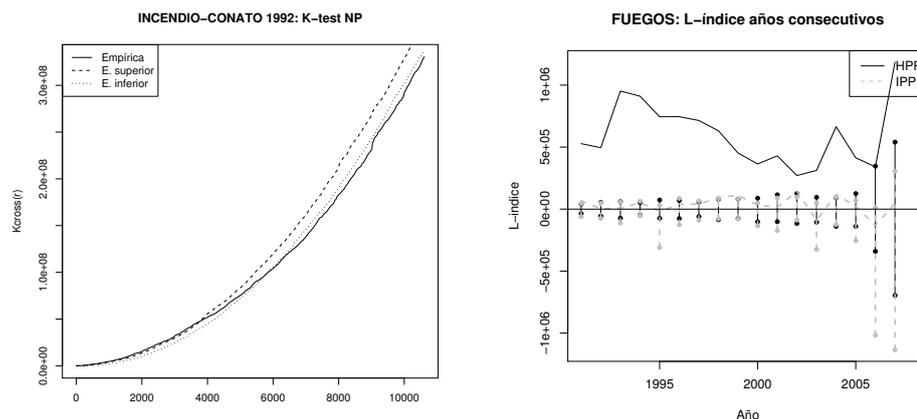


Figura 2: K-cross inhomogéneo incendios-conatos 1992, distancias en metros (izqda). L-índice para años consecutivos (drcha)

3. CONCLUSIÓN

Los resultados expuestos en la sección anterior muestran la utilidad de los procesos puntuales espaciales en el análisis y descripción de la estructura espacial de los incendios. Así hemos visto que el estimador no paramétrico de la intensidad detecta correctamente las zonas más conflictivas del distrito, aunque el K-test inhomogéneo indica que aún existe cierta interacción espacial que no estamos teniendo en cuenta. Por otra parte, también se ha visto como los tests para procesos multitypo identifican la interacción entre conatos e incendios confirmando la teoría existente respecto al comportamiento de los pirómanos. A raíz de esta información el próximo paso será tratar de ajustar un modelo con interacciones tipo Neymann-Scott donde se refleje tanto la inhomogeneidad como la relación de dependencia entre distintos tipos de fuegos.

Por último, debemos apuntar que en 2009 el distrito Fonsagrada-Ancares, en concreto las dos zonas que señalábamos como más conflictivas, han sido las de mayor incidencia de Galicia siguiendo el patrón establecido, conatos o incendios pequeños seguidos de grandes incendios de hasta 120 ha en las proximidades de los primeros.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido cofinanciado por el Grupo de Modelización e Inferencia Estadística (MODES) de la Universidade da Coruña, autor 1, Ministerio de Ciencia e Innovación (MTM2008-03010) Metodologías y aplicaciones en estadística semiparamétrica, funcional y espacio-temporal, autores 1 y 2, y por la Dirección Xeral de Montes da Consellería de Medio Rural, autor 3.

REFERENCIAS

Baddeley, A.J., Moller, J., and Waagepetersen, R. (2000). Non and semi- parametric estimation of interactions in inhomogeneous point patterns. *Statistica Neerlandica*, 54, 329-50.

Baddeley, A. and Turner, R. (2005). Spatstat: an R package for analyzing spatial point patterns. *Journal of Statistical Software* 12: 6 1-42. www.jstatsoft.org.

Baddeley, A. *Analysing Spatial Point Patterns in R*. Workshop Notes. Published online by CSIRO, Australia, 10 february 2008.

Cowling, A., Hall, P. and Phillips, M.J. (1996). Bootstrap confidence regions for the intensity of a Poisson point process, *J. Amer. Statist. Assoc.* **91**, pp. 1516–1524.

Diggle, P.J. (2003). *Statistical Analysis of Spatial Point Patterns*. Oxford University Press.

Genton, M.G., Butry, D. T., Gumpertz, M. L., and Prestemon, J. P. (2006), "Spatio-temporal analysis of wildfire ignitions in the St Johns River Water Management District, Florida," *International Journal of Wildland Fire*, 15, 87-97.

Hering, A.S., Bell, C.L., and Genton, M.G. (2009), "Modeling spatio-temporal wildfire ignition point patterns," *Environmental and Ecological Statistics*, Special Issue on Statistics for Wildfire Processes, 16, 225-250.

Mateu, J., Gregory P., Juan, P., Saura F. y Calle, A.. (2006). *Modelos espacio-temporales para la evaluación y caracterización de índices de riesgo de incendios forestales en la Comunidad Valenciana*. Davalos-Fletcher. ISBN: 84-689-7396-3. Depósito Legal: CS-85-2006.

PREDICCIÓN DE LA ABUNDANCIA DE MERLUZA ARGENTINA EN EL ATLÁNTICO SUROESTE UTILIZANDO UNA RED NEURONAL

Luis González Vilas, Marta Darriba Estévez y Jesus M. Torres Palenzuela

Laboratorio De Teledetección y SIG, Departamento de Física Aplicada, Facultad de Ciencias del Mar.
Universidad de Vigo. luisgv@uvigo.es

RESUMEN

En el Atlántico Suroeste (Patagonia y Malvinas) se localizan caladeros de gran importancia donde operan flotas pesqueras de todo el mundo, siendo la merluza argentina (*Merluccius hubbsi*) una de las especies comerciales más abundantes. El objetivo de este trabajo es el desarrollo de un modelo predictivo de abundancia para esta especie, usando la CPUE (Captura Por Unidad de Esfuerzo) como índice de abundancia. El modelo se basa en técnicas de inteligencia artificial, en particular utilizamos una red neuronal de tipo Perceptron Multicapa (MLP). Además, se utilizaron diferentes técnicas estadísticas y un Sistema de Información Geográfica (SIG) para el análisis y la visualización de los datos y de los resultados. Se utilizaron diferentes tipos de datos, incluyendo datos pesqueros obtenidos a bordo de barcos españoles entre 1993 y 2006 y datos ambientales derivados del modelo oceanográfico MERCATOR. Los resultados de la validación del modelo son bastante prometedores, mostrando el gran potencial de la herramienta a la hora de implementar un sistema operacional de predicción de abundancia de merluza argentina en la zona.

Palabras clave: Merluza argentina, MLP, predicción, CPUE

1. INTRODUCCIÓN

La merluza argentina (*Merluccius hubbsi*) es una de las especies objetivo para la flota pesquera que faena en el Atlántico suroeste. El principal objetivo de este trabajo es la implementación de un modelo predictivo de Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) basándose en una red neuronal artificial, en concreto una Perceptrón Multicapa (MLP). En general, las redes neuronales son la técnica ideal en problemas de predicción de pesquerías, ya que permiten trabajar con datos multivariantes, de patrones complejos y no lineales (Chen *et al.*, 1992; Guegan *et al.*, 1998). Se utilizaron además diferentes métodos estadísticos y un Sistema de Información Geográfica (SIG) para el desarrollo del modelo y para el análisis y visualización de los datos y de los resultados.

El área de estudio se sitúa en la Plataforma Patagónica, entre 54° W y 64° W de longitud y entre 55° S y 45° S de latitud. La zona se caracteriza por la presencia de un frente termohalino permanente localizado en el borde de la plataforma. Su localización exacta y el gradiente de densidad a través del mismo depende de la dinámica de las dos corrientes que dominan la circulación en la zona: la corriente de Brasil, corriente cálida que fluye hacia el sur; y la corriente de las Malvinas, corriente fría que va hacia el norte. Ambas convergen aproximadamente a 36-38° S (Peterson, 1992). Además, la circulación a nivel más regional y local es muy activa, con frecuentes frentes costeros y afloramientos, de forma que se trata de aguas altamente productivas que soportan importantes pesquerías tanto pelágicas como demersales (Wang *et al.*, 2007). Para facilitar el análisis espacial de los datos el área de estudio se dividió en nueve subzonas (Figura 1): El área 1 (en torno al 42°S) y el área 2 (entre 43°30'S y 48°S) son zonas de la plataforma continental y del talud fuera de la Zona Económica Exclusiva (ZEE) de Argentina, mientras que las restantes áreas (de la 4 a la 7) se localizan en torno a las Islas Malvinas.

La merluza argentina (*Merluccius hubbsi*) es una especie nerítica común en las plataformas argentina y patagónica, donde se pesca mediante técnicas de arrastre tradicional, y especialmente abundante entre 28° S y 54° S, donde se han identificado diferentes poblaciones (Cousseau y Perrota, 1998; Bezzi y Tringali, 2003).

2. FUENTES DE DATOS

Se recogieron datos pesqueros a bordo de los barcos comerciales que faenaban en el Atlántico Suroeste entre 1989 y 2006, y que pertenecen a la Cooperativa de Armadores de Vigo (ARVI). Al utilizar barcos comerciales para evaluar la situación de una pesquería hay que tomar ciertas precauciones, ya que existen una serie de factores que pueden afectar, como las condiciones de la licencia, las prioridades comerciales o el conocimiento y experiencia de la tripulación. Aún así, suponen las bases de datos disponibles con una mayor extensión y representatividad. La información fue registrada por observadores independientes utilizando estadillos, para posteriormente ser integrados en una base de datos y en un GIS.

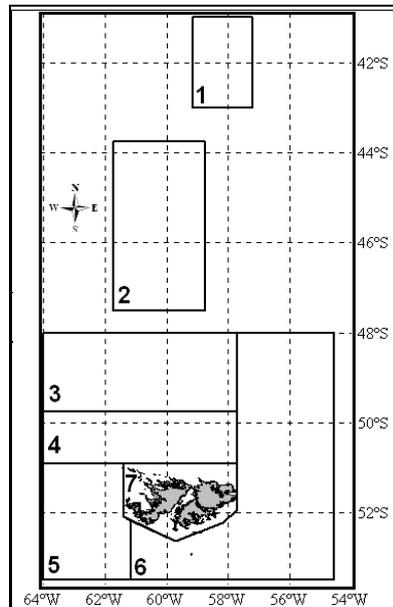


Figura 1: Área de estudio mostrando las siete subáreas utilizadas

Las variables que se incluyeron en la base de datos pesquera fueron: fecha, horas de pesca, localización del lance (latitud y longitud) y captura total para cada especie (en kilogramos). A partir de esta información se calculó la Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) como las capturas totales por hora (kg/h).

En un paso posterior se incluyeron datos medioambientales derivados del modelo oceanográfico francés MERCATOR, que proporciona entre otras variables temperatura (en °C) y salinidad (en psu). Se trata de un modelo en tres dimensiones, con una resolución horizontal de aproximadamente $1/3^\circ$ y con 46 niveles en la vertical, 10 en los primeros 100 metros, con una profundidad entre 6 m en superficie y 250 m en el fondo. Las variables que se obtuvieron a partir de este modelo fueron: temperatura de superficie (SST); temperatura de fondo (SBT); salinidad de superficie (SSS); salinidad de fondo (SBS); temperatura en la termoclina (TT); salinidad en la termoclina (TS) y gradiente de temperatura superficial (GSST). Todos estos parámetros se asociaron a la base de datos pesquera a partir de la fecha y de la localización de los lances.

Finalmente también se incluyó la fase lunar, obtenida a partir de la página web del U.S. Naval Observatory (USNO) especificando la fecha y una localización fija en el centro del área de estudio (50° S, 60° W).

3. METODOLOGÍA

Se desarrolló una red neuronal de tipo Perceptrón Multicapa (MLP) para predecir la CPUE de la merluza argentina en el Atlántico Suroeste. El programa que se utilizó para la definición, entrenamiento y validación fue NeuroSolutions for Matlab.

Una MLP es una red neuronal artificial que utiliza un algoritmo de aprendizaje para aproximar un conjunto de variables de entrada a sus correspondientes salidas. Se compone de elementos computacionales no lineales, llamados neuronas o nodos, y que se organizan en múltiples capas: una de entrada, una o más capas ocultas y una de salida. Las neuronas de una capa tan solo se conectan con los de la capa siguiente, nunca con los de las capas previas.

La capa de entrada tan solo distribuye las señales de entrada dentro de la red, de forma que en sus nodos no se produce procesamiento. Luego, cada neurona individual en la primera capa oculta calcula la suma promediada de todas las señales de entrada y transforma el resultado mediante una función de activación que va a producir una señal de salida que se utilizará como entrada en la siguiente capa. Los nodos de las restantes capas ocultas (si las hay) y la capa de salida procesan las señales de entrada de la misma manera.

En resumen, las conexiones entre las neuronas, y por tanto la relación entre las entradas y la salida deseada, están definidas por una serie de coeficientes o pesos. Para establecer estos valores se utilizan técnicas de aprendizaje supervisado, que utilizan información a priori sobre la salida real correspondiente a un conjunto de datos de entrada para ajustar la red buscando la mejor aproximación posible a la salida real. En este caso, se utiliza un algoritmo de retropropagación del error, ajustando iterativamente los pesos para minimizar el error hasta que no se observen variaciones significativas en el mismo. Las adaptaciones de los pesos se producen utilizando un método de optimización no lineal denominado gradiente descendiente, el cual requiere una función de activación diferenciable.

La arquitectura básica de la red MLP elegida para predecir la CPUE de la merluza argentina: una capa de entrada con 11 neuronas, dos capas ocultas con 30 y 15 nodos y una capa de salida con una única neurona asociada a la salida deseada, en este caso, el logaritmo de la CPUE (log-CPUE). Como función de activación para todas las capas se utilizó una función sigmoideal no lineal, que produce valores en el rango entre 0 y 1. Se normalizaron los datos de entrada antes de introducirlos en la red.

Las once variables de entrada al modelo se eligieron considerando dos características: que fueran predecibles a corto plazo, de forma que el modelo se pudiese aplicar de una forma operacional, y que estuviesen relacionadas de alguna forma con las variables de salida, es decir, con la abundancia de merluza (log-CPUE). Así, las variables escogidas fueron:

-Latitud y longitud: Relacionadas con la variabilidad espacial de las capturas en un instante dado.

-Día juliano: Definido como el número de días transcurrido desde el 1 de enero de ese mismo año, refleja la variabilidad intraanual de las capturas. Está relacionado con la profundidad de la termoclina (de variación estacional), con la profundidad de la capa de mezcla y con el desarrollo de fitoplancton como función de la luz y de la concentración de nutrientes.

-Temperatura y salinidad en superficie, fondo y termoclina (SST, SSS, SBT, SBS, TT y TS): La temperatura y la salinidad definen las diferentes masas de agua en el océano, asociadas a su vez a los patrones de circulación responsables de la distribución de las especies. Aguas frías pueden también estar relacionadas con eventos de afloramiento.

-Gradiente de temperatura superficial (GSST): Es un indicador de la presencia de características termales locales, como frentes o corrientes, que a su vez se relacionan con la distribución de especies marinas y de nutrientes (Wang *et al.*, 2007).

-Fase lunar: Influye en el ciclo de vida de algunas especies, incluyendo la merluza argentina.

Partiendo de la base de datos completa, en un primer paso se eliminaron algunos registros con CPUE anómalamente altas o con valores inferiores a 1 kg/h, que se consideraron insignificantes para el desarrollo de un modelo de abundancia. En todo caso, los registros excluidos no suponen más del 1% del total. Luego, se dividió la base de datos en dos subconjuntos excluyentes: uno de entrenamiento, con dos tercios de los registros y uno de validación, con los datos restantes. Ambos eran representativos del total, con valores en todo el rango espacial, temporal y de CPUE.

El conjunto de entrenamiento se utilizó para entrenar la red mediante una validación cruzada con 10 subconjuntos. Así, el conjunto de entrenamiento se dividió a su vez en 10 subconjuntos, y se entrenó la red 10 veces, utilizando cada vez 9 de los subconjuntos para entrenar la MLP y el subconjunto sobrante para validar el resultado, de forma que cada subconjunto es utilizado para validar exactamente una vez.

Una vez se entrenó la red, se evaluó el ajuste del modelo aplicando la MLP al conjunto de validación, independiente del conjunto de entrenamiento. Se calcularon los siguientes parámetros:

-Coeficientes de correlación (R) and determinación (R²) entre la log-CPUE observada y la predicha.

-Error de predicción medio (MPE) entre la log-CPUE observada (log-CPUEO) y predicha (log-CPUEP). Se define como:

$$\text{MPE} = (1/n) (\text{PE}_1 + \text{PE}_2 + \dots + \text{PE}_i + \dots + \text{PE}_{n-1} + \text{PE}_n)$$

donde $\text{PE}_i = \log\text{-CPUEO}_i - \log\text{-CPUEP}_i$ es el error de predicción y n es el número de registros del conjunto de validación

- Varianza de los errores de predicción (VAR):

$$\text{VAR} = [1/(n-1)] [(\text{PE}_1 - \text{MPE})^2 + \dots + (\text{PE}_i - \text{MPE})^2 + \dots + (\text{PE}_{n-1} - \text{MPE})^2 + (\text{PE}_n - \text{MPE})^2]$$

-Porcentaje de error medio absoluto (MAPE) entre la log-CPUE observada y predicha

$$\text{MAPE} = (1/n) [(|\text{CPUEO}_1 - \text{CPUEP}_1|/\text{CPUEO}_1) + \dots + (|\text{CPUEO}_n - \text{CPUEP}_n|/\text{CPUEO}_n)]$$

Aunque estos coeficientes son más significativos calculados usando el conjunto de validación, también se obtuvieron utilizando el conjunto de entrenamiento y la base de datos completa.

4. RESULTADOS

Los resultados que mostramos a continuación corresponden al modelo neuronal de predicción óptima, obtenida tras varias simulaciones donde se probaron diferentes combinaciones de variables, capas ocultas y funciones de activación. La arquitectura final de la red se seleccionó a partir de los diferentes parámetros de evaluación (R, MPE, VAR y MAPE) en una forma similar al trabajo de Chen y Ware (1999).

En la tabla 1 se muestran los resultados de los parámetros que definen el ajuste del modelo y la calidad de la predicción, calculados a partir de los conjuntos de entrenamiento, validación y completo. Se observa como las medidas son similares en los tres conjuntos, con correlaciones entre la salida observada y la del modelo en torno al 0.75. Esto es indicativo de la representatividad del conjunto de validación. También se resumen algunos parámetros estadísticos básicos caracterizando la distribución de los errores de predicción calculados usando la escala original. La media y la desviación estándar se ven fuertemente afectados por la presencia de valores extremadamente altos, por lo que las estadísticas robustas muestran un mejor resultado. Así, los errores de predicción varían desde $63.3 \pm 56.9 \text{ kg h}^{-1}$ en el conjunto de validación a $65.3 \pm 56.9 \text{ kg h}^{-1}$ en el conjunto de entrenamiento.

Tabla 1: Parámetros que definen el ajuste del modelo y estadísticos asociados a los errores de predicción absolutos, calculados para los conjuntos de validación, entrenamiento y completo.

	Ajuste del Modelo					Estadísticas errores de predicción absolutos				
	R	R ²	MPE	VAR	MAPE	Media	DE	Mediana	MAD	Máximo
Validación	0.74	0.55	0.04	1.30	0.33	203	736	78.4	68.3	33 883
Entrenamiento	0.78	0.61	0.04	1.11	0.36	168	329	65.6	56.9	17 771
Completo	0.77	0.59	0.04	1.17	0.35	179	450	69.2	60.2	33 883

En la figura 2a se representan los valores de log-CPUE observados y del modelo para cada lance en el conjunto de validación. A primera vista los lances con picos de baja o alta CPUE no son bien detectados por la red e impiden una mayor correlación. Así, el modelo tiende a suavizar el resultado y trabaja mejor con valores medios de log-CPUE. La relación entre ambas salidas se muestra en la figura 2b. A pesar de la clara tendencia lineal, se observan desviaciones entre los valores del modelo con respecto a los esperados (recta $y=x$). Estas desviaciones tienden a ser positivas con bajas log-CPUE observadas y negativas con altas log-CPUE observadas.

Con el objetivo de evaluar la calidad de la predicción desde un punto de vista más práctico, se calculó el porcentaje de error absoluto de cada lance como la diferencia entre la log-CPUE observada y modelada dividida por la log-CPUE observada y multiplicada por cien. En la figura 2c se muestra la distribución de estos errores porcentuales para el conjunto de validación. Se observa que aproximadamente la mitad de los lances muestran un error inferior al 15%, y que solo el 5% de los lances tienen un error superior al 100%. En la figura 2d como errores de predicción altos corresponden a los lances con los valores de CPUE más alto, confirmando los problemas del modelo para predecir picos de alta CPUE.

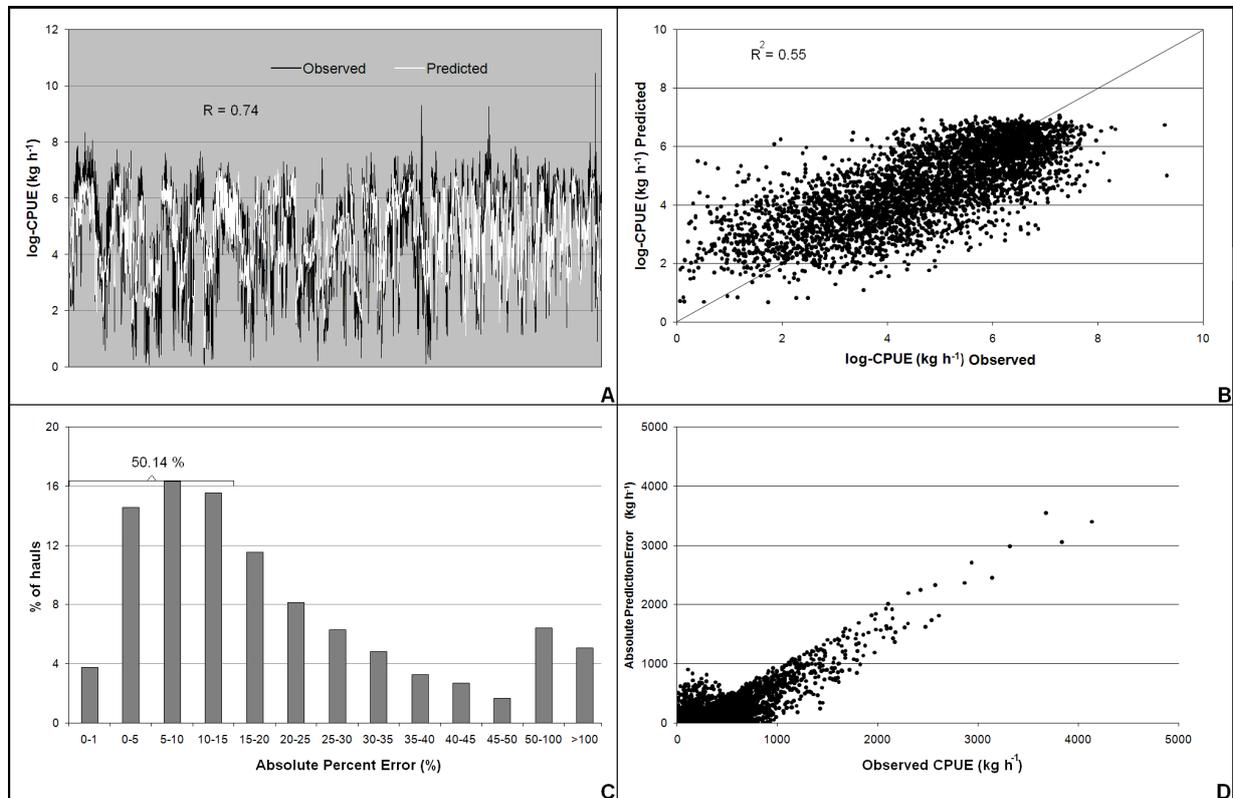


Figura 2: Gráficas mostrando los resultados del modelo neuronal para merluza argentina usando el conjunto de validación. A. Valores de la salida observada y del modelo para cada lance. B. Correlación entre la salida observada y la del modelo. C. Distribución de los errores de porcentaje absolutos. D. Relación entre la CPUE observada y el error de predicción absoluto.

En la figura 3 se muestran los resultados de la aplicación del modelo neuronal utilizando el conjunto de validación para el año 2000. Los valores de CPUE se agruparon en rangos, asignando un color diferente a cada lance en el mapa para cada rango. El porcentaje de lances en las cuales el rango de CPUE observado coincide con el del modelo puede dar una idea de la precisión, a pesar de la incertidumbre en aquellos lances con valores muy próximos a los límites. En este caso, se obtiene una precisión del 62%. A primera vista, el modelo sobreestima la CPUE de los lances en el área 2 mientras que en los alrededores de Malvinas ocurre lo contrario. Considerando el conjunto de validación completo, la precisión es solo del 51%. Este porcentaje baja hasta el 41% si solo se considera el área 2, donde los lances presentan valores más altos de CPUE, y sube al 66% considerando las restantes áreas.

3. CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo muestran el potencial de los modelos neuronales basados en redes neuronales MLP para predecir CPUE de merluza argentina en el área del Atlántico Suroeste. La herramienta se basa en variables ambientales y podría ser útil para implementar un modelo de predicción operacional que sirviese de ayuda en las faenas pesqueras. Así, sería posible producir mapas de CPUE para una especie y día dado, con un horizonte de predicción equivalente al del modelo oceanográfico que nos proporcionase los datos ambientales. Un sistema operacional permitiría además mejorar progresivamente la red incorporando nuevos datos al entrenamiento.

Entre las posibles mejoras, sería interesante incluir otro tipo de parámetros relacionados con el ciclo de vida de las especies o con la interacción entre especies, o incluir el efecto de la pesca, aunque es muy difícil de evaluar ya que solo se cuenta con datos de un número limitado de buques. Otras mejoras podrían ir dirigidas a aplicar algún factor de conversión a la CPUE para tener en cuenta la capacidad de cada barco individual, o a desarrollar un modelo de presencia-ausencia que sirviera de filtro inicial antes de aplicar el modelo de abundancia.

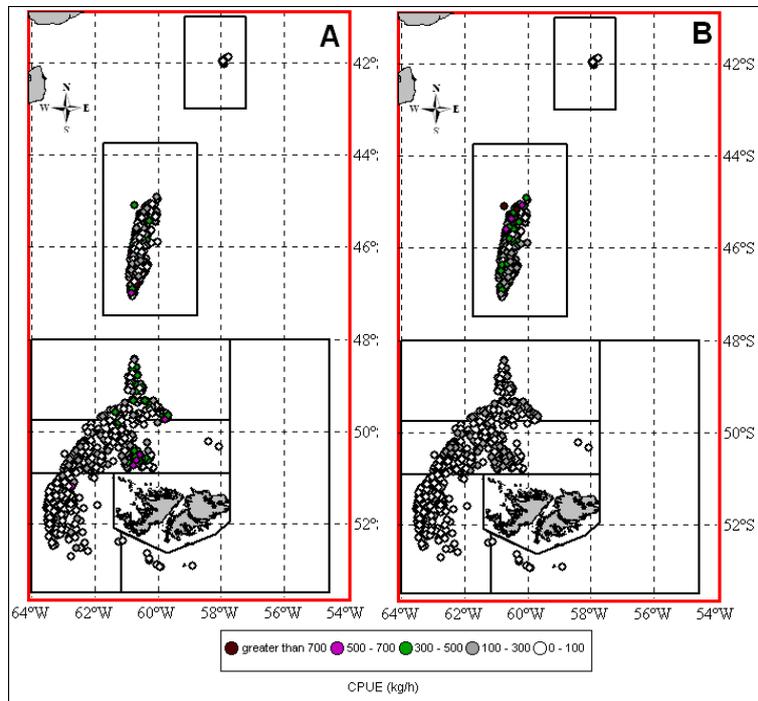


Figura 3: Localización de los lances en el año 2000 con capturas de merluza argentina. A. CPUE observada (kg h^{-1}). B. CPUE (kg h^{-1}) predicha mediante el modelo neuronal.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por la Xunta de Galicia. Gracias a ARVI y MERCATOR por la cesión de los datos necesarios para el trabajo.

REFERENCIAS

- Bezzi, S.I. and Tringali, L. (2003) Áreas de reproducción y de crianza de la merluza (*Merluccius hubbsi*): antecedentes científicos y relación con su marco regulatorio en la República Argentina. *Frente Marítimo*, 19, 57-73.
- Chen, D.G., Ware, D.M. (1999) A neural network model for forecasting fish stock recruitment. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56, 2385-2396.
- Chen, S., Billings, S.A., and Grant, P.M. (1992) Nonlinear system identification using neural networks. *International Journal of Control*, 51, 1051-1070.
- Cousseau, M.B. and Perrotta, R.G. (1998) Peces marinos de Argentina. Biología, distribución, pesca. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), Mar del Plata, Argentina. 163 pp.
- Guegan J.F., Lek, S. and Oberdorff, T. (1998) Energy availability and habitat heterogeneity predict global riverine fish diversity. *Nature*, 391, 382-384.
- Peterson, R.G. (1992) The boundary currents in the western Argentine basin. *Deep-Sea Research*, 39, 623-644.
- Wang, J., Pierce, G.J., Sacau, M., Portela, J., Santos, M.B., Cardoso, X. and Bellido, J.M. (2007) Remotely sensed local oceanic thermal features and their influence on the distribution of hake (*Merluccius hubbsi*) at the Patagonian shelf edge in the SW Atlantic. *Fisheries Research*, 83, 133-144.

Diferenciación geográfica de la talla mínima de captura de *Pollicipes pollicipes* (Gmelin, 1789) en la costa atlántica gallega. Interacciones factor-por-curva.

Sestelo, M.¹, Roca-Pardiñas, J.², Lustres Pérez, V.¹ y Fernández Pulpeiro, E.¹

¹Departamento de Zoología y Antropología Física, Universidad de Santiago de Compostela, España.

²Departamento de Estadística e I.O., Universidad de Vigo, c/ Torrecedeira 86, E-36208 Vigo, España.

RESUMEN

El percebe, *Pollicipes pollicipes* (Gmelin, 1789), es un cirrípedo pedunculado que vive formando densos agregados en costas rocosas expuestas. El establecimiento de una talla mínima de captura resulta esencial para la adecuada gestión de este recurso. Este estudio ha sido realizado con los datos de cinco localidades de la costa atlántica gallega (N.O. España) durante un periodo de dos años. Para estimar una talla mínima adecuada, se ha calculado la ganancia en peso de los ejemplares a lo largo del tiempo, la talla de primera reproducción y el número de puestas por año. Las curvas de crecimiento y sus derivadas se han estimado mediante la utilización de modelos de regresión polinómicos locales basados en suavizadores tipo kernel. Adicionalmente, para comprobar si esta especie presenta un crecimiento diferenciado según su localización geográfica se han estimado curvas diferenciales por pares y se han realizado contrastes para así corroborar las presuntas diferencias encontradas.

Palabras e frases clave: *Pollicipes pollicipes*, talla de captura, bootstrap, suavizadores locales tipo kernel, curvas diferenciales

1. INTRODUCCIÓN

Pollicipes pollicipes (Gmelin, 1789) es un cirrípedo pedunculado sésil, que vive formando densos agregados en las costas rocosas expuestas de países como Francia, España, Portugal, Marruecos, Argelia y Senegal (Darwin, 1851; Barnes, 1996; Cruz, 2000).

Atendiendo a los fenómenos de explotación, presenta una intensiva extracción en Europa y el Norte de Africa (Girard, 1982; Goldberg, 1984; Bernard, 1988; Cruz & Araujo, 1999). Su interés comercial se basa en el aprovechamiento de su pedúnculo muscular, parte comestible de esta especie que llega a alcanzar altos precios en el mercado (Goldberg, 1984). Véase como ejemplo la gran demanda comercial registrada en Galicia (N.O. de España), donde la producción media anual declarada de *P. pollicipes*

se sitúa aproximadamente en 400 Tm (dato oficial, Xunta de Galicia, <http://www.pescadegalicia.com>), resultando esta cantidad sensiblemente infravalorada, debido a que un gran volumen de capturas no es declarado.

Los altos precios de mercado y el gran interés comercial que suscita esta especie han provocado que, las poblaciones de *P. pollicipes* de países como España o Portugal, hayan sufrido fenómenos de sobreexplotación en determinadas ocasiones (Bernard, 1988; Cardoso & Yule, 1995; Cruz, 2000; Molares & Freire, 2003). Como consecuencia de esta elevada presión, se produce una baja producción del recurso, y en muchos casos, la total eliminación de las poblaciones naturales de una determinada zona.

Con el fin de controlar estas situaciones, resulta imprescindible llevar a cabo una gestión del recurso que permita una explotación sostenible del mismo. Así, la determinación de una talla de captura óptima para esta especie resulta esencial en dicha gestión, permitiendo obtener un elevado rendimiento comercial, sin perjudicar la regeneración de las poblaciones.

Los cirrípedos pedunculados, que incluyen a las especies del género *Pollicipes*, crecen en altura debido a un aumento en la longitud del pedúnculo y en anchura por acreción lamelar, que resulta de la adición de carbonato cálcico a las placas del capítulo (Anderson, 1994). Diversos estudios han demostrado que este invertebrado presenta una elevada variabilidad en su tasa de crecimiento (Cruz, 1993; Cruz, 2000; Pavón, 2003). Según Darwin (1854), factores ambientales como el alimento, la temperatura y la calidad del agua pueden influir en la forma y el tamaño de individuos de una misma especie de cirrípedos. Por otro lado, estudios realizados con *Pollicipes polymerus* Sowerby, 1833 relacionan esta variabilidad con el grado de hidrodinamismo (Lewis & Chia, 1981; Page, 1986), el grado de inmersión (Hoffman, 1988, 1989), la disponibilidad de alimento (Lewis & Chia, 1981; Page, 1986; Hoffman, 1988, 1989), y la competición intraespecífica (Page, 1986).

Partiendo de esta variabilidad, el presente estudio se plantea con el fin de comprobar la existencia de una diferenciación geográfica de *P. pollicipes* en la costa atlántica gallega, atendiendo únicamente a su crecimiento.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Para la realización de este estudio, se han extraído percebes de cinco localidades de la costa atlántica gallega, tomando de ellos las siguientes variables biométricas: longitud total de los individuos (LT), única variable utilizada en pesquerías, longitud rostro-carenal (RC), variable que mejor representa el crecimiento de la especie (Cruz, 1993; Cruz, 2000) y peso individual, que permite evaluar el aprovechamiento de este recurso.

Utilizando dichas variables, se estimarán las curvas de crecimiento (ganancia en peso en función de la talla) para los percebes de cada una de las localidades. Estas cinco curvas se ajustarán mediante la utilización de modelos de regresión polinómicos locales basados en suavizadores tipo kernel.

A continuación se comprobará si esta especie presenta un crecimiento diferenciado según su localización geográfica. Para ello, se compararán visualmente las curvas de crecimiento iniciales mediante la estimación de curvas diferenciales por pares. Adi-

cionalmente, se realizarán contrastes para así corroborar las presuntas diferencias encontradas de manera visual en el apartado anterior.

En el supuesto de que existan diferencias geográficas que justifiquen la implantación de una talla de captura concreta para cada localidad o tramo de costa, ésta se estimará mediante la utilización de las derivadas. En particular, en este estudio, se propone que la talla mínima corresponda con el momento en que la segunda derivada se haga nula. A partir de este punto, el incremento en peso de una talla a otra disminuye, por lo que el rendimiento obtenido deja de compensar en relación al tiempo que el recurso permanece sin explotar.

3. RESULTADOS

Este estudio aporta una nueva metodología optimizada adaptada a diversos recursos marinos, que permitirá, tanto la estimación correcta de una talla de captura, como la clasificación de datos con una variación geográfica aparente, en diversos grupos.

REFERENCIAS

- Anderson, D. T. (1994). Barnacles: structure, function, development and evolution. Chapman & Hall.
- Barnes, M. (1996) Pedunculate cirripedes of the genus *Pollicipes*. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 34, 303-394.
- Bernard, F. R. (1988) Potential fishery for the gooseneck barnacle *Pollicipes polymerus* (Sowerby, 1833) in British Columbia. *Fisheries research*, 6, 287-298.
- Cardoso, A. C. and Yule, A. B. (1995) Aspects of the reproductive biology of *Pollicipes pollicipes* (Cirripedia; Lepadomorpha) from the southwest coast of Portugal. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 29(3-4), 391-396.
- Cruz, T. (1993) Growth of *Pollicipes pollicipes* (Gmelin, 1790) (Cirripedia, Lepadomorpha) on the SW coast of Portugal. *Crustaceana*, 65(2), 151-158.
- Cruz, T. (2000) Biología e ecología do percebe, *Pollicipes pollicipes* (Gmelin, 1790), no litoral sudoeste português. PhD thesis, Universidad de Évora.
- Cruz, T. and Araujo, J. (1999) Reproductive patterns of *Pollicipes pollicipes* (Cirripedia: Scapellomorpha) on the southwestern coast of Portugal. *Journal of Crustacean Biology*, 18(2), 260-267.
- Darwin, C. (1851) A monograph on the subclass Cirripedia, with figures of all the species. The Lepadidae; or, pedunculated cirripedes. London: The Ray Society.
- Darwin, C. (1854) A monograph on the subclass Cirripedia, with figures of all the species. The Balanidae; or, sessile cirripedes; the Verrucidae, etc. London: The Ray Society.
- Foster, B. A. (1978) The marine fauna of new zealand: Barnacles (Cirripedia: Thoracica). Technical Report 69, *Memoirs New Zealand Oceanographic Institute*, Wellington, N.Z.
- Girard, S. (1982) Etude du stock de pouces-pieds de belle-île et de son exploitation. Master's thesis, Mémoire de fin d'études. ENSAR.

- Goldberg, H. (1984) Posibilidades de cultivo de percebe, *Pollicipes cornucopia* Leach, en sistemas flotantes. Informes Técnicos del Instituto Español de Oceanografía, 11, 1-13.
- Hoffman, D. L. (1988) Settlement and growth of the pedunculate barnacle *Pollicipes polymerus* Sowerby in an intake seawater system at the Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California. Pacific Science, 42, 154-159.
- Hoffman, D. L. (1989) Settlement and recruitment patterns of a pedunculate barnacle, *Pollicipes polymerus* Sowerby, off La Jolla, California. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 125(2), 83-98.
- Lewis, C. A. and Chia, F. (1981) Growth, fecundity, and reproductive biology in the pedunculate cirripede *Pollicipes polymerus* at San Juan Island, Washington. Canadian Journal of Zoology, 59, 893-901.
- Molares, J. and Freire, J. (2003) Development and perspectives for community-based management of the goose barnacle (*Pollicipes pollicipes*) fisheries in Galicia (NW Spain). Fisheries Research, 65(1-3), 485-492.
- Page, H. M. (1986) Differences in population structure and growth rate of the stalked barnacle *Pollicipes polymerus* between a rocky headland and an offshore oil platform. Marine Ecology Progress Series, 29(2), 157-164.
- Pavón, M. C. (2003). Biología y variables poblacionales del percebe, *Pollicipes pollicipes* (Gmelin, 1790) en Asturias. PhD thesis, Universidad de Oviedo.

Comunicacións Orais

Sesión de Aplicacións da Estatística

ANÁLISIS DE POTENCIALES DE COMERCIO INTERNACIONAL MEDIANTE EL EMPLEO DE MODELOS GRAVITACIONALES

Martínez de Ibarreta Zorita Carlos¹, Rúa Vieites Antonio¹, Redondo Palomo Raquel¹ y Arahuetes García, Alfredo²

¹ Departamento de Métodos Cuantitativos, Universidad Pontificia Comillas (ICAI-ICADE)

² Departamento de Economía, Universidad Pontificia Comillas (ICAI-ICADE)

RESUMO

La presente comunicación presenta una herramienta útil para analizar los potenciales de comercio internacional existentes entre un país y cada uno de los demás del resto del mundo. Dicha potencialidad se obtiene mediante la comparación entre un índice de interdependencia realmente observado (el índice Elcano) y el valor de dicho índice predicho por un modelo de regresión múltiple de tipo gravitacional, que aproxima el nivel de interdependencia esperado de forma “natural” por las características de dichas economías, sobre todo su tamaño y su proximidad, entendida esta en un sentido amplio. Se realiza una aplicación práctica para España empleando datos del año 2007.

Palabras e frases clave: Modelos gravitacionales, Regresión Múltiple, Comercio internacional, España.

1. INTRODUCCIÓN

En un mundo cada vez más globalizado, el nivel de intercambios económicos entre los diferentes países del mundo es cada vez mayor. Desde el punto de vista de las autoridades políticas y económicas de un país así como desde el de sus empresas parece interesante analizar el nivel de interdependencia existente entre dicho país y cada uno de los demás con los que se mantienen intercambios comerciales, con el fin de descubrir oportunidades estratégicas y potenciales no cubiertos, a los que orientar acciones y esfuerzos.

Una posible aproximación a tal fin puede lograrse mediante la comparación entre el grado de interdependencia real observado y el predicho por un modelo de tipo gravitacional, que ofrecería el nivel de interdependencia esperado de forma “natural” debido a las características de dichas economías. Si la interdependencia esperada es superior a la observada puede concluirse que existe un potencial de comercio a aprovechar, una situación a la inversa muestra que el nivel de intercambios es superior al que cabría esperarse, indicando una cierta sobre - explotación comercial.

Esta comunicación se organiza como sigue: en primer lugar se describen las características del indicador de interdependencia empleado, el índice Elcano; seguidamente se ofrece una breve introducción a los modelos gravitacionales, para pasar a describir el modelo y las variables empleadas en su aplicación a España y otros países para el año 2007; la comunicación finaliza con la exposición de los principales resultados obtenidos.

2. EL ÍNDICE DE INTERDEPENDENCIA ELCANO

El índice general de Interdependencia Elcano (IE), elaborado por el Real Instituto ELCANO (2005, 2006) intenta medir la intensidad (desde la perspectiva de un determinado país) de las relaciones económicas bilaterales existentes entre dicho país y cada una del resto de economías nacionales. Está elaborado a partir de las principales partidas que figuran en las balanzas de pagos bilaterales con todos los países del mundo con los que existen relaciones económicas.

Para su construcción se han seleccionado diez variables, que recogen diferentes aspectos de la interdependencia económica: por una parte, los movimientos o flujos de entrada y salida de bienes,

servicios y capitales y por otra, los stocks de inversiones directas y el endeudamiento exterior de España (o del país de referencia que se trate) así como los préstamos realizados al resto del mundo. En concreto, las variables incluidas son las siguientes: (1) Exportaciones de bienes, (2) Importaciones de bienes excepto energía, (3) Importaciones de energía, (4) Ingresos por turismo, (5) Flujos de inversiones directas de España en el exterior, (6) Flujos de inversiones directas extranjeras en España, (7) Stock de inversiones directas de España en el exterior, (8) Stock de inversiones directas extranjeras en España, (9) Endeudamiento de España en el exterior y (10) Endeudamiento del exterior con España. El cálculo del índice Elcano para el país “n” se realiza conforme a la expresión [1]

$$IE_n = \frac{\sum_{k=1}^m w_k \frac{X_{k,n}}{TV_k}}{\sum_{k=1}^m w_k} \times 100 \quad [1]$$

En donde:

- IE_n es el valor del índice Elcano para el país “n”
- $X_{k,n}$ es la cantidad de la variable “k” intercambiada con el país “n”
- TV_k es la cantidad total de la variable “k” intercambiada con todos los países
- w_k es la ponderación o peso de cada variable “k”

Hay que señalar que todas las variables han recibido ponderación igual excepto la variable importaciones de energía, que ha recibido un peso doble, debido a su importancia estratégica. Al entrar todas las variables con valores absolutos, un mayor valor del IE indica un mayor grado de interdependencia entre España y el país “n” en cuestión.

3. LOS MODELOS GRAVITACIONALES

Una de las herramientas de mayor uso y éxito para el estudio de las corrientes de comercio internacional en los últimos años, son los denominados modelos gravitacionales, desarrollados a partir de los artículos pioneros de ISARD (1954) y TINBERGEN (1962).

La idea central de los mismos consiste en aplicar a las relaciones comerciales un concepto análogo a la ley de gravitación universal formulada por NEWTON en el SXVII, que relaciona la atracción o gravedad entre dos cuerpos con su masa y la distancia entre ellos. En este sentido, estos modelos consideran que el volumen de flujos de comercio bilateral entre dos países (ya esté medido como volumen de importaciones, exportaciones, grado de apertura al exterior o de otra forma) está relacionado en forma directa con el tamaño de sus economías y de forma inversa con la distancia existente entre los mismos.

$$F(A, B) = K \frac{M_A M_B}{d^2(A, B)} \quad [2]$$

En el contexto de este trabajo, $F(A, B)$ será el valor del índice de interdependencia Elcano entre el país A y el B, M_A y M_B serán sus respectivos valores del PIB, como aproximación al tamaño de sus economías, mientras que $d(A, B)$ captará la distancia existente entre ambos siendo K una constante de escalamiento, de tal manera que la ecuación [2] queda como:

$$IE_{A,B} = K \frac{PIB_A PIB_B}{d^2(A, B)} \quad [3]$$

Obviamente la fórmula gravitacional aplicada a las relaciones económicas no es exacta y para que sea susceptible de estimación econométrica es preciso incorporar a [3] un término de perturbación aleatoria y linealizar la ecuación tomando logaritmos, de manera que se obtiene la siguiente ecuación, cuya estimación de parámetros puede realizarse mediante el método de los Mínimos Cuadrados Ordinarios:

$$\ln(IE_{i,j}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(PIB_i) + \beta_2 \ln(PIB_j) + \beta_3 \ln(d(i, j)) + u_{ij} \quad [4]$$

En esta ecuación se espera que tanto β_1 como β_2 tomen valores positivos y que β_3 □ tenga signo negativo.

4. MODELO, DATOS Y VARIABLES

En el trabajo aplicado se plantea el problema de cómo medir y cómo incorporar al modelo la distancia (relevante a efectos de comercio) existente entre países. Está claro que la medida obvia que siempre habrá que tener en cuenta es la distancia física (medida en kilómetros) entre ambos¹, pero es de hacer notar que al margen o además de dicha distancia física existen muchos otros factores potenciales que pueden hacer que, en términos de comercio, dos países se encuentren más o menos alejados entre sí; en otras palabras, hay factores que pueden actuar, al igual que ésta, como “frenos” o “barreras” al flujo comercial internacional bilateral, siendo estas mayores cuanto más diferentes sean entre sí los países, pues se supone que dos países bastante parecidos en ciertos rasgos (i.e. idioma, sistema legal, cultura, sistema económico, entre otros) es más fácil que tengan un mayor volumen de intercambios comerciales que dos países muy diferentes entre sí.

En la literatura analizada (véase Papazoglou (2007) para un trabajo parecido) suele ser habitual incorporar a los modelos variables que recogen la existencia o no de una frontera común, el pertenecer o no a una misma organización supranacional de comercio o compartir o no ambos países un lenguaje común o incluso un pasado colonial común, de forma que los modelos recogen una distancia “ampliada” entre países.

En este trabajo también se ha decidido hacer uso de este concepto de “distancia ampliada”. El punto de partida a la hora de seleccionar las variables relevantes son las dimensiones de distancia propuestas en el trabajo de Berry et al (2008): distancia física, económica, financiera, política, administrativa, cultural, legal, demográfica y de conexión global, cada una de ellas aproximada por varios indicadores. De entre todos ellos se han seleccionado finalmente siete como variables potenciales de distancia a incluir en los modelos. Cinco son de naturaleza cuantitativa: el PIB *per capita*, la distancia geográfica, el grado de estabilidad política, el número de usuarios de Internet por 100 habitantes, la ratio entre el volumen de exportaciones e importaciones, y dos son variables de tipo dicotómico: el pertenecer o no un bloque comercial común y el compartir o no un idioma común².

A la hora de incorporar esta “distancia ampliada” al modelo gravitacional una opción a priori interesante era obtener una medida agregada de todas esas dimensiones de distancia, e incorporarla como una única variable. Como los siete indicadores seleccionados no son independientes entre sí ni están medidos en la misma escala un tipo de distancia agregada apropiada es la distancia Mahalanobis³. La distancia Mahalanobis existente entre dos países A y B se define como

$$D(A, B) = [(X_A - X_B)' S^{-1} (X_A - X_B)]^{1/2} \quad [5]$$

Donde X_i ($i=A, B$) es el vector de variables a considerar en la elaboración de la distancia para cada uno de los países y S es la matriz de varianzas-covarianzas de esas variables.

¹ En este trabajo se emplea la distancia denominada de “gran círculo” entre los centroides de ambos países.

² Los datos se han obtenido a partir de las bases de datos del Banco Mundial y de la CIA. Además, se ha considerado que los países de habla castellana y portuguesa tienen lengua común, debido al gran parecido entre ambas lenguas. Asimismo, para el caso de Marruecos, además de los países de lengua árabe se ha añadido Francia por el gran vínculo colonial y lingüístico existente entre ambas naciones.

³ La distancia Mahalanobis es una de las medidas más razonables de distancia cuando las variables puedan estar correlacionadas y están medidas en distinta escala. De esta manera, para determinar la distancia entre dos países no sólo se tiene en cuenta la distancia entre cada una de las variables, sino que, además, esta distancia considera la “forma global del país” y compara dicha forma global. Por ejemplo, fijémonos en tres países y en las variables exportaciones e importaciones. Sean A(10.000, 1.000), B(10.000, 10.000) y C(100.000, 90.000) los vectores que contienen las magnitudes de esas variables para cada uno de esos países. Si consideramos una distancia tradicional (euclídea canónica, por ejemplo) el resultado que obtendríamos es que A y B son países más próximos y más alejados de C. Sin embargo, la distancia Mahalanobis será capaz de reconocer “la forma” de esos países, detectando, por tanto, que A y C son próximos porque, aunque su tamaño pueda ser diferente (cosa que también detectará) su forma es similar, en el sentido de que ambos países presentan un desequilibrio grande y de la misma dirección entre importaciones y exportaciones, mientras que B, aunque es más próximo de tamaño a A, tiene una estructura muy equilibrada en importaciones y exportaciones y eso le hará más diferente de A.

Sin embargo, y a pesar de sus ventajas, finalmente se ha optado por no estimar modelos gravitacionales empleando esta medida resumen de distancia entre dos países, porque la distancia de Mahalanobis da la misma importancia a cada uno de sus componentes. Así, por ejemplo, si se consideran como variables el PIB *per capita*, el porcentaje de usuarios de Internet y el tener o no idioma común, los tres factores tendrían el mismo peso a la hora de medir la distancia entre dos países, aún cuando realmente esto puede que no tenga demasiado sentido económico a la hora de determinar qué países están más cercanos entre sí desde el punto de vista de las relaciones comerciales. Por este motivo, se ha optado por añadir al modelo de la ecuación [4] las diferentes medidas de distancia como variables adicionales.

Como se dispone del índice de interdependencia Elcano para los países de España, Alemania, EEUU, Brasil y Marruecos con el resto, se han estimado cinco modelos gravitacionales diferentes, uno para cada uno de estos “j” países (j=1...5). La ecuación más general para cada uno de ellos es la siguiente, nótese que desaparece como variable explicativa el PIB del país “j” puesto que sería constante para todas las observaciones.

$$\ln(IE_{i,j}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(PIB_i) + \beta_2 \ln(PIBpc_i) + \beta_3 \ln(rXM_i) + \beta_4 \ln(KM_{i,j}) + \beta_5 idioma_i + \beta_6 OI_i + \beta_7 \ln(red_i) + u_i \quad [6]$$

La variable dependiente es el logaritmo neperiano del índice Elcano entre el país de referencia “j” para el que se está obteniendo y cada uno de los países “i”. Las variables explicativas consideradas son:

- $\ln(PIB_i)$: el logaritmo del PIB del país “i”
- $\ln(PIBpc_i)$: el logaritmo del PIB *per capita* del país “i”
- $\ln(rXM_i)$: el logaritmo del ratio entre exportaciones e importaciones del país “i”
- $\ln(red_i)$: el logaritmo del porcentaje de usuarios de Internet del país “i”
- $\ln(km_{i,j})$: el logaritmo de la distancia en kilómetros entre el país “i” y el país “j” de referencia
- $Idioma_i$: variable dicotómica que toma el valor “1” si los países “i” y “j” tienen el mismo idioma común
- OI_i : variable dicotómica si el país “i” pertenece a la misma organización supranacional que el país “j” (i.e. Unión Europea en los casos de España y Alemania, Mercosur en el caso de Brasil)

Los parámetros β (o sus estimaciones) asociados a estas variables se interpretan como elasticidades (variaciones porcentuales en el valor del índice Elcano ante variaciones de un 1% en la variable respectiva).

Este modelo inicial se ha ido reduciendo para cada país “j” eliminando de forma secuencial las variables que individualmente no fueran significativas al 10%, obteniendo modelos ligeramente diferentes para cada uno de los países, tanto respecto de las variables de distancia finalmente incluidas como respecto de los valores estimados de los coeficientes. Una vez realizada la estimación econométrica de los modelos gravitacionales definitivos, para cada par de países “j” e “i” se puede disponer de dos medidas de su grado de interdependencia:

- La interdependencia realmente existente y observada, medida por el Índice Elcano (IE)
- La interdependencia esperada o “natural” según las características (económicas, políticas, financieras, geográficas, etc.) de ambos países consideradas en el modelo, obtenida como el valor del índice Elcano predicho por el modelo, que podemos llamar “Interdependencia Gravitacional” (IG)

Para calcular la interdependencia gravitacional entre el país “j” y el “i”, IG_{ij} , una vez estimado el modelo para el país “j” empleando las observaciones de todos los países excepto⁴ las del país “i”, se ha realizado la predicción del Índice Elcano para dicho país, mediante la siguiente expresión:

⁴ Se ha utilizado el procedimiento de *cross-validation* que consiste en estimar cada modelo con todos los países de los que se posee datos, excluyendo aquel país cuyo valor se quiere calcular, para evitar que los datos de dicho país hayan afectado a la propia estimación de los parámetros del modelo y obtener, en definitiva, verdaderas predicciones sobre el mismo.

$$IG_{ij} = \hat{IE}_{ij} = e^{\sum b_{ij}^i X_{ri}} \quad [7]$$

En donde se considera que el modelo final para el país “j” tiene “r” variables significativas y b_{ij}^i es el coeficiente estimado para la variable “r” cuando el país “i” ha sido excluido de la muestra.

A la diferencia entre el índice Elcano observado y el esperado según el modelo gravitacional se le puede denominar saldo de interdependencia (SI) o Índice de interdependencia Elcano neto de gravitación a través de la expresión:

$$SI_{ij} = IE_{ij} - IG_{ij} \quad [8]$$

El saldo de interdependencia (SI), es la parte más interesante del estudio, puesto que indica cómo se desvía la interdependencia real de cada país de la esperada o natural según sus características (estimada por el modelo gravitacional). Un valor positivo está señalando que el nivel real de interdependencia es superior al que correspondería según el modelo gravitacional, mientras que un valor negativo significa que existe un potencial por explotar o desarrollar, descubriendo así posibles oportunidades de comercio e intercambio, ya que en este caso, la interdependencia existente es menor que la que predice el modelo.

5. RESULTADOS

La tabla 1 muestra los coeficientes de las variables significativas (al 1%) en los modelos estimados para cada uno de los países de los que se ha realizado el radar Elcano para 2007.

Pueden destacarse los siguientes resultados comunes, que se muestran coherentes con la lógica subyacente a los modelos gravitacionales:

- Las variables PIB, PIB *per capita*, ratio entre exportaciones e importaciones e idioma común presentan una relación directa con el índice de interdependencia.
- La distancia en kilómetros está relacionada de forma inversa con el índice Elcano.
- Las elasticidades Elcano-PIB y Elcano-Distancia en kilómetros son, aproximadamente, de igual magnitud y signo opuesto y cercanas a la unidad, de manera que un país situado un 10% más lejos que otro precisa, *caeteris paribus*, tener un 10% más de PIB para lograr un mismo valor del indicador de interdependencia.
- El signo del efecto del grado de estabilidad política, negativo y opuesto al que podría esperarse, viene probablemente determinado (cuando este factor es significativo) por el gran peso de las importaciones energéticas en el índice Elcano y la inestabilidad política existente en muchos países productores de petróleo y gas (i.e. Nigeria, Irán, Venezuela...)
- Los modelos gravitacionales explican un alto porcentaje de la variabilidad existente en el índice Elcano entre unos países y otros, tal y como se desprende de los elevados valores de los coeficientes de determinación R^2 , especialmente en los países más desarrollados (EEUU, España y Alemania).

Tabla 1 Modelos gravitacionales para 2007

Variable	AÑO 2007				
	Alemania	España	EEUU	Brasil	Marruecos
ln(PIB)	0,990	1,000	1,001	1,261	0,868
ln(PIBpc)	0,547	0,218	0,572		
ln(política)	-0,630	0,003	-0,478		
ln(km)	-0,853	-1,030	-1,351	-1,635	-1,217
ln(red)			-0,296		
ln(rXM)		1,083	1,139	0,608	
Idioma		1,709	1,135	0,847	1,149
OI					
R^2	86%	84%	83%	79%	61%

Una vez calculado para cada país el IE estimado (IG) es interesante, como sencilla herramienta de gestión y análisis proceder a una representación gráfica mediante un gráfico de dispersión, donde aparece la variable (IG) en el eje de abscisas y la variable (IE) en el eje de ordenadas. En dicho gráfico se

Esto supone que, para cada país j (j= España, Alemania, Brasil, EEUU y Marruecos) han sido necesarias tantas estimaciones de los parámetros del modelo como países del mundo con datos, lo que ha supuesto un trabajo muy arduo e intensivo en cálculo.

añade la bisectriz del primer cuadrante, de manera que, por encima de dicha recta aparecerán los países en los que la interdependencia real (índice Elcano) es superior a la que cabría esperar por la interdependencia gravitacional. Esos países, por tanto, tendrán un saldo de interdependencia positivo, es decir, que las relaciones comerciales entre ellos están por encima de lo que cabría esperar de forma “natural”, están “sobre – explotadas”. Por el contrario, los países que aparecen por debajo de la bisectriz serán aquellos en los que la interdependencia real es menor que la esperada y, por tanto, su saldo de interdependencia será negativo.

En la figura 1, que muestra los resultados para España, se han incluido, además, dos rectas paralelas a la bisectriz, una por encima y otra por debajo. Estas líneas se han establecido tras realizar un análisis de conglomerados por el método de las k medias, en el que se han considerado 3 grupos: el grupo de los países en los que el intercambio comercial (IE) es “superior” al esperado (IG) (este grupo de países aparece por encima de la línea roja), el grupo de los países en los que el intercambio comercial es “similar” al esperado (situado entre la línea roja y la verde) y el grupo de los países en los que el intercambio comercial es “inferior” al esperado que aparece por debajo de la línea verde.

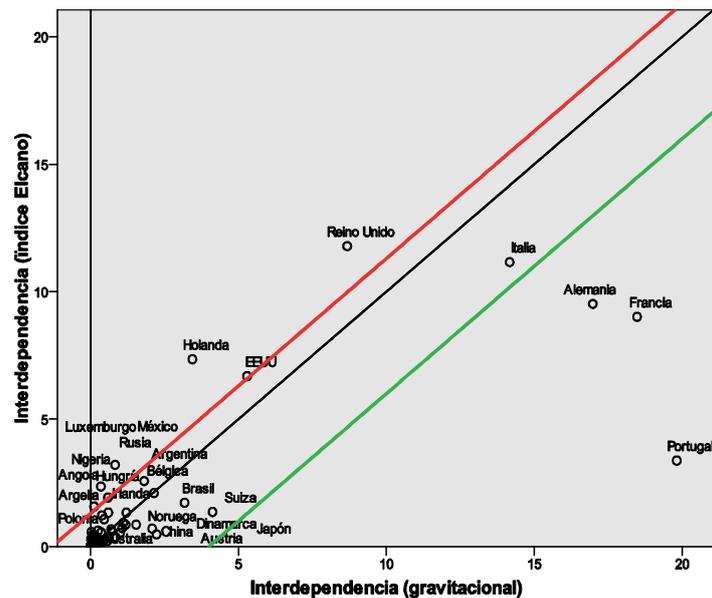


Figura 1: Índice Interdependencia Elcano vs. interdependencia gravitacional

Puede observarse que existe un importante potencial de comercio por explotar con Alemania, Francia y, sobre todo con Portugal, y en menor medida, debido a los menores niveles de interdependencia, con Austria, Japón, Dinamarca y Suiza.

REFERENCIAS

Arahuetes, A. e Isbell, P. (coordinadores) (2006). Índice Elcano de oportunidades y riesgos estratégicos para la economía española. Fundación Real Instituto Elcano. Madrid.

Arahuetes, A. e Isbell, P. (coordinadores) (2005). Índice Elcano de oportunidades y riesgos estratégicos para la economía española: una perspectiva comparada con Alemania y EE.UU. Fundación Real Instituto Elcano. Madrid.

Berry, H. et al (2008). “A New Approach To Cross-National Distance”, working paper Wharton School.

Egger, P. (2002). “An econometric view on the estimation of gravity models and the calculation of trade potentials”. *World Economy*, 25, 297–312.

Isard, W. (1954). "Location Theory and Trade Theory: Short-Run Analysis". *Quarterly Journal of Economics*, vol. 68, 1954, p. 305-322.

Papazoglou, Ch. (2007). "Greece's Potential Trade Flows: A Gravity Model Approach". *International Advanced Economic Research* 13:403-414

Tinbergen, J. (1962). *An Analysis of World Trade Flows. Shaping the World Economy*. New York. The Twentieth Century Fund.

INFLUENCIA DE LA VACUNA NEUMOCÓCICA CONJUGADA SOBRE LOS INGRESOS HOSPITALARIOS POR NEUMONÍA EN GALICIA

G Naveira Barbeito¹, MI Santiago Pérez¹, A Malvar Pintos¹

¹ Dirección Xeral de Saúde Pública e Planificación, Xunta de Galicia

RESUMEN

El *Streptococcus pneumoniae* es una de las mayores causas de morbilidad y mortalidad, particularmente en niños menores de 2 años y adultos mayores de 65 años. En junio de 2001 se autorizó en España la vacuna neumocócica conjugada heptavalente, que se introdujo en Galicia a finales de ese año. El objetivo de este trabajo es evaluar el impacto de la introducción de la vacuna sobre los ingresos por neumonía neumocócica, en los hospitales del Servicio Galego de Saúde (SERGAS).

Palabras y frases clave: Ingresos hospitalarios, vacuna neumocócica conjugada heptavalente, neumonía neumocócica, series temporales interrumpidas, regresión segmentada.

1. INTRODUCCIÓN

El *Streptococcus pneumoniae* (neumococo) es un microorganismo patógeno capaz de causar diversas infecciones y procesos invasivos severos, que reciben el nombre de enfermedad neumocócica y afectan en mayor medida a niños menores de 2 años, adultos mayores de 65 y personas inmunodeprimidas. En el caso de los niños menores de 2 años da lugar a enfermedades habituales en la niñez, como infecciones de oído, pero también puede dar lugar a enfermedades de mayor gravedad como meningitis, septicemia y neumonía neumocócica. En el caso de los adultos mayores de 65 es causa frecuente de enfermedades pulmonares, como la bronquitis y la neumonía. La neumonía neumocócica es considerada como una de las enfermedades más prevalentes y serias tanto en los países desarrollados como en vías de desarrollo.

En junio del año 2001 se autorizó en España la vacuna neumocócica conjugada heptavalente (VNC-7v), que se introdujo en Galicia en octubre de ese mismo año, sin ser incluida en el calendario vacunal. Esta vacuna confiere inmunidad contra algunos de los serotipos más frecuentes de neumococo.

En Galicia la distribución de esta vacuna aumentó de manera continuada, siendo 10.045 el número de dosis distribuidas en farmacias en 2002, y 44.924 las distribuidas en 2006. Esto supuso pasar de 0,5 dosis/niño en 2002 a 2,1 dosis/niño en 2006.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

A partir de la información recogida en la base de datos del Conjunto Mínimo Básico de Datos de altas hospitalarias (CMBD), se consideró la serie de las tasas (por 100.000 habitantes) de ingresos mensuales por neumonía neumocócica en los hospitales del SERGAS, desde enero de 1997 hasta diciembre de 2006. Se trabajó con esta serie desagregada en 6 grupos de edad (menores de 2, de 2 a 4, de 5 a 19, de 20 a 39, de 40 a 64 y mayores de 64 años) y, para cada grupo de edad, se realizó un análisis de series temporales interrumpidas mediante regresión segmentada para medir el efecto de la introducción de la vacuna (intervención) sobre la serie de las tasas.

Se consideró como fecha inicio de la intervención enero 2003, ya que la VNC-7v fue introducida en Galicia a finales del año 2001 y el año 2002 se asumió como un año de transición.

Puesto que las series presentaban heterocedasticidad se les aplicó una transformación logarítmica, consiguiendo de esta manera estabilizar sus varianzas. Por lo que, se ajustó el siguiente modelo de regresión segmentada, para cada grupo de edad, al logaritmo de las tasas:

$$\ln(T_t) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{tiempo}_t + \beta_2 \cdot \text{intervención}_t + \beta_3 \cdot \text{tiempo_postintervención}_t + e_t$$

Donde, T_t es la tasa de ingresos por neumonía neumocócica en el mes t ; la variable tiempo indica el número de meses transcurridos a instante t desde el comienzo del período; la variable intervención indica si se ha producido ya la intervención (intervención = 1) o no (intervención = 0); la variable tiempo_postintervención indica el número de meses transcurridos después de la intervención (codificada como 0 antes y como tiempo-72 después); el término de error e_t a instante t representa la variabilidad aleatoria no explicada por el modelo. También se incluyeron en el modelo variables indicadoras de cada mes del año para poder controlar la estacionalidad, ya que se observaron tasas más altas en los meses de invierno y primavera. Además, puesto que los términos de error de observaciones consecutivas estaban con frecuencia correlacionados, los modelos incluyeron una autocorrelación de primer orden (AR1) [1,2]:

$$e_t = \rho \cdot e_{t-1} + u_t, \text{ donde } u_t \text{ son independientes e idénticamente distribuidos siguiendo una distribución } N(0, \sigma^2).$$

Después del ajuste, se calculó el estadístico Durbin-Watson para contrastar la hipótesis de no autocorrelación, frente a la alternativa de autocorrelación de primer orden, en los residuos del modelo.

Desde que se introdujo en Galicia la VNC-7v su difusión aumentó de forma progresiva, por este motivo se cuantificó el efecto de la intervención al final del período de estudio (diciembre 2006). Para ello se estimó la tendencia de las tasas a partir del modelo de regresión segmentado (tendencia estimada) y la tendencia de las tasas bajo el supuesto de que no había habido ninguna intervención (tendencia esperada), calculada a partir del modelo mediante la proyección de la tendencia antes de la intervención. También se calculó la diferencia entre tendencia estimada y esperada, y su porcentaje de disminución para cada grupo de edad.

3. RESULTADOS

Durante el período de estudio se produjeron en Galicia 60.282 ingresos hospitalarios por neumonía, de los cuales el 29% (17.449) fueron por neumonía neumocócica; de éstas, el 11% correspondían a menores de 5 años y el 62% a mayores de 64.

Tanto en el grupo de edad de menores de 2 años como en el de 2 a 4 se observó una disminución significativa en la tendencia de las tasas de ingresos estimada por el modelo, comparada con la tendencia esperada si no hubiese habido intervención. Se estimó una diferencia de tasas, calculada para el momento de observación más reciente (diciembre 2006), de -25 (IC 95%: -43,8;-6,2) en el grupo de menores de 2 años y de -12,6 (-21,6;-3,6) en el grupo de 2 a 4. Estas diferencias supusieron una reducción del 69,4% y del 66,8% respectivamente (Tabla 1). En estos casos se observa una tendencia creciente en el período de antes de la intervención, un descenso brusco en enero de 2003, tras la inclusión de la VNC-7v, y una tendencia decreciente desde ese momento (Figura 1).

Tabla 1: Tendencia de las tasas estimadas y esperadas (por 100.000), diferencia de tasas y porcentaje de disminución, por grupos de edad, para el momento de observación más reciente (diciembre 2006).

Grupo de edad	Tendencia estimada			Tendencia esperada			Diferencia			Porcentaje de disminución	
	Valor	IC(95%)		Valor	IC(95%)		Valor	p-valor	IC95%		
Menores de 2 años	11,02	4,88	17,17	36,00	16,34	55,65	-24,97	0,01	-43,79	-6,16	69,38
De 2 a 4 años	6,25	2,63	9,87	18,85	9,48	28,22	-12,60	0,01	-21,58	-3,61	66,83
De 5 a 19 años	1,92	1,26	2,59	1,04	0,15	1,92	0,89	0,05	-0,02	1,79	-85,57
De 20 a 39 años	0,86	0,55	1,17	0,50	0,24	0,77	0,35	0,04	0,01	0,70	-70,41
De 40 a 64 años	2,23	1,59	2,87	1,34	0,78	1,90	0,89	0,02	0,18	1,60	-66,42
Mayores de 64 años	12,19	9,43	14,95	11,30	7,39	15,20	0,89	0,68	-3,44	5,22	-7,90

En el grupo de edad de 5 a 19 años se observa una tendencia decreciente en el período preintervención, seguido de una tendencia creciente en el período postintervención (Figura 1). En este caso, a pesar de que la diferencia de tasas a final del período es positiva (0,89 con IC 95%:-0,02; 1,79), esta diferencia no es significativa (Tabla 1).

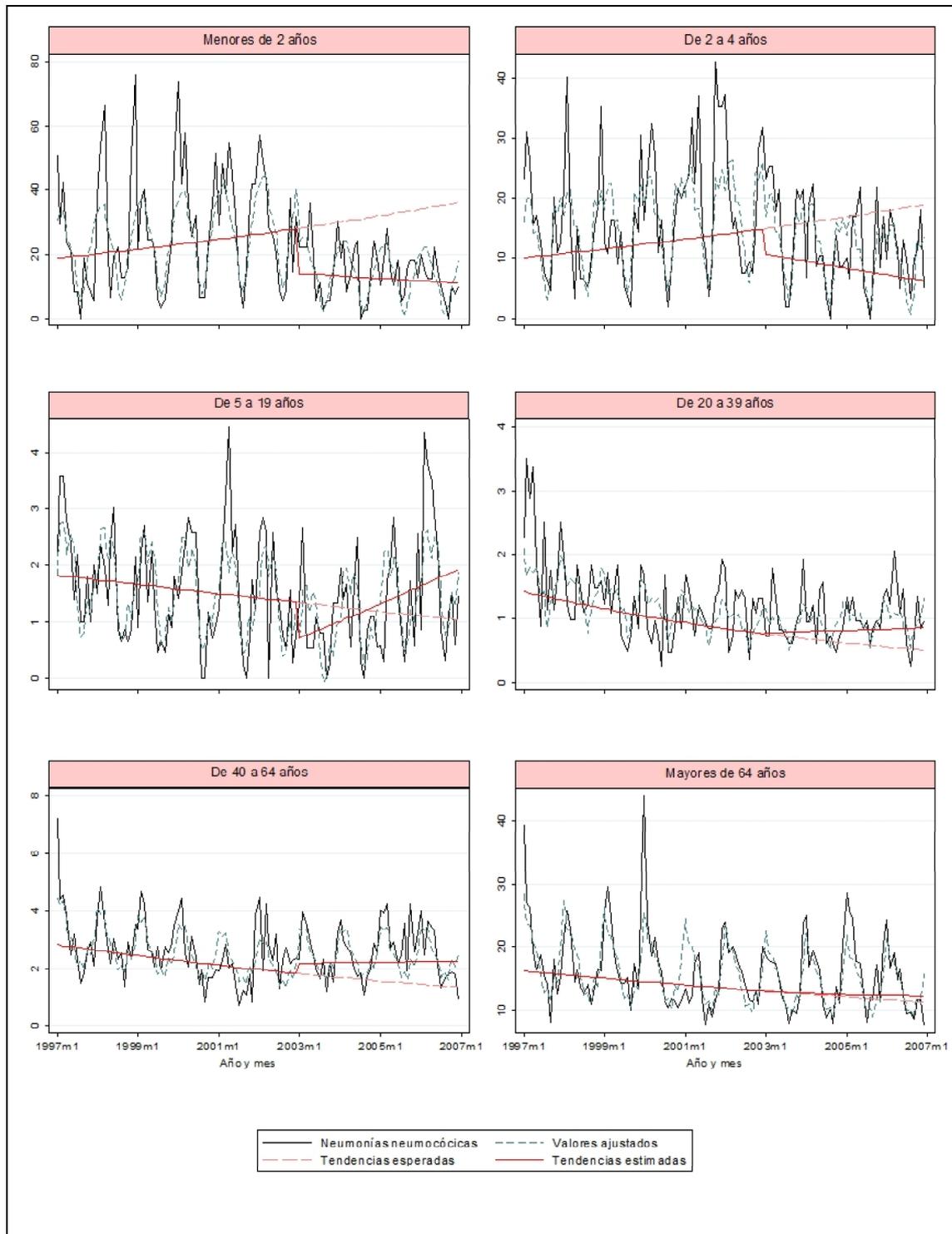


Figura 1: Serie de las tasas de ingresos mensuales por neumonía neumocócica (por 100.000 habitantes), junto con sus valores ajustados, tendencia estimada y esperada, por grupos de edad.

Para los restantes grupos de edad la diferencia de tasas resultó ser positiva y, salvo para los mayores de 64 años, también significativa. En estos casos, se observa una tendencia decreciente hasta el momento de la intervención, y después se mantiene relativamente constante tras la inclusión de la vacuna (Figura 1).

Los residuos de los modelos proporcionaron valores del estadístico Durbin-Watson cercanos a 2, lo que indica ausencia de autocorrelación en ellos.

4. CONCLUSIONES

La reducción de los ingresos por neumonía neumocócica en niños menores de 5 años en Galicia tras la introducción de la vacuna VNC-7v sugiere un efecto beneficioso, en consonancia con otras observaciones, como el descenso de la meningitis neumocócica en menores de 5 años durante el mismo período.

REFERENCIAS

- [1] Grijalva C. G., Nuorti J. P., Arbogast P. G., Martin S. W., Edwards K. M., Griffin M. R. (2007) Decline in pneumonia admissions after routine childhood immunization with pneumococcal conjugate vaccine in the USA: a time series analysis. *Lancet*; 369, 1179-1186.
- [2] Wagner A. K., Soumerai S. B., Zhang F., Ross-Degnan D. (2002) Segmented regression analysis of interrupted time series studies in medication use research. *Journal of Clinical Pharmacy and Therapeutics*, 27, 299-309.

LA METROLOGÍA EN EL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS

Salvador Naya¹

¹Escola Politécnica Superior. Universidad de A Coruña.

RESUMEN

La metrología, o ciencia de las mediciones, tiene como objetivo analizar la incertidumbre en las medidas. En este trabajo se analiza la relación entre los distintos índices que se utilizan en la metrología dimensional con los índices de capacidad usados en el contexto del control estadístico de la calidad. La idea es comparar ambos conceptos buscando sus diferencias y similitudes. Se establecerá un paralelismo entre los índices metrológicos y los índices de la capacidad de un proceso cuando el interés radica en analizar la incertidumbre de medición.

Palabras clave: Metrología dimensional, control estadístico de procesos.

1. INTRODUCCIÓN A LA METROLOGÍA DIMENSIONAL

Cuando se pretende controlar el proceso de medir surge de forma lógica la necesidad de utilizar las herramientas propias de la ciencia encargada de las mediciones: la metrología. Son numerosos los aspectos que dependen de la metrología, por ejemplo en la industria debe llevarse un control riguroso de la precisión que deben tener las distintas máquinas y la metrología se hace indispensable en estos procesos. En general será una herramienta imprescindible en cualquier proceso en el que se presente incertidumbre en la medida.

Al principio la metrología nació como una necesidad para cualquier civilización, ya que al tener necesidades de consumo es necesario medir y pesar los productos, pero no se tenían unidades como la libra, el kilo o el metro (que le da nombre a esta ciencia). Antes del Sistema Métrico Decimal, los humanos no tenían más remedio que echar mano de lo que llevaban encima, su propio cuerpo, para contabilizar e intercambiar productos. Así aparecen medidas como el pie, la braza, etc. Son las llamadas unidades antropomórficas. Pero estos métodos fueron siendo descartados porque tenían muchas inconsistencias. A medida que evolucionaron las civilizaciones, se fueron desarrollando también los métodos de medición y fueron surgiendo medidas asociadas a cada cultura como el real codo egipcio; la yarda inglesa, implantada en el año 1100, y que consistía en la distancia de la punta de la nariz de Enrique I hasta su dedo pulgar con el brazo estirado totalmente. Este tipo de medidas tenían un gran problema: encontrar equivalencias y correspondencias entre unas unidades y otras. Así aparecen las primeras equivalencias: una palma tiene cuatro dedos; un pie tiene cuatro palmas; un codo ordinario tiene un pie y medio, esto es, 6 palmas; y si a ese codo se le añade un pie más, tenemos el grado o medio paso que es igual a un codo más un pie, o dos pies y medio, o diez palmas; y por fin el paso que es la distancia entre dos apoyos del mismo pie al caminar. En Galicia aún conservamos medidas específicas, en general por comarcas, para la medida de las tierras.

Es evidente la incertidumbre que presentaba este tipo de mediciones. Una regla general observada a lo largo de la historia es que cuanto menos valor tenía el material a medir, más deprisa se hacía su medición y con menor precisión. Hoy día sabemos que tanto la técnica de medición como el instrumento deben adaptarse a la tolerancia de medida que deseamos comprobar y que, en efecto, mayores tolerancias permiten una medición más rápida y menos cuidada.

Esta diversidad enorme de pesos y medidas obstaculizaba el comercio y el progreso industrial, ambos ya muy importantes, causando de paso problemas a los recaudadores de impuestos de los Estados. Sería la academia francesa de las ciencias quien se plantea la creación de una medida que no dependa de localismo y que tenga una relación con la medida de la Tierra (el metro). Uno de los científicos que pertenecía a la comisión encargada de encontrar esa medida fue Laplace, a quien algunos historiadores consideran que bautizó al metro, y que luego

desde su posición de ministro de Napoleón impulsó su implantación en toda Francia, y gracias al triunfo de las ideas de la revolución francesa acabaría extendiéndose por toda Europa. Desde el punto de vista probabilístico es también destacable que Laplace también obtuvo una aproximación del valor del metro utilizando probabilidades geométricas.

Para la determinación de cuánto tendría que ser el valor de esa unidad universal de medida se hacía necesario conocer la medida de un arco de meridiano. En esta empresa España jugó un importante papel en los trabajos de determinación de la longitud del arco de meridiano, al igual que ocurriera con la expedición al Perú (para determinar la forma de la Tierra); en este caso, por formar parte su territorio de la medición, ya que la Asamblea francesa había determinado realizar la medición entre Dunquerque y Barcelona, ciudades situadas casi simétricamente a ambos lados del paralelo 45 y ambas asentadas al nivel del mar.

El 21 de septiembre de 1792 quedó fijado como valor del metro “la diezmillonésima parte del cuadrante de meridiano terrestre que pasa por París”. Los trabajos de medición fueron realizados por Delambre y Méchain. Para los estudios geodésicos fue de gran interés la experiencia aportada por la expedición enviada a medir a Perú, conocida como La Condamine, en la que participaron los españoles Antonio de Ulloa y Jorge Juan. Esta misión, llevada a cabo en 1736 y 1739, consistió en triangular una distancia de unos 400 km a lo largo del corredor interandino.

Aunque el metro como unidad de medición se adoptó en el año 1791 por la Asamblea Nacional Francesa, en España no sería implantado hasta el año 1849 con la unificación de las medidas, la llamada Ley de Pesas y Medidas, promulgada en el reinado de Isabel II. Esta ley introduce el sistema métrico decimal y su nomenclatura científica, así como los reales decretos y órdenes para su aplicación. Esta ley, que puede considerarse como la primera ley fundamental de la metrología española, dejaba claramente establecido el concepto de uniformidad: “en todos los dominios españoles habrá solo un sistema de medidas y pesas”, “la unidad fundamental de este sistema será igual en longitud a la diezmillonésima parte del arco del meridiano que va del Polo Norte al Ecuador y se llamará metro”.

En Sánchez Pérez (1990) se presenta un interesante estudio de la evolución histórica de la metrología y más concretamente en Sánchez Ron (1999) se hace un estudio de la trayectoria de la metrología en España. En la Web del Centro Español de Metrología (<http://www.cem.es>) existe también una interesante documentación sobre la evolución histórica de esta ciencia. En el libro de Ken Alder (2003) se hace una interesante versión novelada del nacimiento del metro.

En metrología interesa que la incertidumbre de la medida sea muy pequeña y en control de procesos lo que se busca son procesos con índices de capacidad altos. Pues bien, la pregunta lógica es ¿qué impacto tiene la incertidumbre de medición (error de medición) con la capacidad del proceso? Dar respuesta a esta pregunta es el objetivo de la siguiente sección.

2. ESTUDIOS RyR

Desde el punto de vista estadístico lo más resaltante en el contexto de la Metrología es analizar la Repetitividad y la Reproducibilidad de la medida, los denominados estudios RyR. Así, cuando interesa analizar cómo repercuten los efectos de la medición de unas determinadas piezas por distintos operarios encargados de la toma de medidas, podríamos enfocarlo mediante un modelo del tipo:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk},$$

$$\alpha_i \approx N(0, \sigma_\alpha^2) \text{ Efecto piezas,}$$

$$\beta_j \approx N(0, \sigma_\beta^2) \text{ Efecto operadores,}$$

$$\alpha\beta_{ij} \approx N(0, \sigma_{\alpha\beta}^2) \text{ Interacción piezas – operadores,}$$

$$\varepsilon_{ijk} \approx N(0, \sigma^2) \text{ Error.}$$

El problema consiste en estimar los parámetros y los efectos del modelo anterior, para lo que existe una gran literatura en el contexto del diseño de experimentos, véase por ejemplo diseños específicos propuestos por Youden (1959) y reelaborado por Ku (1969) para investigar laboratorios de mediciones. La principal diferencia del enfoque desde el punto de vista de la metrología está en que en este contexto lo que prevalece es estimar la repetitividad y reproducibilidad de los instrumentos de medida, así los factores estudiados son las fuentes de variación y la importancia relativa de estas fuentes. El enfoque por tanto, debe de ir hacia el estudio de componentes de la varianza para lo que los diseños “anidados” y “jerarquizados” son una solución acertada. Estos diseños se basan en modelos de efectos aleatorios para las observaciones. El análisis de estos diseños

aparece en la mayoría de los textos sobre diseño de experimentos (véase, por ejemplo Montgomery (2005)) y en la mayoría de los paquetes estadísticos (por ejemplo el programa R).

La repetitividad se estima mediante la varianza del instrumento de medición, mientras que la reproducibilidad será la variabilidad producida por el operador. La suma de estas dos variabilidades nos dará una estimación del sistema de medición, es la denominada variabilidad RyR.

$$\hat{\sigma}_{repet.}^2 = \hat{\sigma}^2 \quad (\text{repetibilidad})$$

$$\hat{\sigma}_{reprod.}^2 = \hat{\sigma}_{\beta}^2 + \hat{\sigma}_{\alpha\beta}^2 \quad (\text{reproducibilidad})$$

$$\hat{\sigma}_{RyR}^2 = \hat{\sigma}_{repet.}^2 + \hat{\sigma}_{reprod.}^2$$

Una vez se tiene unas determinadas tolerancias o especificaciones de las mediciones, para verificar la calidad del instrumento de medición se utilizan índices como el cociente entre la variabilidad de las piezas y la variabilidad RyR o el cociente entre la variabilidad RyR y los límites de tolerancia:

$$\delta = \frac{\hat{\sigma}_{piezas}^2}{\hat{\sigma}_{RyR}^2}$$

$$P/T = k \frac{\hat{\sigma}_{RyR}^2}{(LIE - LSE)},$$

En donde LIE y LSE son los límites inferior y superior de especificación del proceso de medición, k es una constante, que se suele tomar el valor 5.15, ya que $k/2$ representa el cuantil 0.99 de la normal estándar. Como es conocido en el contexto de control estadístico de procesos el valor de esta constante suele ser 6 que corresponde a una probabilidad del 99.73%. La clasificación de los sistemas de medición en función de la magnitud puede verse en la tabla 1.

Tabla 1: Clasificación de sistemas de medición en función del índice P/T

P/T	Interpretación
$P/T < 10\%$	Desempeño excelente
$10\% < P/T < 20\%$	Desempeño adecuado
$20\% < P/T$	Desempeño inadecuado

3. COMPARACIÓN CON EL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS

En el contexto del control estadístico de procesos para medir la capacidad del proceso se utilizan distintos índices siendo el más empleado el denominado índice C_{pk} , que relaciona los límites de especificación con la variabilidad del proceso.

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \right\}$$

Es posible establecer una relación entre los índices utilizados en metrología y los índices de capacidad utilizados en Control de procesos, como puede verse en las siguientes expresiones:

$$C_{pk} = \frac{1}{\sqrt{1 + (P/T)^2}},$$

$$C_{pk} = \frac{1}{\sqrt{1 + (1/\delta)^2}}$$

Por otra parte, en el control de procesos se pueden clasificar las unidades estudiadas como conforme (dentro de especificación) y unidad no conforme (fuera de especificación). Debido a la incertidumbre del instrumento de medición, es posible que se cometa alguno de los dos siguientes errores: clasificar como no conforme a una unidad que es conforme o declarar como conforme a una unidad que no lo es. Este tipo de errores son los que se conocen como riesgo del productor o proveedor (o riesgo alfa) y riesgo del consumidor o receptor (o riesgo beta).

La relación existente entre los riesgos del proveedor y del receptor y la incertidumbre de medición también es posible calcularla, para ello definiremos estos riesgos como probabilidades condicionadas.

$$\alpha = P(B/A), \text{ Riesgo del proveedor}$$

$$\beta = P(\bar{B}/\bar{A}), \text{ Riesgo del consumidor}$$

Donde el suceso A representa “la unidad es conforme” y B representa “la unidad se clasifica como no conforme después de la medición”. La clasificación de los sistemas de medición en función de la magnitud puede verse en la tabla 2.

Tabla 2: Riesgos del proveedor y consumidor en función de la clasificación de una unidad o pieza medida.

	Realmente dentro de especificaciones	Realmente fuera de especificaciones
Clasificada dentro de especificaciones	$P(A \cap \bar{B})$	$P(\bar{A} \cap \bar{B})$
Clasificada fuera de especificaciones	$P(A \cap B)$	$P(\bar{A} \cap B)$

Para el cálculo de estos riesgos bastará con suponer una distribución para la variable aleatoria que modela la variabilidad de la medida y una vez estimado el error de medición, que podría suponerse siguiendo una variable normal de media cero y varianza la RyR estimada en la sección anterior. Para el cálculo de los riesgos del proveedor y consumidor sería necesario calcular dichas probabilidades, que suponiendo normalidad en la distribución, podrían calcularse de forma sencilla.

4. CONCLUSIONES

Se han presentado algunos conceptos básicos de la metrología dimensional y se han comparado con los utilizados en el control estadístico de procesos. Concretamente, se ha visto cómo evaluar la capacidad de un instrumento de medición a partir del análisis de los datos que se obtienen de un experimento diseñado para estudiar la variabilidad del instrumento. Finalmente se estableció una relación entre la capacidad del sistema de medición y los riesgos del comprador y vendedor. Queda patente la importancia que tiene la Estadística para el estudio de la incertidumbre de medición.

REFERENCIAS

- Alder, K. (2003) La medida de todas las cosas. Editorial Taurus.
- Montgomery, D. C. (2005). Design and Analysis of Experiments. John Wiley & Sons.
- Montgomery, D. C. (2009). Introduction to statistical quality control. John Wiley & Sons.
- Ku, H. H. (1969) Precision measurement and calibration. National Bureau Standards.
- Sánchez Pérez, A. (1990) La Metrología y el desarrollo científico y técnico, Publicaciones de la E.T.S. Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid.
- Sánchez Ron. J. M. (1999) Cincel, martillo y piedra. Historia de la ciencia en España (siglos XIX y XX). Editorial Taurus.
- Youden, W. J. (1959). Graphical diagnosis of interlaboratory tests. Industrial Quality Control, 15, 24-28.

Comunicacións Orais

Sesión de Investigación de Operacións

OR PROBLEMS IN PUBLIC PASSENGER TRANSPORT FLEXIBLE SYSTEMS

Ana Dias¹, José Telhada¹ e Maria Sameiro Carvalho¹

¹ University of Minho, School of Engineering - Department of Production and Systems Engineering,
Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal

ABSTRACT

Public passenger transport flexible systems, namely Demand Responsive Transport (DRT) systems, have been implemented with success in several occidental countries as an alternative to the conventional transport system. They are basically suitable for low density demand patterns, namely, rural areas or handicapped people in urban areas. Their type of services brings flexibility to schedules, routes and stop locations. However, it is more expensive in terms of cost per trip than conventional services operating at high vehicle occupation level.

This paper purposes a general architecture for DRT systems, and describes and discusses the main OR problems that can emerge at the strategic (design) and operational phases of their project life. A particular emphasis will be given to the arising routing problems. It is suggested that a DRT system should optimise its routing by using advanced intelligent information and communication technologies, and should give information to their clients. All these tasks should be performed automatically, in real time, by computerized modules.

In the design phase of a DRT system, it is important to simulate alternative scenarios of the system, estimating the best operational parameters for the services to be offered, including its level of flexibility. This paper also discusses the main aspects that must be taken in account in this simulation study by reporting a case study system, and recommends that similar studies must be performed to analyse other cases (the implementation of a DRT in other areas) rather than adopting roughly the same strategic and operational parameters of the case study.

Keywords: Demand Responsive Transport, Operational Research, Routing Planning and Scheduling.

1. INTRODUÇÃO

O sistema actual de transportes públicos baseia-se exclusivamente em carreiras fixas (em termos de percursos, paragens e horários), e tem-se tornado cada vez menos eficiente em zonas de baixa densidade populacional. Como resultado, assiste-se surdamente a uma progressiva exclusão social dos residentes dessas zonas. Este tipo de exclusão social, designada por exclusão funcional, tem a ver com a grande distância a que se encontram os serviços necessários aos residentes e à falta total ou parcial de transporte público (TP) adequado para lá chegar.

Assim, nas áreas mais rurais tem-se criado nos últimos anos um círculo vicioso, em que sendo a população dispersa e a procura de TP reduzida faz com que os veículos circulem com baixas taxas de ocupação, o que conseqüentemente, leva a grandes ineficiências e poucos ganhos; assim, os operadores de TP reduzem a frequência de circulação dos veículos e recorrem aos veículos mais envelhecidos da frota, levando a que a população tenha um acesso cada vez mais restrito aos serviços de TP, recorrendo a transporte individual, originando mais redução da procura.

Dada a ineficácia e a ineficiência do TP convencional nestas áreas, emerge o interesse em equacionar a hipótese de se implementar um sistema de transporte alternativo que se demonstra cada vez mais necessário. O transporte público flexível (TPF) é uma possibilidade e deverá ter vários objectivos sociais, principalmente, a mitigação dos problemas de exclusão social e a colmatação das fracas acessibilidades que caracterizam, em maior ou menor grau, as populações rurais. O transporte público deve ser visto como uma ferramenta de inclusão, pois garante a acessibilidade a serviços e bens necessários, tais como, a educação, a justiça, a saúde e outros serviços e comodidades públicas e privadas.

O objectivo global deste artigo é o de analisar a possibilidade de aplicar metodologias de investigação operacional para a conceptualização de um sistema de transporte público que responda, em tempo real, às

necessidades de mobilidade das pessoas. Um dos componentes principais do sistema flexível consistirá numa Central Coordenadora que, apoiada numa rede de comunicações adequada, terá como missão receber os pedidos de transporte dos utilizadores e providenciar, o “modo” (autocarro, carrinha, carro) e a “forma” (rota, horário) mais eficientes de os atender, dando simultaneamente resposta informativa ao utilizador sobre o estado do seu pedido, sendo que esta informação deve ser actualizada ao longo de certos períodos de tempo (Fig. 1). Para isso, recorrerá a um sistema de apoio à decisão operacional, num Sistema de Transporte Inteligente (ITS).

O sistema TPF permitirá atender todos os seus utentes de forma permanente, sendo portanto mais eficaz que o sistema convencional. Poderá disponibilizar veículos de capacidades mais adequadas para cada conjunto de rotas, incluindo veículos preparados para transportar pessoas com dificuldades físicas. Terá uma taxa de utilização maior, sendo mais eficiente.

O sistema, através da sua central coordenadora combinará a procura e a oferta de forma automatizada, baseando-se em modernas tecnologias de informação e comunicação (TIC) e computação avançadas com módulos optimizadores (ex., de rotas). Quando integrados nas infra-estruturas do sistema de transportes, e nos próprios veículos, estas tecnologias melhoram a eficiência dos serviços, assim como a qualidade de serviço, a segurança e a fiabilidade do sistema.

Incorporar tecnologias de Informação e comunicação modernas na tipologia do sistema permitirá obter vantagens ao nível da comunicação em geral, quer entre a central e os clientes, quer entre a central e os veículos, assim como ao nível da coordenação na afectação de rotas a veículos, podendo avisar os motoristas de alterações efectuadas no planeamento inicial para que estes possam avisar os clientes afectados.

O artigo está estruturado da seguinte forma: na Secção 2 discutem-se os principais problemas e metodologias de investigação operacional que emergem do planeamento (nível estratégico) e da implementação (nível operacional) dos sistemas flexíveis de transportes públicos de passageiros, em particular do tipo DRT. Na Secção 3 reforça-se o interesse da técnica da simulação (discreta) para a parametrização optimizada do referido sistema. Na Secção 4 discute-se brevemente a aplicação das metodologias descritas a um caso de estudo. Finalmente, a Secção 5 resume as principais conclusões da investigação realizada pelos autores sobre o tema aqui apresentado.

2. NÍVEIS DE DECISÃO

Na problemática de TPF há dois tipos de níveis a considerar. Um é o nível estratégico que engloba uma visão a longo prazo, um planeamento adequado do sistema de apoio à decisão, uma definição dos parâmetros, uma articulação dos serviços fixo e flexível e quais os factores de sucesso. O outro é o nível operacional que engloba as acções do dia-a-dia na implementação do serviço, nomeadamente as metodologias de investigação operacional a utilizar para optimizar os serviços, as rotas a seguir, o tempo de chegada do veículo à origem e ao destino da pessoa e todas as funcionalidades do software de apoio à decisão.

2.1 NÍVEL ESTRATÉGICO

No nível estratégico é necessário ponderar muitas questões para a aplicação dos modelos de oferta, antes de avançar para a implementação, sendo que algumas delas estão relacionadas entre si.

Concretamente, é necessário definir a área ou áreas onde o serviço vai ser implementado. Caso seja uma área muito grande, esta pode ter que ser subdividida em áreas de acção mais pequenas.

É essencial atender à articulação do sistema TPF com os sistemas de transporte das áreas vizinhas de acordo com o plano de transporte regional das áreas adjacentes. Pode ligar-se o TPF a sistemas urbanos ou a outros sistemas flexíveis em áreas periurbanas, ou nos corredores de transporte interurbano. O grau de flexibilidade do serviço é outro aspecto a definir ao nível estratégico. Este pode ser fixo, flexível, misto intercalado, complementar ou outra combinação de flexibilidade que se adegue à situação concreta.

Outro ponto de análise é a antecedência mínima com que os clientes devem efectuar os pedidos de reserva, comprometendo-se com o serviço, não sendo excluídos os clientes casuais, assim, será possível optimizar ao nível operacional.

A constituição da frota que responda à procura é outro aspecto a nível estratégico. Pode pensar-se numa frota heterogénea óptima, mas é imperativo ver como é conseguida.

O horário definido pelo cliente não pode ser rígido. Em casos de implementação estudados, dependendo se o cliente está a ir ou a voltar para casa, ele indica apenas a hora a que pretende chegar ou a que pretende sair, respectivamente. Assim, tem de ser especificado uma janela temporal para que o cliente esteja na paragem quando o veículo lá chegar e consiga chegar ao destino na hora pretendida.

A nível estratégico torna-se muitas vezes difícil decidir qual o tipo de serviço que se adequa melhor a uma determinada área. Este está dependente da distribuição de procura. Assim, o serviço de TP mais adequado pode ser o convencional, com rotas, horários e paragens fixas, no caso de procura elevada. O

serviço de TP mais adequado poderá muito provavelmente ser o flexível se se tratar de uma procura baixa e dispersa, características das áreas rurais com fraca densidade populacional. De qualquer forma o TPF pode ser mais caro por viagem e se não for bem planeado e divulgado. Neste caso a sua implementação pode constituir um risco. Há ainda a possibilidade de um serviço misto dos dois serviços (no sentido intermitente), em que, dependendo do dia e da hora a que actua pode ser do tipo fixo ou do tipo flexível. Por exemplo durante as horas de ponta nos dias úteis, havendo procura, pode justificar-se o TP convencional. Durante as restantes horas, sendo a procura escassa justifica-se um sistema de marcações e veículos mais pequenos (flexível). Outra possibilidade que se coloca é a articulação do serviço flexível com os serviços adjacentes, sendo posteriormente necessário analisar e definir onde cada serviço actuará.

O transporte de pessoas numa área rural onde exista TPF, pode ser feito com um ou mais veículos que vão buscar os clientes às paragens definidas e leva-os aos destinos pretendidos, dentro da mesma área rural.

Se um cliente pretende deslocar-se para uma área urbana, a articulação pode ser efectuada nos corredores interurbanos ou com serviços específicos para esse transporte. Nesses corredores interurbanos a procura é acentuada por ser um ponto de encontro das zonas rurais adjacentes. Para a execução da articulação, o TPF tem de fazer corresponder aos horários fixos do transporte interurbano, a chegada prévia dos clientes às paragens mistas onde passa o TP interurbano e se pode realizar a articulação.

No caso de co-existirem sistemas de TPF entre duas áreas rurais ou periurbanas, relativamente próximas, pode ser oportuno considerar-se a ligação directa em regime de rotas e horários fixos ou com horário semi-flexível, os horários serão pré-estabelecidos e, havendo um número mínimo de marcações, o serviço será activado. Para horas diferentes ou sem atingir o número mínimo, os clientes podem sempre recorrer aos serviços que operam no corredor interurbano regular.

Ao nível estratégico é importante analisar também quais os factores de sucesso na implementação de um serviço de TPF. O sucesso ou insucesso de um serviço depende da forma como está organizado, sendo crucial uma boa articulação dos serviços com sistemas de informação e comunicação. O sistema deve cumprir impreterivelmente as regras, sendo profissional e não abrindo excepções. Este tipo de sistemas são sensíveis do ponto de vista financeiro, pois sendo serviços mais caros que os convencionais, transportando poucas pessoas e tendo tarifas mais baixas é recomendável recorrer à investigação operacional para que sejam determinados os melhores valores dos parâmetros de operacionalização do sistema, de forma a garantir a sua sustentabilidade.

2.2 NÍVEL OPERACIONAL

Ao nível operacional é necessário otimizar as rotas, efectuar o encaminhamento dos veículos, prever, divulgar e actualizar tempo de chegada do veículo às paragens. É então necessário definir a rota e decidir qual o veículo mais adequado para a efectuar num determinado horário atendendo a vários factores, nomeadamente ao número de clientes e possíveis clientes casuais. Para a divulgação dos tempos, o sistema necessita de módulos autónomos e optimizantes para actualizar e divulgar os tempos envolvidos antes e durante uma rota, quer para análises de desempenho quer para informar os clientes da localização do veículo.

O problema de optimização de rotas pode ser formulado matematicamente, recorrendo a programação inteira mista para o resolver. Este tipo de problema envolve grande complexidade na sua resolução, aumentando ou reduzindo o número de restrições, de acordo com o número de clientes, com as janelas temporais definidas e outras especificidades. Desta forma a resolução pode ser feita por métodos exactos ou heurísticos.

Existem muitas variantes do problema VRP (*Vehicle Routing Problem*). Segundo Parragh *et al.* (2008a), estes estão divididos em duas classes principais. Uma considera a recolha dos clientes em diferentes origens e o seu transporte para um destino comum (por exemplo, feiras e visitas hospitalares), considera também o problema inverso, ou seja, o transporte de pessoas de uma origem comum para destinos diferentes. A outra classe é definida, em Parragh *et al.* (2008b), pela existência de origens e destinos diferentes para cada cliente.

Para o encaminhamento de veículos, recorre-se a critérios racionalizantes, destacando-se, para determinado pedido, dentro dos veículos disponíveis, o de menor capacidade que incorpore as possíveis folgas para clientes casuais. Pode também ser seleccionado um veículo que já se encontre em serviço, devido à proximidade e possibilidade de transportar determinado cliente.

A previsão de tempos de percursos será tanto mais dificultada quanto maior for o congestionamento de trânsito que englobe. Nas áreas rurais, a previsão de tempos é simples, uma vez que o congestionamento praticamente não existe, sendo o cálculo de duração do percurso até determinado local efectuado pela distância a percorrer e pela velocidade média a que se pode deslocar. Nas áreas urbanas é muito mais complexa a previsão de tempos, pois, com a existência de congestionamento, os atrasos dependem das horas de circulação. As metodologias de resolução deste tipo de problemas são diversas e

dependem dos sistemas (tecnologias) de apoio disponíveis. O mais simples é um modelo de previsão extrapolativo baseado em séries temporais (modelo de média exponencial, ARIMA, modelo neural, entre outros). Alguns operadores de TP regulares baseiam-se em GPS para saber a localização dos veículos, realizam actualizações das previsões em intervalos de tempo regulares e frequentes (ex., 2 minutos). Contudo, a maioria dos sistemas em funcionamento actualmente, realizam a actualização dos tempos, com base em novas observações, apenas quando os veículos chegam a uma nova paragem, onde existem sistemas de detecção por proximidade dos veículos da frota.

A previsão dos tempos de percurso é importante para fornecer informação aos clientes das durações e das horas previstas de chegada às paragens e dessa forma aumentar a confiança do sistema e sua fiabilidade.

3. TÉCNICA DA SIMULAÇÃO

A simulação é uma técnica de resolução de problemas usada sobretudo quando a resolução analítica destes é de elevada dificuldade, face a um número elevado de variáveis, de restrições (ou de ambos), ou devido à complexidade destas restrições. No caso do sistema de TPF, a simulação destina-se a parametrizar, de forma racional, o sistema, integrando o modelo da procura e o modelo de oferta, fazendo parte, deste último, o próprio modelo de apoio à decisão (módulos de previsão, informação, e VRP). No planeamento estratégico do TPF, pensa-se que constituirá uma mais-valia para o processo decisório que procede à simulação microscópica, isto é, indivíduo a indivíduo e veículo a veículo, realizando-se uma mímica do sistema real, com o ensaio de cenários alternativos.

De reforçar que, com a simulação, devem ser considerados os modelos operacionais descritos anteriormente (routing, previsão, informação), como parte integrante do modelo de oferta.

Com a simulação do sistema TPF formula-se os diversos cenários alternativos, nomeadamente os pontos de concentração populacional dentro das áreas de acção do sistema, estradas existentes e paragens nelas definidas, horários, veículos e grau de flexibilidade, entre outros parâmetros de interesse prático.

A Fig. 2 ilustra esquematicamente os módulos intervenientes na simulação. Concretamente, o sistema de apoio à decisão interage com o simulador de oferta (todos os módulos autónomos de fornecedores de serviços) e com o simulador de procura (distribuição estimada para a ocorrência de pedidos), dando resposta à procura de acordo com o que se obtém da oferta.

Nos diferentes cenários a equacionar, simula-se o modelo de oferta (gerando o desempenho dos serviços geridos pela central) e o modelo da procura (gerando os pedidos ou chamadas dos utentes). São introduzidos na aplicação informática de apoio à decisão e obtém-se algumas informações relevantes sobre a possível implementação.

As variáveis a estudar indicarão, por exemplo, quais os veículos a utilizar (existentes ou novos), o nível de cooperação dos operadores (do mais básico ao mais alto nível, podendo recorrer a empresas virtuais), janelas temporais e o tempo mínimo para marcação (garantindo o serviço), entre outros.

A aplicação informática permitirá: acompanhar a localização dos veículos, monitorizar atrasos e gerar mensagem de notificação para enviar aos clientes afectados, analisar resultados utilizando relatórios pré-definidos, para determinar o nível de serviço alcançado pelo cliente local e o desempenho do veículo e do condutor.

Com a simulação, poder-se-á ainda estimar qual será a frota ideal para a área de estudo. Não havendo restrições no que diz respeito ao número de veículos de cada tipo, os resultados de simulação revelarão, em termos estatísticos, os números médios e máximos de cada tipo, podendo-se depois concluir qual a melhor frota, no sentido de satisfazer a procura.

Pode ainda simular-se a possível prestação de serviço e analisar a satisfação da procura estimada, sendo para isso necessário dotar o modelo de procura de flexibilidade adequada. Por exemplo, dever-se-á estimar coeficientes de transferência modal e de sensibilidade a alterações no custo dos serviços prestados.

Com a conceptualização da central coordenadora, o software utilizado deve efectuar reservas electronicamente (facilitando a troca de dados), utilizar algoritmos de optimização para gerar horários das reservas, enviar aos condutores a informação dos horários e das alterações nas rotas antes do início da viagem e durante a mesma (em tempo real), avisar automaticamente o cliente ou ordenar um novo veículo para pedidos que não podem ser satisfeitos devido a limitações do serviço, entre outras funcionalidades.

Para a optimização de horários, é necessário atender a um conjunto de critérios, entre os quais: maximizar a possibilidade de servir clientes adicionais, minimizar o número de veículos a utilizar e o número de quilómetros a percorrer, minimizar o tempo médio de viagem de cada passageiro e o número de quilómetros percorridos entre passageiros, minimizar o desfasamento entre a hora requerida e a hora efectiva a que chega o veículo, minimizar os custos de viagem para cada novo passageiro.

Há um conjunto de procedimentos necessários para estudar a viabilidade do sistema TFT, principalmente, no que se refere a preferências dos clientes e o que é permitido ao operador fornecer.

Assim, uma análise custo/benefício não deverá ser excluída dos estudos. Para isso, é necessário efectuar comparações entre os custos e os benefícios, analisar possíveis parcerias e financiamentos, qual o marketing a ser aplicado e depois então concluir se o projecto será ou não viável para uma determinada área, se deve ou não ser abandonado e/ou reconfigurado.

4. ÁREA DE ESTUDO

A área do caso de estudo para a análise de um sistema de TPF, do tipo DRT, é constituída por três concelhos (Amares, Terras de Bouro e Vila Verde) onde, em termos gerais, predomina a área rural. Terras de Bouro é profundamente rural, já Vila Verde e Amares podem ser divididos em duas zonas distintas, a Norte são mais rurais e a Sul mais periurbanos.

O modelo de oferta a considerar nesta área de estudo integra as metodologias operacionais descritas anteriormente. O modelo de procura é obtido através de métodos científicos, nomeadamente estatísticas publicadas por exemplo pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) e Câmaras Municipais, complementados com informação obtida através de entrevistas aos presidentes das juntas de freguesia e a outros membros autárquicos, assim como através de inquéritos à população residente.

Numa primeira análise conclui-se que na zona a Sul das áreas dos concelhos de Amares e Vila Verde, sendo esta periurbana, poderá ser implementado uma articulação entre o TPF e o sistema urbano de Braga, assim como entre as três sedes de concelho. No sistema urbano de Braga existem eixos principais no concelho de Vila Verde (EN101, EN205) e no concelho de Amares (EN308), onde poderá ser executada a articulação.

Nas deslocações entre as sedes de concelho deve recorrer-se a um serviço semi-flexível, em que a rota e os horários são sempre os mesmos, variando no entanto o horário de circulação em função do aparecimento de um número mínimo de marcações.

O grau de flexibilidade do sistema terá de ser analisado posteriormente à fase actual do estudo, assim como as limitações de onde começar e terminar os diferentes serviços.

5. CONCLUSÕES

O TPF aumenta a mobilidade e reduz a exclusão social. Como os custos operacionais são elevados, surgirão potencialmente problemas de sustentabilidade. Por isso, os estudos devem ser suportados por ferramentas que incorporam metodologias de investigação operacional, no sentido de obter um sistema racional através de um planeamento rigoroso nas fases estratégica e operacional.

O sistema de apoio à decisão incorpora modelos flexíveis com módulos autónomos de aplicabilidade universal, que permitem escolher automaticamente o melhor método de solução de acordo com os dados da procura.

A natureza dos problemas aqui apontados e das metodologias propostas não constituem, por si só, uma novidade. A mais-valia deste artigo reside no levantamento dos principais aspectos a ter em conta na análise desses problemas, na proposta de se usar uma abordagem integradora de todos estes aspectos e na proposta de arquitectura funcional para operacionalização do sistema, cujo principal pilar consiste no software dedicado ao apoio à tomada de decisão. Por exemplo, para os problemas de *routing*, com as suas variantes, o sistema opta automaticamente, em cada situação concreta, pelo modo de resolução mais adequado.

O modelo proposto é flexível, integrando já alguns módulos autónomos de resolução, e estando apto a incorporar facilmente outros (ex., modelo de previsão de congestionamento dentro das áreas urbanas).

Cada área rural tem as suas particularidades, por exemplo em termos de densidade e dispersão populacionais, pelo que, apesar de existirem possíveis factores de sucesso do TPF comuns a diferentes áreas, um estudo personalizado para cada uma dessas áreas, em particular, não deve deixar de ser efectuado, devendo pois excluir-se a simples adopção de valores de parâmetros funcionais adequados a qualquer outra área estudada previamente.

REFERÊNCIAS

Ambrosino G., Nelson J., Romanazzo M., 2004, "Demand Responsive Transport Services: Towards the Flexible Mobility Agency", ENEA, Rome.

AMVC - Associação de Municípios do Vale do Cávado, 2005, "Estudo integrado da mobilidade e do sistema de transportes públicos de passageiros do Vale do Cávado" – Relatório Final também produzido pela PERFORM e Universidade do Minho.

Brake J., Mulley C., Nelson J., Wright S., 2007, "Key Lessons learned from recent experience with Flexible Transport Services", Transport Policy, 14, pp. 458-466.

Brake J., Nelson J., 2007, “A case study of flexible solutions to transport demand in a deregulated environment”, *Journal of Transport Geography*, 15, pp. 262-273.

Engels D., Ambrosino G., Boero M., 2004, “Service typologies and scenarios”, em: Ambrosino G., Nelson J., Romanazzo M., “Demand Responsive Transport Services: Towards the Flexible Mobility Agency”, ENEA, Rome, pp. 55-73.

ESRI: “<http://www.esri.com/products/index.html#1>”
Data: 23/10/2008.

INE - Instituto Nacional de Estatística, 2009, em:
http://www.ine.pt/xportal/xmain?xlang=pt&xpgid=ine_main&xpid=INE
Data: 15 Setembro 2009.

Parragh S., Doerner K., Hartl R., 2008a), “A survey on pickup and delivery problems, Part I: Transportation between customers and depot”, *JfB*, 58, pp. 21-51.

Parragh S., Doerner K., Hartl R., 2008b), “A survey on pickup and delivery problems, Part II: Transportation between pickup and delivery locations”, *JfB*, 58, pp. 81-117.

Quadrifoglio L., Dessouky M., Ordóñez F., 2008, “A simulation study of demand responsive transit system design”, *Transportation Research Part A*, 42, pp. 718-737.

SAMPLUS, 2000, “A Basic System Architecture and Technical Solutions for DRT”, WP4, Deliverable 4.1, versão 4, em:
ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/telematics/docs/tap_transport/samplus_d4.1.pdf
Data: 28 Julho 2008.

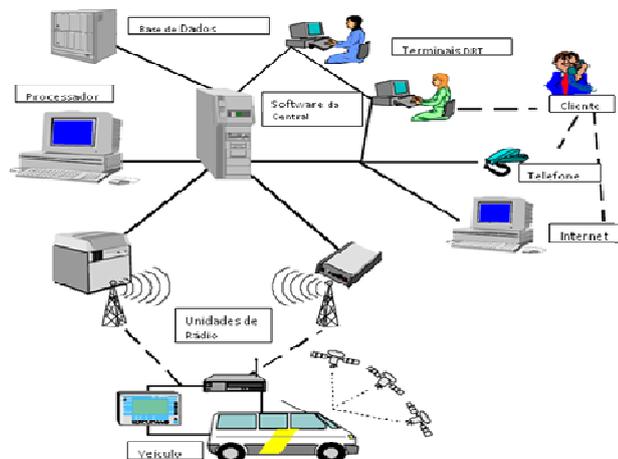


Figura 1: Arquitetura funcional de um sistema de TPF.

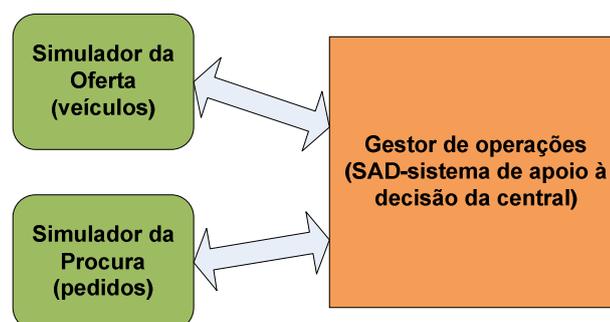


Figura 2: Esquema ilustrativo dos módulos intervenientes na simulação.

ADAPTACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL ALGORITMO CLARKE&WRIGHT A UN PROBLEMA DE DISTRIBUCIÓN MULTIRRESTRICTIVO

J.J. Novelle, J. Campos, A. Formella, P. Carrión y J.F. Gálvez

Dpto de Informática, E.S.E.I. Universidade de Vigo.
Campus Universitario As Lagoas s/n.
32004 Ourense (España)

RESUMEN

En este artículo se expone un trabajo realizado en el campo de la distribución de bienes con múltiples restricciones y cómo se puede adaptar un algoritmo clásico a un problema actual concreto. Para resolver la problemática que suscita la distribución multirrestrictiva se ha optado por la adaptación y optimización del algoritmo Clarke&Wright.

El objetivo es desarrollar un algoritmo que minimice los costes de distribución cumpliendo las restricciones concretas del problema.

Palabras y frases clave Criterio de ahorro, Matriz de ahorros, Matriz de distancias, Vector de pedidos, Depot o centro de distribución.

1. INTRODUCCIÓN

“El problema de distribuir productos desde ciertos depósitos a sus usuarios finales juega un papel central en la gestión de algunos sistemas logísticos, y su adecuada planificación puede significar considerables ahorros. Estos potenciales ahorros justifican en gran medida el uso de técnicas de investigación operativa como facilitadoras de la planificación, dado que se estima que los costes de transporte representan entre el 10% y el 20% del coste final de los productos,” con esta afirmación tan rotunda de Toth y Vigo [1], no es de extrañar que las empresas, que a día de hoy están centrando grandes esfuerzos en reducir costes, intenten obtener herramientas que reduzcan sus gastos. Con este objetivo de optimizar recursos y disminuir gastos surgen los problemas de enrutado de vehículos (Vehicle Routing Problem - VRP) [2,3,4,5]. VRP es un problema de optimización de tareas que consiste en diseñar el conjunto óptimo de rutas para flotas de vehículos que deben dar servicio, es decir, distribuir bienes, a un conjunto de clientes.

La base de partida del problema es un listado de pedidos diarios y un número determinado de camiones que serán los encargados de hacer llegar esos pedidos a los clientes. La principal característica del problema son las peculiaridades de cada uno de los productos (muchos de ellos incompatibles para ser transportados al mismo tiempo en un mismo vehículo), de los clientes (cada cliente tiene unas instalaciones que solo admiten ciertos tipos de vehículos) y los vehículos (todos diferentes entre si, tanto en capacidades, dimensiones como en tiempos de mantenimiento entre pedidos incompatibles). Además hay que sumar el tiempo de descarga de los productos en las instalaciones y el tiempo de descanso y trabajo diario de los conductores de los vehículos.

2. PROBLEMAS VRP

Los problemas VRP son problemas combinatorios NP-completos, por lo que encontrar una solución óptima es computacionalmente muy costoso [6,7,8].

Otro de los problemas de estos algoritmos es que sufren un crecimiento exponencial con respecto al tamaño de los datos a tratar. Cuantos más clientes existan más combinaciones de estos se pueden hacer y más comprobaciones son necesarias para encontrar la mejor solución.

Además los problemas VRP se pueden ver como una conjunción de otros problemas (cada uno en su forma básica NP-completo):

- *TSP Travelling Salesman Problem*: Problema del viajante, que consiste en encontrar la ruta más corta que visita todos los nodos de un grafo.
- *BPP Bin Packing Problem*: Problema de empaqueo binario, que consiste en determinar el número de recipientes de capacidad C que se necesitan para poder empaquetar una cantidad determinada.
- *Knapsack* o Problema de la mochila, que consiste en determinar cuántos elementos de diferentes tamaños se pueden meter en un recipiente (mochila) de capacidad C .

Ahora, con esta información se puede afirmar que la solución al problema es bastante compleja, dado que es una combinación de varios problemas NP-completos. Y no se debe olvidar que también depende en gran medida del tipo, número y características de las restricciones de cada caso en particular.

3. ALGORITMO CLARKE&WRIGHT

El algoritmo de Clarke&Wright (1964) [9], para resolver el VPR, también conocido como el algoritmo de los ahorros, es un algoritmo constructivo basado en la creación de rutas iniciales formadas por un único cliente y mezcla de estas por medio del criterio de ahorro para reducir su número y aumentar la cantidad de clientes que se visitan en cada ruta.

Se asume que el número de vehículos que se pueden utilizar es infinito, siendo todos de la misma capacidad, por lo que la creación de rutas iniciales se simplifica de gran manera con la elección de un único cliente por ruta y un vehículo asociado. Dado que cada ruta inicialmente se considera posible se evitan comprobaciones, porque se toma como precondition que cada cliente por separado puede ser servido por un vehículo.

La mezcla de las rutas iniciales se hace siguiendo un criterio voraz, llamado criterio de ahorro, que consiste en mezclar las dos rutas que más ahorran al combinarse (y obviamente cuya suma de volúmenes no sobrepase la capacidad del vehículo).

La pregunta que cabe plantearse es la siguiente: ¿Cómo se calcula el ahorro? El ahorro se calcula inicialmente para todos los clientes entre si utilizando la Formula 1:

$$\text{Ahorro}(i,j)=\text{Distancia}(i,0)+\text{Distancia}(j,0)-\text{Distancia}(i,j) \quad (1)$$

El ahorro que se produce entre el cliente i y el cliente j es igual a la suma de las distancias que hay ente el cliente i y el centro de distribución y entre el cliente j y el centro de distribución, (distancias que ahora ya no se recorrerían al realizar la mezcla de rutas), pero restando la distancia entre los clientes i y j (nueva distancia a recorrer para realizar la mezcla).

Este algoritmo se basa en la creación de una matriz cuadrada de ahorros y en la selección del mejor ahorro posible hasta que ya no se puedan realizar más mezclas de rutas.

El principal defecto del algoritmo clásico es su elevado coste computacional cuando el número de clientes es superior a la centena, por lo que su tiempo de ejecución resulta elevado en problemas grandes (como el tratado de forma práctica en el proyecto).

4. ALGORITMO C&W MULTIRRESTRICTIVO OPTIMIZADO

Restricciones del problema

El problema a solucionar por medio del algoritmo C&W Multirre restrictivo optimizado tenía las siguientes restricciones:

- Número de clientes medio por ejecución entre 3000 y 4000.
- Número de vehículos limitado y cada uno tiene sus características propias, que lo hacen único. Se parte de la base de que hasta ahora, en la planificación manual los vehículos han sido suficientes y en caso de falta de vehículos se pueden contratar más.

- No todos los vehículos pueden llevar todos los tipos de pedidos.
- Pedidos que pueden ser incompatibles entre si, no pueden compartir vehículo.
- Vehículos que sólo pueden circular un determinado número de horas al día.
- Clientes que tienen tipos de entradas a sus instalaciones que condicionan el tipo de vehículo que puede atenderlos.

Optimización y adecuación a las restricciones

Para adaptar el algoritmo Clarke&Wright al problema concreto de la distribución multirrestrictiva se dieron los siguientes pasos:

1. La primera mejora que se le realiza al algoritmo clásico es la de introducir una primera restricción en la creación del vector de ahorros. No se crean ahorros entre pedidos que no son compatibles de inicio. Esto en el algoritmo clásico no se tiene en cuenta y aumenta el tamaño del vector de ahorros y las comprobaciones posteriores, y por consiguiente el tiempo de ejecución del algoritmo. En este caso la comprobación de restricciones inicialmente conlleva un mayor tiempo de procesado para la creación del vector de ahorros, trabajo que se ve recompensado posteriormente en un drástico descenso del número de combinaciones posibles de pedidos compatibles, y por lo tanto en el número de ahorros a comprobar para realizar las mezclas de clientes.
2. La segunda mejora que se realiza es la doble ordenación del vector de ahorros. En la versión clásica no estaba ordenado y se tenía que recorrer una matriz cuadrada de ahorros para poder seleccionar el mejor ahorro, aplicarlo y eliminarlo, en la versión mejorada se utiliza un sistema de doble ordenación: Por una parte se ordenan los ahorros de mayor a menor, y dentro de un mismo ahorro se ordenan por distancia entre clientes, ya que es preferible que a igualdad de ahorro, se unan los clientes más próximos. El concepto de mismo ahorro puede ser extendido a "Ahorro Similar", dado que es prácticamente imposible conseguir igualdades si se trabaja con precisión en la medida de las distancias. La ordenación se hace en dos pasos, un primer paso para determinar la posición dependiendo del máximo ahorro y un segundo paso para determinar la posición de inserción dependiendo de la mínima distancia.
3. La tercera mejora que se realiza es la eliminación de ahorros no posibles o inalcanzables. En la versión clásica cada vez que se seleccionaba un ahorro, se borraba de la matriz de ahorros y se intentaba aplicar. Para revisar todas las restricciones para un posible ahorro (Compatibilidad entre productos, entre producto y vehículo, sobrepasar el límite de carga, sobrepasar el tiempo de trabajo etc.) es muy aconsejable eliminar el mayor número de ahorros imposibles al algoritmo (que finaliza cuando el vector de ahorros queda vacío). La forma de eliminar estos ahorros imposibles es que cada vez que se produce una mezcla de rutas (A+B) se eliminan todos los ahorros que tienen como origen el último cliente de la ruta A y todos los ahorros que tengan como destino el primer elemento de la ruta B.
4. La cuarta mejora que se realiza es comprobar cada vez que se produce una mezcla de rutas que la ruta resultante no quede "cerrada", es decir, que pueda llevar algún pedido más. Si la ruta resultante está cerrada, además se deben eliminar todos los ahorros que contengan al primer cliente de la ruta y al último. No es necesaria la eliminación de los clientes intermedios porque ya han sido eliminados a medida que se realizaban las mezclas de las rutas que componen la ruta A o B.
5. La quinta mejora de rendimiento que se lleva a cabo en el algoritmo es la no comprobación del tiempo total diario de los vehículos mientras se calculan las rutas. La única restricción de tiempos que se tiene en cuenta durante el proceso de creaciones de las rutas es que cada ruta de forma individualizada no sobrepase dicho tiempo máximo de trabajo diario. Una vez terminadas de construir las rutas, se deben revisar los vehículos que sobrepasan el tiempo máximo de trabajo diario y repartir sus rutas en otros vehículos similares o compatibles. Puede darse el caso de que no queden vehículos apropiados libres para realizar esas tareas, por lo que se opta por separar las rutas restantes en rutas más cortas que puedan ser servidas por los vehículos disponibles. Para realizar esta tarea de balanceado de cargas en vehículos, se usa el algoritmo Knapsack en una vertiente voraz. Este algoritmo escoge el conjunto de rutas que mejor aprovechan el tiempo del

vehículo, para utilizar la jornada laboral al máximo. Las rutas “sobrantes” son reasignadas a otros vehículos que las puedan llevar. El método de reasignación consiste en recorrer primero todos los vehículos que ya tienen rutas asignadas y ver si son compatibles con las cargas y los clientes que van a servir, y si se les puede por cuestión de tiempo asignar esa ruta. En el caso de que ninguno de los vehículos utilizados pueda llevar la ruta, se busca un vehículo adecuado en el resto de vehículos que aún no tenían rutas asignadas. Nunca quedarán rutas sin vehículo porque una de las condiciones del problema era que hay vehículos de sobra y si falta alguno se puede contratar a más. (En el caso concreto del problema planteado era así, y si se diera el caso de que no quedan vehículos disponibles se puede afirmar que no es materialmente posible ofrecer una solución al problema.) Como ya se ha comentado anteriormente, en el peor de los casos si no se encuentra un vehículo apropiado libre, la ruta queda creada y sin vehículo asignado, pero se puede avisar al personal cualificado de logística para que sea la persona al mando quien decida si se divide la ruta (contemplado este caso) o contratan otro vehículo.

5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La principal conclusión que se puede sacar del desarrollo de este trabajo es la gran complejidad de este tipo de problemas. No ha resultado sencillo optimizar el tiempo de ejecución por la gran cantidad de cálculos que hay que realizar para poder llegar a obtener una solución que, a diferencia de otro tipo de algoritmos en los que se incluye un factor de aleatoriedad, es alcanzada en un tiempo razonable de unos 15 minutos para un ejemplo con datos simulados pero similares a los reales del problema. Cabe destacar que actualmente este problema ocupaba toda la jornada laboral de un experto en logística.

A continuación se muestra una tabla con los datos obtenidos mediante el programa que muestra el número de comprobaciones que se realizan para llegar a la solución óptima y como las mejoras introducidas en el algoritmo reducen drásticamente el número de comprobaciones, llegando incluso a reducir a 0 el número de comprobaciones “inútiles” de ahorros que no se pueden realizar.

Tabla 1. Datos de ahorros mezclas y errores en comprobaciones SIN APLICAR MEJORAS

Número clientes	Ahorros calculados	Mezclas	Rutas	Fallos en ahorros imposibles	Intentos de mezcla fallidos
100	7974	94	7	7911	40
500	202048	473	38	200776	799
1000	809098	942	71	805179	2825
3000	--	--	--	--	--

Tabla 2. Datos de ahorros mezclas y errores en comprobaciones CON ELIMINACION DE RUTAS CERRADAS

Número clientes	Ahorros calculados	Mezclas	Rutas	Fallos en ahorros imposibles	Intentos de mezcla fallidos
100	8015	97	8	6095	6
500	201788	467	37	156760	49
1000	809106	936	69	619044	66
3000	--	--	--	--	--

Como se puede apreciar entre la Tabla 1 y la Tabla 2 se reducen el número de comprobaciones erróneas por errores en ahorros imposibles y también en el número de errores por intentos de mezclas de rutas que sobrepasan el tamaño del vehículo o el tiempo si se mezclan.

Para 3000 clientes no se exponen datos en estas dos primeras tablas porque el tiempo de ejecución del algoritmo se vuelve excesivamente elevado si no se incluyen mejoras.

Tabla 3. Datos de ahorros mezclas y errores en comprobaciones CON TODAS LAS MEJORAS, INCLUYENDO LA ELIMINACION DE AHORROS IMPOSIBLES

Número clientes	Ahorros calculados	Mezclas	Rutas	Fallos en ahorros imposibles	Intentos de mezcla fallidos
100	8055	93	8	0	4
500	201962	467	36	0	31
1000	809046	932	73	0	53
3000	7289400	2791	212	0	886

Como se aprecia en la Tabla 3 el número de comprobaciones por ahorros imposibles ahora se reduce totalmente, por lo que el tiempo de ejecución del algoritmo se reduce drásticamente, además de reducirse levemente el número de intentos de mezcla fallidos.

6. LÍNEAS FUTURAS

Las posibles líneas futuras se centraran en la comparación de resultados obtenidos con el algoritmo implementado con la realidad actual de la asignación de cargas y rutas de vehículos por el personal de la empresa y en el uso de algoritmos genéticos como alternativa de método de optimización.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido co-financiado por la Xunta de Galicia a través del proyecto “**Sistema inteligente para la planificación y distribución de pienso**” financiado por la Xunta de Galicia (PGIDIT07SIN047E).

REFERENCIAS

- [1] P. Toth and D. Vigo. The Vehicle Routing Problem. SIAM, Philadelphia, 2001.
- [2] P. Brandimarte and G. Zotteri. Introduction to Distribution Logistics. Wiley, 2007,
- [3] M.L. Fisher. Vehicle Routing Problem. In M.O. Ball, T.L. Magnanti, C.L. Monma. and G.L. Nemhauser, editors, Network Routing (Handbooks in Operations Research and Management Science, Vol. 8). Elsevier Science, Amsterdam, 1995.
- [4] D. Bertsimas and D. Simchi-Levi. The New Generation of Vehicle Routing Research: Robust Algorithms Addressing Uncertainty. Operations Research, 44:286-304, 1996.
- [5] M.M. Solomon. Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints. Operations Research, 35:254-265, 1987.
- [6] E.L. Lawler, J.K. Lenstra, A.H.G. Rinnooy Kan, and D.B. Shmoys. The Traveling Salesman Problem: A Guided Tour of Combinatorial Optimization. Wiley, NewYork, NY, 1985.
- [7] E. Aarts and J.K. Lenstra. Local Search in Combinatorial Optimization. Wiley, NewYork, NY, 1997.
- [8] F.W. Glover and M. Laguna. Tabu Search. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1997.
- [9] G. Clarke and J.W. Wright. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. Operations Research 12: 568–581, 1964.

INTEGRATION AND AUTOMATION OF MULTI-METHODOLOGICAL ALGORITHMS FOR ROUTING PROBLEMS ARISING IN FLEXIBLE PASSENGER PUBLIC TRANSPORT SYSTEMS

Joaquim Vitor Oliveira¹, Maria Sameiro Carvalho¹ and José Telhada¹

¹Departamento de Produção e Sistemas
Universidade do Minho, 4710-058 Braga, Portugal

ABSTRACT

Traditional public transport systems for passengers are based on services of fixed schedules and routes. In general, these systems are suitable for high demand levels, but they are inappropriate for low and dispersed demand areas, e.g. rural areas. In an attempt to overcome this inadequacy, it has been designed and implemented worldwide some alternative transport systems with flexible schedules and routes. These systems are known by Demand Responsive Transport (DRT) systems.

In general, DRT systems are much more complex to manage than fixed-route fixed-schedule systems, both at the strategic and operational levels. At the strategic level, it requires much bigger care in designing the most rational level of flexibility of their services; such level of flexibility highly influences the future viability of DRT systems both financially and economically. At the operational level, the system requires, among many other duties, the duty of meeting supply to demand, expressed by the necessity of computing dynamic routing according to passengers' calls. In order to be effective and efficient, this is only possible by making use of advanced intelligent information and communication systems, including automatic attendance of calls and application of real-time routing procedures.

In this paper, the different types of routing problems arising in DRT systems are enumerated and analysed in terms of their most relevant and promising solution methods. The paper goes on, by describing the methodological fundamentals of a new integrated model (ASTRA) that is under development. The ASTRA tool integrates an adequate set of both exact and heuristic routing algorithms and different but complementary graphical environments for visualising the solutions and support decision-makers. This includes the use of geographic information technologies and advanced informatics technologies such as data warehousing and interactive portal. Finally, the paper presents and discusses the performance of this new modelling approach in the resolution of some routing problems, clearly exposing its main advantages and potential for usage in real cases.

Palabras chave: Flexible Public Transport, Vehicle Routing, Intelligent Transportation System.

1. INTRODUÇÃO

A mobilidade representa, nos dias de hoje, um aspecto determinante para a qualidade de vida das populações, tendo-se tornado tanto num factor decisivo para a competitividade das regiões como também para a promoção da coesão territorial e social.

Simultaneamente, com o acréscimo de deslocações, verificou-se uma perda significativa da quota de mercado do transporte colectivo em relação ao transporte individual. Uma consequência deste facto foi o decréscimo da oferta de transporte público tradicional, principalmente nas áreas rurais ou de baixa densidade populacional, uma vez que as empresas operadoras de transporte colectivo tradicional não obtinham lucro e assim deixavam de actuar nessas áreas.

De forma a colmatar a falta de transporte público de passageiros, será aqui proposto um sistema que dará apoio a um sistema de transporte alternativo que seja mais eficaz e capaz de responder, em tempo real, à procura existente. O transporte flexível tem, como principal característica, a criação de percursos dinâmicos e livres de qualquer horário fixo.

O transporte flexível também se distingue do transporte tradicional no maior uso que faz das novas tecnologias de informação e comunicação, sendo este um factor crítico e decisivo para o desempenho e sucesso por parte do transporte. Por exemplo, o uso de sistemas de informação geográfica (SIG) permite identificar as coordenadas dos pontos a ser visitados, assim como a obtenção de distâncias e outras informações sobre os caminhos, áreas e população. A tecnologia de planeamento destaca-se pela sua importância na determinação do percurso e do veículo a usar, sendo estes os principais responsáveis pelo custo atribuído ao transporte. Por último, as tecnologias de informação e comunicação são importantes para manter um excelente relacionamento entre os clientes e o (gestor do) sistema, sendo também com esta tecnologia que se desenvolverá a comunicação e actualização dos pedidos.

O artigo está organizado da seguinte forma: na Secção 2 é descrito o problema e as suas principais características, que permitem distinguir diferentes sistemas de transporte alternativos. Na Secção 3 é descrito o modo de funcionamento do sistema proposto. Na Secção 4 são apresentados os métodos e os algoritmos implementados na aplicação. Na Secção 5 são apresentados de forma visual os percursos resultantes da aplicação de alguns algoritmos. Por fim na Secção 6 são indicadas algumas considerações sobre o transporte flexível.

2. DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O problema consiste em desenvolver um sistema de transporte público de passageiros flexível, isto é, um sistema de transporte a pedido, também conhecido a nível internacional pela designação de “demand responsive transport” (DRT), que responde em tempo real à procura. O transporte flexível é orientado para o utilizador, sem estar sujeito a todas ou algumas das seguintes obrigações: percurso, localização das paragens e horários fixos (Fonseca, Paisana, Gaivoto, Carvalho, & Telhada, 2005), utilizando para tal veículos de pequena e média dimensão e operando em modo partilhado de acordo com as necessidades de embarque e desembarque dos passageiros (energie-cites, 2002). Uma forma eficaz de garantir este serviço é a integração e a interacção entre os clientes e a central coordenadora, baseando-se em tecnologias de informação e comunicação (Frosini, Huntingford, & Ambrosino, 2004).

O uso de diversas tecnologias por parte do sistema de transporte flexível implica uma análise sobre cada tecnologia que possa ser usada, e o custo que cada uma acarreta para o sistema. Outro factor importante a ter em atenção, é a interacção que deverá existir entre todas as tecnologias usadas. Sendo este um sistema que deverá ter o máximo de autonomia, a interacção é um factor decisivo para o sucesso do sistema.

Uma das principais funções do sistema é o planeamento de rotas. Aqui existe um conjunto de métodos exactos e heurísticos que podem ser utilizados, mas o problema principal é o de identificar qual ou quais dos métodos a usar face às várias tipologias de pedidos. A utilização sistematizada de métodos exactos não é uma solução viável para ser aplicada devido ao tempo de computação demasiado longo de que estes métodos necessitam para chegar à solução óptima. Também não podemos esquecer que os pedidos podem chegar a qualquer momento, o que implica que uma solução encontrada poderia passar a não ser a melhor solução. Por outro lado, as heurísticas têm a sua própria especificidade e por isso não se podem aplicar ao problema geral.

Na comunicação entre o sistema e os clientes surgem diversos problemas tais como: o envio correcto dos dados quando se efectua um novo pedido e a apresentação de um contacto válido e útil, pois é através deste contacto que se fará a comunicação entre o cliente e sistema. Outro problema são os clientes que não se encontram capacitados para o uso da tecnologia, apresentando-se assim como um entrave para a utilização do sistema.

A flexibilidade do sistema tem como base alguns critérios que afectam o desempenho, principalmente pelas limitações referentes às políticas adoptadas. Entre estas encontram-se as políticas de serviço e de frotas. A política define, em muito, o processo de construção da aplicação e o processo de selecção dos métodos a serem usados.

No que se refere aos parâmetros das políticas de serviço do transporte flexível, as janelas de tempos são aquelas que mais afectam a flexibilidade do sistema, uma vez que estas, ao deverem ser cumpridas, diminuem o espaço de soluções válidas para os problemas de rotas. Para além das janelas temporais, o tempo que cada cliente pode viajar pode afectar a flexibilidade. Os locais exactos onde se pode parar também definem outra dimensão da flexibilidade do sistema. Assim, o sistema mais flexível de busca e entrega é aquele em que as paragens são as suas próprias casas (serviço porta-a-porta). O sistema menos flexível é aquele em que se usam as paragens estipuladas para o transporte tradicional. Obviamente, também se poderá definir uma flexibilidade intermédia, onde as paragens não são as casas dos utilizadores nem as paragens tradicionais, mas sim locais predefinidos, combinados entre o sistema e os clientes, permitindo-lhes andar muito menos a pé.

Finalmente, a composição e disponibilidade (pontual) da frota de veículos também afecta a flexibilidade do sistema. Quanto maiores forem os veículos, em média, menor é a flexibilidade do sistema. O número de veículos disponíveis de cada tipo pode condicionar significativamente o desempenho do sistema.

3. ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DRT

Nesta secção pretende-se explicar de que forma os clientes devem proceder para efectuar os diversos pedidos, através de tecnologia que pode ser usada para tal.

Desde logo, é essencial distinguir os pedidos pela antecedência com que são efectuados. Quando os pedidos são feitos com antecedência superior a um tempo mínimo estipulado pelo sistema, os pedidos podem ser efectuados e alterados através de três sistemas diferentes, que são: sistema de voz, mensagem escrita ou através do portal Web do sistema.

Quando os pedidos são efectuados pelo sistema de voz (telemóvel, telefone, voip, etc.), isto é, ligando directamente para a central coordenadora, estes são atendidos por recepcionistas que efectuam os pedidos para os clientes através do uso de aplicação informática que dará o apoio à gestão do sistema. Para este tipo de pedidos, o conhecimento sobre o modo de funcionamento do sistema pode ser básico porque o recepcionista faz a pergunta de forma a preencher os dados necessários sobre o pedido. Os campos já se encontram semi-preenchidos com os valores predefinidos, mas que vão alterando segundo a instrução desejada pelo cliente.

Quando se efectua um pedido por mensagem escrita, os clientes já devem conhecer o modo de funcionamento do sistema. Neste caso, os clientes devem indicar o código de cliente, o identificador do local de início e de fim da viagem pretendida e a hora a que deve ser realizada. Os restantes campos são preenchidos automaticamente com os valores estipulados pela empresa prestadora do serviço e os clientes devem ter conhecimento de quais são esses valores.

Os clientes podem ainda efectuar os seus pedidos através do portal Web do sistema, desde que estejam registados. Neste caso, os pedidos são efectuados pelo preenchimento de um registo e da indicação da origem e do destino, de forma interactiva, através de um mapa disponibilizado pelo módulo de SIG.

A alteração dos pedidos pode ser efectuada por qualquer um dos sistemas anteriores, e em qualquer altura, desde que não ultrapassem o tempo mínimo estabelecido pelo sistema. A definição do tempo mínimo para “reserva” de serviço tem duas finalidades: (1) garante ao cliente a sua execução, segundo um predeterminado nível de serviço; (2) permite ao sistema efectuar um planeamento dos serviços muito mais eficiente.

Os pedidos ficam guardados em base de dados até à fase de planeamento das rotas, onde se aplicam os métodos que irão ser mencionados seguidamente. Após o planeamento, é necessário informar os motoristas das rotas que deverão efectuar, e informar também os clientes dos horários previstos. A informação sobre o horário previsto pode ser efectuada com alguma antecedência, dependendo de há quanto tempo foi feita a marcação ou por indicação dos clientes. Os pedidos que são efectuados com bastante antecedência (ex, 24 h) podem justificar um duplo aviso por parte do sistema, devendo o último destes ser feito algum tempo antes da hora combinada (ex, 1 h), no sentido evitar esquecimentos ou precaver eventuais desistências não comunicadas. A Fig. 1 ilustra o esquema de funcionamento descrito.

O transporte flexível tem como objectivo responder à procura em tempo real. Assim, os pedidos efectuados “já com os veículos em circulação”, i.e. com uma antecedência inferior ao tempo mínimo de reserva, são tratados de modo diferente ao que foi descrito anteriormente. Em princípio, estes pedidos

(alguns de “última hora”) vão ser objecto de tentativa de inclusão nas rotas já planeadas, através de procedimentos heurísticos automatizados, sendo pois necessário serem validados pela central coordenadora do sistema antes que possam ser admitidos (e, eventualmente, poderão não o ser!). Nestes casos, os pedidos só poderão ser feitos através do sistema de voz, pois deverão ser informados quase de imediato se podem ou não embarcar. Basicamente, a inclusão de novo pedido numa rota já estabelecida vai depender do quanto este afectará os pedidos já aceites, se infringirá ou não as condições mínimas de serviço a que o sistema deverá obedecer. O método de solução usado para verificar esta situação tem de ter um tempo de execução computacional muito curto, permitindo assim dar uma resposta “imediate” ao cliente. Se o cliente for aceite, o processo de (re)planeamento da rota afectada continua de imediato para reajustar e informar dos novos tempos de embarque dos clientes por onde o veículo ainda não tenha passado.

Em qualquer uma das situações anteriores, sempre que se verifica alguma alteração no horário dos clientes, estes são automaticamente informados da alteração efectuada. A informação é contínua e automaticamente actualizada no portal Web do sistema, encontrando-se sempre disponível para consulta.

4. MÉTODOS DE SOLUÇÃO

Uma parte fundamental do problema passa pelo planeamento de rotas. Na abordagem ao problema pode utilizar-se métodos exactos ou métodos heurísticos e meta-heurísticos. A escolha do método a aplicar, em cada caso, depende da tipologia dos pedidos e do tempo disponível para chegar a uma solução.

O primeiro passo a ser feito é a tradução do pedido em termos de uma tipologia de rede, pois os métodos têm como base essa tipologia. Tendo em conta que se pretende determinar a(s) rota(s) para um conjunto de n pedidos, a numeração dos nodos é construída da seguinte forma: os nodos de 1 até n correspondem aos locais de origem, de $n+1$ até $2n$ correspondem aos locais de destino, o nodo 0 corresponde ao local onde se encontra o veículo e o nodo $2n+1$ representa o local de desembarque do último cliente do percurso. O custo do nodo final é nulo. O custo de cada arco é calculado com base no deslocamento dos veículos entre os pontos reais. Quando os veículos são alugados ou é pedido a outro operador para realizar o serviço, o custo desta operação fica associado aos arcos que saem do nodo 0 .

5. EXEMPLOS NUMÉRICOS

Os resultados apresentados seguidamente foram obtidos através da aplicação ASTRA. Esta aplicação realiza automaticamente a divisão de um dado problema de rotas de acordo com diferentes tipologias dos pedidos, seleccionando e aplicando automaticamente o(s) algoritmo(s) de resolução mais adequado(s) a cada um dos sub-problemas. Os resultados são apresentados na forma de relatórios de texto e na forma gráfica, utilizando para isso o sistema de visualização georreferenciado do maps.google.com.

As tipologias de pedidos (deslocações) mais frequentes são as seguintes: (1) deslocações a partir de vários pontos para um ponto comum; (2) deslocações dentro de uma mesma (pequena) área; (3) deslocações de diversos pontos para uma mesma (pequena) área; e (4) restantes casos que não se encaixam nas tipologias anteriores.

A tipologia (1) resulta de se ter conjunto de clientes dispersos, mas que pretendem deslocar-se para o mesmo ponto, como é o caso dos estudantes nas suas deslocações para a escola, dos empregados para uma dada empresa, os membros da população para a feira semanal, etc. Neste caso, a heurística de Clark & Wright é muito eficaz na determinação de boas soluções de rotas. A heurística apresenta soluções que visitam os vários pontos (sem os repetir), utilizando para isso um conjunto de veículos, que iniciam e terminam os seus percursos num mesmo local. Com se disse, a heurística pode ser aplicada quando os clientes estão dispersos e pretendem deslocar-se para um ponto comum, mas também na situação inversa, i.e. quando os clientes estão num mesmo ponto e pretendem ir para pontos diversos e dispersos. A Fig. 2 apresenta a solução encontrada para a situação de 19 clientes e utilizando pelos menos 3 veículos. A Fig. 3 mostra os percursos que deve ser seguindo pelos motoristas, comparado o tempo entre o percurso mais curto e o percurso a ser executando. Na mesma figura indica o número de pessoa que se encontra no veículo durante a viagem, sendo o resultando gráfico apresentado na Fig. 2

A tipologia (2) pode resultar de uma imposição colocada pela central coordenadora ou pela empresa proprietária da frota de veículos pontualmente disponíveis, pela qual só é permitido atender pedidos cujas deslocações se confinem a uma determinada área. Pode ser também o resultado de uma grande mobilidade dentro de uma pequena área e com janelas temporais muito restritivas. Nestes casos, será escolhido, com grande probabilidade, um método de resolução exacto baseado em programação dinâmica, pois a respectiva formulação apresentará poucos estados. Também por isso, usar uma abordagem de programação dinâmica é geralmente mais eficaz, em termos de tempo de computação, do que usar outro tipo de abordagem analítica (ex, PLI) com um método de resolução exacto. Esta tipologia enquadra-se dentro do problema SDARP–*Single Dial-a-Ride Problem*, sendo este uma simplificação do *Dial-a-Ride Problem* (DARP), na medida em que considera a utilização de um único veículo, reduzindo assim significativamente o número de variáveis a formular.

Quando se verifica um número significativo de pedidos de deslocações entre duas áreas distintas, isso pode possibilitar a afectação de veículos para efectuar o(s) percurso(s) entre elas. Neste caso, o problema da rota(s) é decomposto em dois sub-problemas, um para cada área, em que os métodos de resolução a aplicar podem ser diferentes e resolvidos em paralelo, reduzindo assim o tempo de computação respectivo. Na Fig. 4 podem identificar-se duas áreas distintas que se encontram separadas por um rio, existindo uma única travessia próxima. Para cada uma dessas áreas, pode então haver um processamento em paralelo. Outra situação deste tipo poderá ocorrer quando os pedidos usam a mesma estrada (ou estrada paralela), no mesmo sentido, para ir de uma área para outra área diferente bastante distanciadas entre si. Verificando-se uma grande mobilidade entre estas duas áreas, isso possibilita a afectação de veículo “dedicado” para efectuar essa deslocação, podendo assim simplificar-se a obtenção das melhores soluções de percursos nos embarques e nos desembarques dos passageiros.

As deslocações para os centros urbanos mais próximos (vilas ou cidades) são geralmente aquelas que geram o maior número de pedidos por parte das populações das áreas rurais. Por outro lado, há que ter em atenção que os centros urbanos apresentam uma característica diferente, em relação ao trânsito, relativamente às estradas rurais: o congestionamento a certas horas do dia. Assim, enquanto no espaço rural se usam essencialmente as distâncias e as velocidades médias entre pontos (ex, na minimização dos custos), no espaço urbano será mais adequado aplicar metodologias (ex, para determinar “os caminhos mais curtos”) que incorporem a morosidade devida aos referidos congestionamentos. No exemplo da Fig. 5 pode verificar-se a dispersão do ponto no interior e exterior do centro urbanos e assim entender melhor a escolha tomada. Uma metodologia simples que é possível e aconselhável incorporar consiste num modelo de previsão de tempos de percurso do tipo extrapolativo (ex, média exponencial ou ARIMA) baseado nas séries temporais de tempos verificados ao longo dos dias, em determinados períodos.

Finalmente, deve referir-se que nem todos os pedidos se enquadram nas situações descritas e ilustradas anteriormente. Nestes casos, tenta-se que o sistema seja o mais eficiente possível, tendo em conta o tempo necessário para efectuar o planeamento. O planeamento atempado é efectuado maioritariamente através da resolução de sub-problemas menores com métodos exactos, favorecendo-se a aplicação de procedimentos do tipo “*cluster-first, route second*” quando o número de pedidos é grande.

6. CONCLUSÕES

No desenvolvimento de um sistema que integre e automatize os diferentes algoritmos de criação de percursos e a tecnologia para responder, em tempo real, à procura por um serviço de transporte flexível de passageiros, deve ter-se em conta um conjunto de considerações e aspectos críticos, de forma a garantir que o sistema a implementar seja eficiente, eficaz e viável.

A utilização de Sistema de informação geográfica (SIG) que tenha uma actualização constante e que permite a modificação automática é uma mais-valia para o sistema de transporte flexível. Este sistema permitem além de consulta de dados sobre as estradas, populações, a visualização de dados analíticos e estudo sobre a procura de mobilidade, entre outros. O SIG e o GPS permitem a visualização simultânea de todos os pedidos (O/D), movimentação de veículos e percursos previstos, em tempo real, dando aos gestores operacionais uma perspectiva integrada de todo o sistema e a sua dinâmica, possibilitando-os de tomar decisões com maior facilidade e confiança nos resultados das suas acções (ex, de regulação).

A Web é cada vez mais o meio de comunicação entre as empresas e os clientes. O uso de um portal Web possibilita aos utilizadores do sistema DRT uma forma diferente de efectuar os seus pedidos e de verificar o respectivo estado a qualquer momento. O desenvolvimento do portal Web tem como base a integração de diferentes tecnologias informáticas, das quais se destacam o php e o javascript para a construção, um sistema de base de dados, a incorporação de sistemas SIG, entre outras.

O sucesso de um DRT depende significativamente da flexibilidade e facilidade de formulação dos pedidos e alterações de serviço por parte dos clientes. Deste modo, os meios de comunicação entre estes e a central coordenadora devem ser variados e baseados nas mais modernas tecnologias disponíveis, incluindo o portal Web, SMS, e comunicação por voz para um atendimento mais personalizado e gerador de confiança mútua. O sistema de apoio automatizado inteligente deve ser simultaneamente eficaz, eficiente, e rápido em dar resposta pronta às solicitações da procura. Este mesmo sistema de apoio (*software*) deve ter a capacidade de escolher automaticamente o(s) melhor(es) método(s) a aplicar em cada caso particular, permitindo agilidade no planeamento.

Agradecimento

O artigo apresentado resulta do trabalho desenvolvido no âmbito de projecto de investigação científico sobre Sistema Alternativo de Transporte para Áreas Rurais (ASTRA) que foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT).

REFERÊNCIAS

- Babo, A. P. (2008). Abrangência de Soluções de Transportes Alternativos. *Mobilidade Sustentável e Transportes Públicos*. Vila Real.
- Bodin, L. D. (Jul. - Aug de 1990). Twenty Years of Routing and Scheduling. *Operations Research*, 38(4), pp. 571-579.
- Bolin, L., Golden, B., Assad, A., & Ball, M. (1983). Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of. *Computers and Operations Research*, 10(2).
- Cordeau, J., Gendreau, M., Laporte, G., Porvin, J., & Semet, F. (08 de May de 2002). A guide to vehicle routing heuristics. *Journal of the Operational Research Society*, pp. 512 - 522.
- energie-cites. (3 de Setembro de 2002). www.energie-cites.org. Obtido em 25 de Março de 2009, de Procura de Serviços de Transporte Fiáveis: (PTFs): Autocarro Pessoal - Toscana: http://www.energie-cites.org/db/firenze_569_pt.pdf
- Fonseca, C. C., Paisana, J., Gaivoto, C., Carvalho, M. d., & Telhada, J. (2005). *Estudo Integrado da Mobilidade e do Sistema de Transporte Públicos de Passageiros do Vale do Cávado*. Braga.
- Frosini, P., Huntingford, J., & Ambrosino, G. (2004). *Multi-services agency for the integrated management*. Obtido em 31 de Março de 31, de www.istiee.org: [http://www.istiee.org/te/papers/N28/06%20\(pg.%2034-43\)%20frosini_AGATA.pdf](http://www.istiee.org/te/papers/N28/06%20(pg.%2034-43)%20frosini_AGATA.pdf)
- Mackay, M. (2005). Demand Responsive Transport. *European Conference on Sustainable Goods and Passenger Transport*.
- Mageean, J., & Nelson, J. D. (December de 2003). The evaluation of demand responsive transport services in Europe. *Journal of Transport Geography*, 11, pp. 255-270.

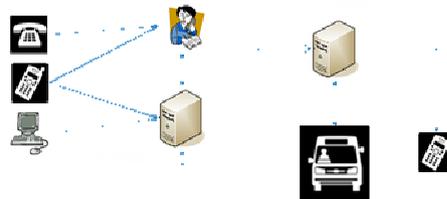


Fig. 1) Esquema de Pedido

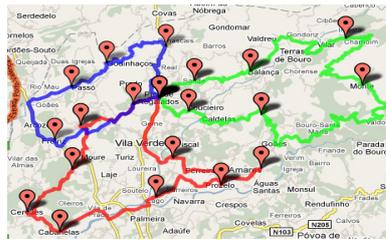


Fig. 2) Deslocação Para um Ponto

Simulador ASTRA

Lista Pedido | Simular Pedido | Novos Clientes | Janela Temporal | Restrição | Percursos

Atualizar | Quinta-feira, 30 de Julho de 2009

ID Percurso	Partida	Destino	Data Partida	Data Chegada	Tempo Caminho Mas Cuiço	Diferença de data	Nº Clientes no Veículo
133	43	86	30-07-2009	30-07-2009 10:15	00:05:00	10:15:00	0
133	86	68	30-07-2009 10:15	30-07-2009 10:25	00:08:00	00:10:00	1
133	68	68	30-07-2009 10:25	30-07-2009 10:32	00:06:00	00:07:00	2
133	68	76	30-07-2009 10:32	30-07-2009 10:43	00:10:00	00:11:00	4
133	76	41	30-07-2009 10:43	30-07-2009 10:55	00:12:00	00:12:00	5
133	41	43	30-07-2009 10:55	30-07-2009 10:58	00:02:00	00:03:00	8
133	43	43	30-07-2009 10:58	30-07-2009 10:58	00:00:00	00:00:30	7
133	43	43	30-07-2009 10:58	30-07-2009 10:59	00:00:00	00:00:30	6
133	43	43	30-07-2009 10:59	30-07-2009 10:59	00:00:00	00:00:30	4
133	43	43	30-07-2009 10:59	30-07-2009 11:00	00:00:00	00:00:40	3
135	43	27	30-07-2009	30-07-2009 9:35	00:18:00	09:35:00	0
135	27	9	30-07-2009 9:35	30-07-2009 10:07	00:32:00	00:32:04	1
135	9	5	30-07-2009 10:07	30-07-2009 10:22	00:15:00	00:14:59	3
135	5	90	30-07-2009 10:22	30-07-2009 10:39	00:16:00	00:16:59	4
135	90	39	30-07-2009 10:39	30-07-2009 10:52	00:10:00	00:12:59	7
135	39	43	30-07-2009 10:52	30-07-2009 10:58	00:05:00	00:05:59	8
135	43	43	30-07-2009 10:58	30-07-2009 10:58	00:00:00	00:00:30	7
135	43	43	30-07-2009 10:58	30-07-2009 10:59	00:00:00	00:00:30	5
135	43	43	30-07-2009 10:59	30-07-2009 10:59	00:00:00	00:00:30	4

Fig. 3) Tempo de percurso e Lotação



Fig. 4) Deslocação entre 2 áreas

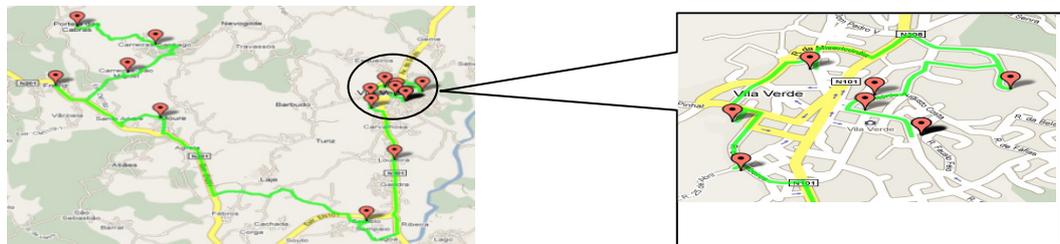


Fig. 5) Deslocação para pequeno centro

A flexible optimization tool for inbound flows in a 2nd TIER automotive industry

Lia C. Oliveira¹, Manuel Figueiredo² y Rui Lima³

1 Porto University – Engineering Faculty; INESC Porto; MIT|Portugal Program.

2 y 3 University of Minho, Engineering School, Production and Systems Department.

ABSTRACT

Nowadays, industrial organizations have to focus their efforts on the control and reduction of operational costs as a way to face growing market competition. In particular, the automotive industry has seen a constant evolution on production and logistic processes as a natural result of this increased global competition.

This study is concerned with the reduction of logistics costs. Particularly, we present an algorithm intended to reduce costs associated to the transport of raw materials from suppliers (Inbound Flows) in a TIER2 of the automotive industry. The reduction of these costs has a positive and relevant impact on the company competitiveness making product prices more attractive to consumers. We developed a heuristic based approach for solving the Vehicle Routing Problem (VRP) which can be described as the problem of designing optimal routes to transport raw materials from a substantial number of suppliers spread across Europe to the company situated in the North of Portugal. The algorithm elaborated has three phases: cluster formation, initial definition of routes, and implementation of a procedure designed to evaluate, change and improve the initial solution.

The work developed intends to give an innovative contribution in this area of research. The results obtained suggest that important reductions can be achieved on both, transportation costs and distances traveled. Moreover, the algorithm allows a more flexible answer to market changes (e.g. addition of a new supplier; variation of the quantities to collect, etc.).

Keywords: Logistics; Supply Chain Management; Routes; Vehicle Routing Problem; Clusters; Flexibility.

1. INTRODUÇÃO

A Indústria Automóvel tem sofrido diversas transformações no processo produtivo e na sua estrutura logística de forma a responder à crescente competitividade, internacionalização, avanços significativos na tecnologia, fragmentação do mercado e diminuição dos ciclos de vida dos produtos. A Logística é entendida por muitos autores como o motor que impulsiona o desenvolvimento e funcionamento dos outros sectores das empresas, é considerado como vital para o bom funcionamento global (Carvalho 1996; 2004).

Neste contexto observa-se uma crescente preocupação com a redução dos custos que decorrem desta actividade, tendo surgido o interesse de um grupo multinacional fornecedor de componentes para indústria automóvel (estruturas metálicas de assentos para automóveis). Esta empresa é classificada como sendo de segundo nível na cadeia de abastecimento (TIER 2), visto que recebe matéria-prima e produz componentes para automóveis (estrutura metálica do banco) que por sua vez são transformados em módulos completos pelos fornecedores de primeiro nível (banco de automóvel).

O principal objectivo deste trabalho consiste em reduzir/optimizar os custos Inbound, isto é os custos de transporte de matéria-prima do fornecedor até à fábrica através do aumento de flexibilidade do processo que define as de rotas de transporte, aplicando um modelo que permita equacionar diversas variáveis que interferem no funcionamento do fluxo logístico. A flexibilidade que se pretende alcançar consiste na habilidade para adaptar, mudar ou transformar com o mínimo prejuízo no tempo, custos, recursos e desempenho. Ao aumentar a flexibilidade do sistema é possível responder com mais facilidade à entrada/saída de fornecedores dos circuitos e às flutuações que existem nas quantidades encomendadas, adaptando os circuitos de recolha de matéria-prima às necessidades reais da empresa.

O transporte consiste na movimentação eficiente de produtos de um ponto de origem até um ponto de destino minimizando todo o tipo de recursos envolvidos. Este serviço permite estabelecer a ligação entre a produção e os armazéns e acrescenta valor ao produto desde que tenha um correcto planeamento (o cliente está disposto a pagar para receber o produto no prazo estabelecido e sem que este se encontre danificado).

O planeamento de transportes tem como principais objectivos a selecção do modo de transporte, a monitorização, a gestão das tarefas logísticas a ele associadas, determinação de preços, definição de escalas e de rotas. Este planeamento compreende 5 fases distintas: definição do plano de entregas; comparação de custos e taxas que decorrem da aquisição de frota própria e da subcontratação; selecção do modo de transporte mais adequado; definição de escalas (pontos de passagem/paragem) e rotas (sequência); preparação da documentação que tem de acompanhar a carga durante o transporte. (Carvalho, 2004).

O correcto dimensionamento de uma rede de transportes é fundamental e tem de ter em consideração a satisfação dos objectivos da empresa (influência dos custos), assegurar a satisfação da procura dos clientes, decidir entre uma frota própria ou subcontratada, estabelecer parâmetros para negociação com transportadoras e definir quais os indicadores de desempenho que irão ser usados para avaliar a eficiência de transportes. Para analisar esta eficiência devem considerar-se os factores determinantes para o estabelecimento da estrutura de custos de transporte: distância (a curva de distância-custo não começa na origem e tem um aumento decrescente); volume (preço por unidade de peso decresce com o aumento de volume); densidade (preço de transporte por tonelada diminui com o aumento da densidade de carga); manuseamento (necessidades de equipamento especializado); responsabilidade (seguros); regresso em vazio.

Com o presente estudo, como já referido, pretendeu-se otimizar a rede de transportes associada aos fluxos Inbound existentes na empresa, aumentando a flexibilidade associada ao processo de elaboração de circuitos. Deste modo, foram tidos em conta os seguintes aspectos: redução dos custos; optimização de rotas/escalas; entregas nos prazos estabelecidos; minimização de danos e perdas.

2. PLANEAMENTO DE ROTAS

Os problemas de estabelecimento de rotas de veículos são dos mais abordados na área da optimização combinatória. Na sua versão elementar consistem em determinar um conjunto de rotas de veículos visitando um determinado conjunto de locais (fornecedores/clientes), partindo de um determinado ponto e regressando ao mesmo, minimizando a distância total percorrida (minimização dos custos) e garantindo que cada local será visitado exactamente uma vez. Na resolução deste tipo de problemas atribui-se a cada veículo um conjunto de locais que deverá visitar e a configuração da respectiva rota.

Neste trabalho, o problema caracteriza-se por transportar mercadorias entre os fornecedores e a empresa, sendo conhecidas as quantidades a transportar, o número de veículos disponíveis e as respectivas capacidades, as localizações dos fornecedores e do armazém. Deste modo, estamos perante um Problema de Optimização de Rotas de Veículos, também conhecido por Vehicle Routing Problem (VRP). Este tipo de problemas encontra-se presente nos mais diversos sectores da indústria, desde a distribuição de mercadorias ou serviços a clientes, recolha de resíduos urbanos ou industriais, distribuição de combustíveis, recolha de mercadorias nos fornecedores, entre outros.

Os problemas de Optimização combinatória por vezes encontram um entrave à sua resolução (intratáveis computacionalmente) que consiste na impossibilidade de serem resolvidos por um algoritmo do tipo P (Complexidade Polinomial). Estes problemas podem ser resolvidos em tempo polinomial recorrendo a uma máquina não determinística e enquadram-se na classe NP (Não determinístico em tempo Polinomial). Nesta classe existe um grupo designado de NP-difíceis (do inglês NP-hard), ao qual pertencem os problemas de optimização de rotas de veículos (VRP). Estes são caracterizados por ordem de complexidade exponencial, ou seja, o grau de complexidade para a sua resolução cresce exponencialmente com o tamanho do problema (número de fornecedores). Na prática este grupo de problemas constitui um entrave à obtenção da solução óptima, pelo que a escolha reside em algoritmos heurísticos.

Os algoritmos heurísticos são métodos de resolução aproximada que não garantem a obtenção de uma solução óptima mas de uma aproximada (uma boa solução) com um esforço computacional aceitável. Este grupo subdivide-se em três tipos de métodos (Freire, 2008; Pelizaro, 2000):

- Heurísticas Construtivas: consiste em definir uma rota adicionando um ponto de cada vez. Exemplos: Algoritmos de “Poupanças” e do “Vizinho Mais Próximo”;
- Heurísticas de Duas-fases: desenrola-se em duas etapas distintas, agrupar os pontos de recolha e definir rotas para cada grupo ou definir uma rota global e depois agrupar.
- Heurísticas de Melhoramento: existem três tipos que merecem referências, a Heurísticas 2-OPT (Intra ou Inter rotas), 3-OPT e Swap.

Com base nestes tipos de heurísticas, Pelizaro (2000) refere um trabalho de Bodin et al. (1983) em que se procede à classificação das estratégias para obter soluções para os VRP considerando sete modelos diferentes, de entre os quais se destacam 3 (no âmbito do presente caso de estudo):

- Agrupar – Definir Rota (Heurística de Duas-Fases): Consiste em começar por agrupar os nós/arcos de passagem e depois construir rotas económicas para cada agrupamento (Custo mínimo do problema do Caixeiro Viajante). Este agrupamento têm em consideração a proximidade geográfica e o acto de cada grupo possuir um conjunto de restrições.

- Programação Matemática: consiste em algoritmos que assentam numa formulação matemática de VRP.
- Optimização Interactiva: caracterizado pela elevada intervenção humana durante o processo que origina a solução do problema.

Dado o tipo de problema em análise, propõem-se o agrupamento de fornecedores por zonas (estão distribuídos por toda a Europa), seguido da aplicação de um algoritmo que permita definir rotas dentro de cada agrupamento.

2.1 Etapa 1: Agrupar em Clusters

Como já foi referido, a estratégia adoptada define como primeira etapa de abordagem do problema a definição de *Clusters*, que consiste em agrupar um conjunto de entidades que respeitem uma dada restrição ou que possuam algo em comum. No algoritmo em estudo pretende-se agrupar os fornecedores pelo tipo de Incoterm, quantidades a recolher e pela sua proximidade geográfica.

Os *Incoterms* (*International Commercial Terms*) consistem numa legislação que permitiu homogeneizar internacionalmente os termos dos contratos de compra e venda e dividir responsabilidades entre exportadores e importadores. Na publicação *Incoterms2000* são considerados 4 grupos num total de 13 Incoterms, sendo cada um representado por 3 letras. Estes têm em consideração o tipo de transporte, quem entrega a mercadoria, onde é entregue, até onde vai o risco do comprador e do vendedor, a responsabilidade nos custos e os documentos que devem ser emitidos/elaborados.

Entre os vários métodos de Clustering analisados não se encontrou um que permitisse alcançar de forma exacta os objectivos pretendidos. Deste modo, construiu-se uma estrutura baseada nos algoritmos de agrupamento e que respeita as restrições e necessidades do problema.

2.2 Etapa 2: Definir as Rotas

Para a definição das rotas em cada *Cluster* optou-se por direccionar a análise para o conhecido Problema do Caixeiro-viajante (PCV), embora a estrutura do algoritmo não siga de forma rígida as suas heurísticas.

Uma boa abordagem para este tipo de problemas, devido à sua simplicidade de estruturação, pode ser o recurso a heurísticas. Exemplos são a Inserção de Menor Custo (Heurística da Inserção Mais Barata), a Heurística de k-Permutação, a Heurística do Vizinho Mais Próximo.

Estas foram devidamente analisadas optando-se pelo uso da heurística do Vizinho Mais Próximo para a definição das rotas em cada cluster. Esta possui uma estrutura de funcionamento simples e produz bons resultados. A primeira etapa consiste em definir um qualquer vértice para ponto de partida, de seguida selecciona-se o vértice mais próximo do último vértice visitado e este é acrescentado ao percurso (repete-se enquanto existirem vértices por visitar) o término desta heurística consiste em ligar o último vértice ao vértice inicial.

No caso da definição de rotas em *Round Trip* (circuito que retorna ao ponto de partida – fábrica - após visitar um dado conjunto de pontos - fornecedores) o vértice inicial e final serão sempre coincidentes com depósito, seja qual for a rota, sendo estabelecida ligação com cada cluster até que todos os fornecedores desse cluster se encontrem alocados a uma rota. Esta alocação é limitada pelas quantidades de recolha associadas a cada fornecedor (restrição de capacidade dos veículos). O passo seguinte consiste em repetir o mesmo procedimento para cada agrupamento definido até que todos os fornecedores de cada um dos *Clusters* se encontrem numa rota.

No caso dos circuitos em *Single Trip* (circuito que se verifica apenas num sentido, ou seja, entre o fornecedor e a fábrica ou vice-versa) o vértice inicial e final não devem coincidir (são diferentes), o inicial deverá ser o mais distante do depósito (vértice final) sendo depois escolhido o mais próximo do vértice inicial e quando as restrições forem atingidas a ligação deverá ser estabelecida com o depósito. Este procedimento difere da heurística do Vizinho Mais Próximo mas baseia-se no seu princípio de funcionamento.

3. PROPOSTA DE PROCEDIMENTO DE OPTIMIZAÇÃO

Nesta secção pretende-se explicar a estratégia desenvolvida para responder aos objectivos deste trabalho, ou seja, a estrutura do modelo construído.

3.1 Recolha de Dados

No que respeita à recolha de dados, esta é fundamental e deve ser devidamente estruturada e ponderada de forma a possibilitar a disponibilidade de todo o tipo de dados necessários para o funcionamento do algoritmo bem como para a avaliação da sua proposta de solução.

No presente caso de estudo, a recolha de dados foi inicialmente estruturada sob a forma de tabelas e posteriormente completada analisando dados quantitativos disponíveis na empresa ou mesmo através de observação dos circuitos. Este processo foi estruturado em 3 etapas, nomeadamente: a recolha de informação genérica (Fases 1 a 4); de informação relativa ao modelo de funcionamento actual (Fases 5 e 6); informação sobre a nova configuração dos circuitos (Fases 7 e 8). Apresenta-se na Tabela 1 a descrição de cada uma das fases.

Tabela 1: Descrição das várias fases

	Fase	Descrição
Etapa1	1	Recolha de dados sobre os fornecedores: nome, morada de recolha, país.
	2	Matriz de Distâncias: tabela simétrica que contempla as distâncias entre todos os pontos de passagem.
	3	Recolha de informação acerca do tipo de <i>Incoterm</i> estabelecidos com os fornecedores.
	4	Recolha de informação sobre as quantidades a recolher em cada fornecedor e construção de um ficheiro que possibilita a previsão mensal das quantidades (Kg e m3) a recolher por semana.
Etapa2	5	Elaboração de um ficheiro onde constam todos os circuitos existentes, os fornecedores que compõem cada um, as suas frequências semanais e o tempo de trânsito.
	6	Para cada circuito determinaram-se os quilómetros percorridos e os respectivos custos.
Etapa3	7	Definição da estruturação dos dados que a primeira etapa do algoritmo deverá fornecer para cada <i>cluster</i> : fornecedores a ele alocados; matriz de distâncias entre todos os fornecedores que o compõem; tabela com todas as características relevantes para a execução da segunda etapa (etapa automatizada).
	8	Para cada <i>cluster</i> indicar a sequência de recolha, a quantidade total recolhida por viagem, os quilómetros percorridos e os custos associados.

No presente trabalho apenas se pretendem abordar os fluxos entre o fornecedor e o depósito da empresa, por esta razão o fluxo de distribuição de vazios é desprezado. Neste seguimento para a determinação dos quilómetros, custos e frequências considera-se que todos os circuitos são em ST (Single Trip – circuitos sem retorno ao ponto de origem).

4. ESTRUTURAÇÃO E DESCRIÇÃO DO ALGORITMO

Para atingir os objectivos propostos optou-se por elaborar um algoritmo que contemple as características do sistema logístico em estudo. O seu funcionamento contempla três etapas diferentes: agrupamento em clusters (Etapa 1), definição inicial de rotas (Etapa 2) e a implementação de um procedimento de melhoria (Etapa 3) que permite avaliar, alterar e melhorar os resultados obtidos. Para obter o output, que consiste nas rotas que devem ser implementados para minimizar os custos totais de transporte das matérias-primas dos fornecedores para o depósito da empresa, é necessário um input constituído pelos dados recolhidos nas fases 1 a 4.

4.1 Etapa1: Agrupamento em Clusters

O processo de formação de clusters encontra-se estruturado em cinco passos sequenciais que reduzem progressivamente o número de fornecedores a analisar simplificando a complexidade exponencial que caracteriza os VRP. Para a formação de clusters desenvolveu-se uma aplicação em Microsoft Excel VBA (Visual Basic for Application) em que se implementou um algoritmo constituído pelos passos descritos nos próximos parágrafos.

Passo 1 – Agrupar os fornecedores segundo o seu *Incoterm* em dois grupos distintos: DDP (os fornecedores é que pagam todos os custos de transporte, deste modo não é necessário analisá-los) e GA (todos os fornecedores que implicam custos de transporte).

Passo 2 – No grupo GA estabelecem-se dois grupos baseados num critério quantitativo, especificamente, se o número de volumes recolhidos por semana for inferior a 4, o fornecedor será alocado no grupo LT¹ (quando a quantidade a levantar é reduzida é preferível optar por atribuir a recolha a uma plataforma logística² ou a uma empresa de transitários), caso contrário o seu destino será o grupo FR.

Passo 3 – O grupo FR é subdividido em países, deste modo, são criados tantos clusters quanto o número de países onde se encontram localizados fornecedores.

Passo 4 – Construção de uma matriz de distâncias para cada um dos grupos formados no passo anterior e a indicação das quantidades totais a recolher.

Passo 5 – O grupo LT deverá ser dividido em dois grupos: LTA (para fornecedores localizados na Alemanha) e LTO (para os outros fornecedores).

¹ LT – Logística Transitário – A gestão logística dos fornecedores incluídos neste grupo fica á responsabilidade dos transitários que trabalham com a empresa.

² Plataforma Logística consiste numa zona especificada de transporte, de distribuição e de agregação de valor aos produtos (a menor custo). Esta encontra-se situada estrategicamente permitindo a articulação das cadeias de transporte e de fluxos logísticos numa única área.

Após executar os cinco passos descritos, o processo de definição de *clusters* encontrar-se-á concluído e deverão ser calculados dois valores: o somatório dos pesos a transportar numa semana por *cluster* e o somatório do respectivo volume/dimensão.

Estes valores deverão ser divididos pela capacidade de um veículo (24000 kg e 89.96 m³) com o objectivo de determinar se se justifica pelo menos um camião por semana para o *cluster* em análise (a taxa de ocupação deverá ser superior a 90%).

No caso de respeitar estas condições, torna-se viável construir rotas apenas no grupo de fornecedores que constitui o *cluster* em análise, se tal não se verificar os *clusters* deverão ser sujeitos a avaliação/alocação apenas na terceira etapa. Para tal são transferidos para o grupo LT' (grupo adjacente a LT) e terão prioridade de análise devido às quantidades que são transportadas semanalmente. Após a conclusão desta etapa deverá iniciar-se a etapa de definição de rotas.

4.2 Etapa2: Definição de Rotas

A segunda etapa consiste em definir rotas para cada um dos *clusters* finais formados na etapa anterior (excepto LTO, LTA e DDP). Para tal irá recorrer-se a um procedimento constituído por três sub-etapas distintas: aplicação de uma aproximação à Heurística do Vizinho Mais Próximo com o objectivo de definir os fornecedores de cada circuito, determinação da sua frequência, e avaliação da sua viabilidade.

A estrutura da primeira sub-etapa é muito próxima da que define a Heurística do Vizinho Mais Próximo e encontra-se estruturada em três passos.

Passo 1 – O ponto de partida da rota deverá ser o depósito da empresa, este deverá estabelecer ligação com o ponto mais próximo incluído num dado *cluster*, que ainda não tenha sido visitado.

Passo 2 – Enquanto existirem vértices não visitados no *cluster* em análise e a distância máxima permitida entre dois fornecedores consecutivos (150 quilómetros, excepto Portugal onde não deverá ultrapassar 50 quilómetros) não for violada deverá ser acrescentado o vértice mais próximo do último visitado.

Passo 3 – Voltar ao Passo 1 até visitar todos os pontos de todos os *clusters* em análise.

No final desta etapa obtêm-se uma primeira proposta para as rotas que devem ser estabelecidas para a recolha da matéria-prima nos vários fornecedores da empresa.

O teste da viabilidade de um circuito recorre a uma folha Excel onde é necessário colocar os valores totais de peso, volumes e dimensão. De forma automática esta calcula o número de veículos (frequência do circuito) necessários por semana para um determinado circuito (divide os valores a transportar pelos limites de capacidade do veículo) e conseqüentemente a taxa de ocupação (permite estudar a viabilidade do circuito). As taxas de ocupação inferiores a 50% encontram-se associadas a um alerta vermelho que indica a inviabilidade do respectivo circuito. Note-se que circuitos com taxa de ocupação superior a 50% passam esta fase, não significando, no entanto, que sejam adoptados pois trata-se apenas de um valor de referência que permite refinar as piores propostas de circuitos. Este tipo de procedimento destina-se a contornar o problema de aumento de valor de stock que iria existir no caso de se considerar que a quantidade necessária por semana de um determinado fornecedor seria recolhida de uma só vez.

4.3 Etapa3: Procedimento de Melhoria

Com base nos resultados obtidos na etapa anterior é executada a etapa final do procedimento. Esta consiste num conjunto de passos manuais que permitem avaliar e melhorar os resultados através da identificação de situações vantajosas constituídas pela possibilidade de incluir fornecedores alocados ao grupo LT, realizar um mix entre *clusters* e/ou alterar parametrizações anteriormente definidas (por exemplo, as frequências de recolha) e tem por base uma análise geográfica e de optimização da capacidade dos veículos. Esta etapa assenta no princípio do método das Poupanças já referido anteriormente.

Procedimento

1. Recorrendo a um mapa de estradas da Europa, assinalar: a localização de todos os fornecedores incluídos nos circuitos elaborados na Etapa 2; no *cluster* LT'; e no *cluster* LT. O objectivo é poder identificar visualmente a sua disposição geográfica.
2. Identificar intersecções entre os percursos dos circuitos e as localizações de LT'.
3. Os restantes fornecedores de LT' serão incluídos no grupo LT.
4. Avaliar as propostas do passo [2] (taxas de ocupação, frequências, número de veículos).
5. Analisar os dados obtidos em [4] e ponderar as vantagens de retirar/acrescentar fornecedores incluídos no grupo LT.
6. Submeter o grupo LT a uma avaliação para definir o seu modo de recolha, por plataforma ou transitário.
7. Construir uma tabela resumo com custos, frequências e quilómetros percorridos para todos os circuitos.

No final desta etapa serão obtidos os circuitos de recolha, quantidade a recolher por circuito, taxas de ocupação, frequência de recolha, nº total de veículos, pontos de pick-up de cada rota, os fornecedores a recolher por cada uma das plataformas e pelo transitário.

3. CONCLUSÕES

Para avaliar correctamente as vantagens do procedimento elaborado, estabeleceu-se uma comparação entre as configurações de recolha propostas com as praticadas anteriormente na empresa. Tal avaliação foi feita em três etapas: definição clara dos indicadores a usar no processo de comparação; recolha dos dados necessários; comparação dos resultados.

Os indicadores considerados mais relevantes foram: quilómetros percorridos, taxa de ocupação, frequência semanal (número de veículos utilizados) e custos de transporte.

Com a referida comparação foi possível concluir que a redução dos custos ronda os 17%, decorrentes, principalmente, da redução dos custos dos circuitos. A taxa de ocupação média dos veículos aumentou 20%, os quilómetros percorridos diminuíam 23% e, finalmente, o número de veículos necessários para efectuar as recolhas diminuiu em cerca de 10%. Estes valores mostram claramente as vantagens do procedimento elaborado.

Em suma, o algoritmo poderá ser utilizado com benefício por parte da empresa alvo de estudo e/ou para outros casos com características idênticas, sendo uma ferramenta eficaz para aumentar a flexibilidade no processo de definição de rotas face às alterações frequentes a que este tipo de sistemas estão sujeitos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ballou, Ronald (2001). Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial. 4ª edição – Porto Alegre.

Bodin, L.D.; Golden, B.; Assad, A.; Ball, M. (1983). Routing and Scheduling of Vehicle and Crews: The state of the arts. Computer and Operational Research. Vol. 9, pp. 63-212.

Carvalho, J. M. Crespo (2004). A Logística da Logística. Edições Sílabo. 1ª Edição – 2004.

Carvalho, Maria do Sameiro (2003). Transparências de apoio à leccionação de aulas teórico-práticas – Módulo de Transportes. Universidade do Minho – Departamento de Produção e Sistemas.

Freire, Cláudio (2008). Computação Evolucionária – Introdução aos Exames Evolucionários. Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia. Data de acesso: 25 de Maio de 2008. Disponível em WWW: http://pattiei.fe.up.pt/grupo_leitura.

Matos, Ana Cristina Bico (pós 2004). Optimização de Rotas: Aplicação à Recolha de Lixo do Concelho de Viseu. Dissertação de Doutoramento – Escola Superior de Tecnologia de Viseu – Departamento de Matemática. Cáp.3, pp. 23-64.

Oliveira, José F.; Moura, Ana (2004). Uma Heurística Composta para a Determinação de Rotas para Veículos em Problemas com Janelas Temporais e Entregas e Recolhas. Revista da Associação portuguesa de Investigação Operacional. Vol. 24, pp. 45-62.

Oliveira, Lia C; Figueiredo, Manuel C; Lima, Rui M; (2009). "Optimização de Fluxos Inbound num TIER2 da Indústria Automóvel", Proceedings do IO2009 - 14º Congresso da APDIO, FCT/UNL, 7-9 Setembro 2009, pp 147-154, ISBN: 978-989-20-1639-9

Oliveira, Lia Coelho (2008). Optimização de Fluxos Inbound num TIER2 da Indústria Automóvel. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho – Departamento de Produção e Sistemas.

Pelizaro, Cláudia (2000). Avaliação de Desempenho do Algoritmo de um Programa Comercial para Roteirização de Veículos. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos.

Rodolfo Dondo; Jaime Cerdá (February 2007). A cluster-based optimization approach for the multi-depot heterogeneous fleet vehicle routing problem with time Windows. European Journal of Operational Research, vol. 176, Issue 3, pp. 1478-1507

Sosa, Nélide; Galvão, Roberto; Gandelman, Dan (2007). Algoritmo de Busca Dispersa Aplicado ao Problema de Roteamento de Veículos. Pesquisa Operacional, vol.27, nº2, pp. 293-310.

Souto, Marcílio C.P. Algoritmos de Agrupamento – Clustering. Data de acesso: 28 de Maio de 2008. Disponível em WWW: www.dimap.ufrn.br.

FLOWCHART SIMULATION – A TOOL FOR THE AUTOMATIC GENERATION OF SIMULATION PROGRAMS

Guilherme A B Pereira¹, Luís M S Dias¹, Bruno L S Ferreira¹

¹Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal

¹gui@dps.uminho.pt, lsd@dps.uminho.pt, brunolsferreira@ieee.org

ABSTRACT

This paper refers to the permanent difficulty in teaching simulation to University students. In particular, as far as discrete event simulation is concerned, teaching and learning approaches usually tend to neglect the full comprehension of simulation basic concepts, often requires some previous knowledge of computer programming and usually focus on syntax details rather than on the foundations of simulation. The main strategy for this work is to enhance the utilization of flowcharts in modeling, based on the Event Scheduling World View. Therefore, a graphical support tool (Microsoft Visio) is used to represent how a system really behaves and will also act as the source for the automatic generation of Visual Basic (VB) simulation programs. The software tool developed - VBS (Visio Basic for Simulations) is able to read customized Visio flowcharts, to interpret them and to automatically generate a VB simulation program.

Keywords: discrete event simulation, event scheduling world view.

1. INTRODUCTION

There is a permanent concern about the way simulation has been taught to university students. The learning process is often based on some previous knowledge of computer programming thus leading to focus on syntax details. (Stäl et al 2003) argue that "...the system should help students to focus on modeling and experimentation, and not on syntax detail...". Furthermore they sustain that "...the simulation language should be fun to learn. Students should be able to do interesting things after a very short period of learning...". Therefore, the creation of a simulation software tool that eliminates any programming effort or expertise is the challenge of this paper.

More specifically, (Schriber and Brunner 2008) convincingly support that "...a "black box" approach is often taken in teaching and learning discrete-event simulation software...". In fact, as far as discrete event simulation is concerned, teaching and learning approaches usually tend to neglect the full comprehension of simulation basic concepts. Again, (Schriber and Brunner 2008) state that "...the foundation on which the software is based is ignored or is touched on only briefly ... The modeler therefore might not be able to think things through when faced with such needs as developing good approaches for modeling complex situations".

Again (Stäl et al 2003) appear with the pertinent question "...who will write future simulation software if nobody understands anything of what's going on under the hood?...".

Most authors like (Pidd 1992), (Nance 1993), (Bennet 1995), (Zeigler 1976), (Ziegler et al 2000), (Brito and Teixeira 2001), (Guasch et al 2002), (Overstreet and Nance 2004) and (Sargent 2004) would refer three classical simulation approaches in Discrete Event Simulation - Event Scheduling World View, Process World View and Activities World View.

In the research here presented the authors concentrate their work on Event Scheduling World View, focusing on helping students to construct their simulation "house", brick by brick, i.e., working explicitly with the foundational concepts of discrete event simulation – events, entities, resources, queues, randomness, future events schedule, simulation time advance, etc...

Event Scheduling World View essentially represents the behaviour of a system over time by means of defining specific events to occur at discrete points in time – these events, planned and executed, would mimic the real system.

Even though with a different approach as shown in (Dias et al 2008), in this work the authors again use Event Scheduling concepts, acting as an automatic generator of simulation programs, thus eliminating any

programming effort and expertise. Previously (Dias et al 2005) have presented a similar procedure, but based in Activity Cycle Diagrams.

The purpose of this paper is then to present a simulation software tool that automatically generates simulation programs (VB programs) through the interpretation of flowcharts models (Visio Flowcharts) that represent each event of the Event Scheduling World View.

2. EVENT SCHEDULING CONCEPTS

Under Event Scheduling paradigm one would define an event as an instantaneous action that might change the state of the system (Guasch et al 2002).

A change in the state of a system would refer to the state of the resources of that system. Each time a resource state changes from busy to free or otherwise, one could say that the state of the system would also change.

Therefore, every instant in time where the state of a system might change would be defined as an instant where a specific event has occurred. At that time, the tasks involved in that event would have to be performed.

These tasks would reflect not only the implementation of the change in the system, as far as resources, queues and flow of entities are concerned (representing physical modifications in the real system) but also logical changes reflecting the planning of future events, recording statistics for future use and also generating random variables to model stochastic behaviour of the real system.

The main strategy of this research work is to enhance the utilization of flowcharts in modeling, thus making it a great contribution to automatic generation of simulation programs, keeping it simple. Therefore, a graphical support tool is used to represent how the system really behaves and will also act as the source for the automatic generation of simulation programs.

Flowcharts are probably the most widely used graphical syntax in behaviour specification (Gilbreth and Gilbreth 1921). The first known mathematical formalization was made by (Nassi and Shneiderman 1973). It can be accepted as a universal visual language, and it can be easily assumed that every professional, in some technical work, has already used it.

(Pidd 1992) and (Tocher 1963), even support the view that when generic programming languages were replaced by specific purpose simulation languages the use of paper diagrams remained as a previous step to programming.

In fact, this paper emphasizes the importance of this step, by proposing a way for automatically translating “paper diagrams” (flowcharts) into a simulation program.

3. EVENT SCHEDULING IMPLEMENTATION

The Event Scheduling simulation philosophy, as previously mentioned, is based upon the identification of events that, together, would represent the mimic of the system under analysis. The identification of each event is complemented with the definition of the tasks to be performed each time an event occurs. These tasks, as far as a discrete simulation approach is concerned, would include:

1. Managing queues (removing/inserting entities from/in queues)
2. Managing resources utilization (either seizing or releasing resources)
3. Recording statistics (for future evaluation of performance indexes, i.e., average waiting time in queue, average queue length, average resource utilization, etc.)
4. Generating random variables
5. Managing future events schedule and simulation time advance

Basic Simulation Facility – BSF (Thesen 1978), constitutes a way of implementing such a representation model for the behaviour of a real system over time. BSF is based on the computer programming concept of managing files. Moreover a file, as far as a simulation systems is concerned could represent:

- the behaviour of a queue, where inserting an entity in a queue would be represented through the insertion of a record on that file and removing an entity from a queue would be represented through the removal of a record from that file
- the state of a resource, where seizing a resource would be represented through the insertion of a record in that file and releasing a resource would be represented through the removal of a record from that file
- the future events list, where planning a future event would be represented through the insertion of a record in that file and executing an event would be represented through the removal of a record from that file

This type of implementation, using an appropriate data structure to accomplish the above features would also be useful to record statistics, using the mentioned files – these tasks would simply involve using some fields of the records of those files in order to register the statistical information needed.

BSF includes the following four routines already developed:

1. INIT – essentially dedicated to the design and initialization of the data structure that supports the simulation

2. INSERT – basically dedicated to the insertion of a record into a file (e.g. the arrival of an entity to a queue, or seizing a resource or even the planning of a future event)
3. REMOVE – basically dedicated to the removal of a record from a file (e.g. the removal of an entity from a queue, or releasing a resource or even preparing the execution of a future event)
4. REPORT – essentially dedicated to the computation of simulation performance measures

These routines, and the associated philosophy, could be found (implemented) in various programming languages (Java, C, VB, Pascal, Excel VBA, etc.). Nevertheless, it is essential to develop a computer program, specifically dedicated to the system under analysis, which would invoke these routines, thus creating a mimic of the system. The development of this computer program, together with the correct utilization of the aforementioned routines, is usually better described (modeled) by the use of appropriate flowcharts for each event identified.

Next section presents a software tool based on flowcharts, built and founded on key issues of the Event Scheduling philosophy, which automatically generates a simulation computer program to mimic the real system.

4. SOFTWARE TOOL DEVELOPED

The relevancy of creating a simulation software tool capable of generating a simulation program (VBS – Visio Basic for Simulations) is based on the following general principles/premises:

1. event scheduling world view definitely contributes to a better understanding of the foundations of simulation, i.e., the basic concepts of simulation
2. VBS would emphasize the utilization of a visual approach to deal with the representation of the real problem through the event scheduling paradigm
3. VBS would literally enable the automatic generation of a simulation program (VB program) thus with no programming effort at all

VBS would then use the well known graphical editor Microsoft Visio for incorporating the event scheduling flowcharts representing each event. This task would be accomplished through the creation of new Visio Shapes. These new shapes together with the respective parameters would reflect the different tasks involved in each event identified. VBS (in fact being an Add-in created in Microsoft Visio) would then interact with Visio, interpreting the shapes and tasks associated, as well as the sequence of shapes to be “executed”. At the end, this means that the effort to run simulation experiments through this tool would be equivalent to building event scheduling flowcharts on a piece of paper.

In fact, through VBS a flowchart for each event will be created and a main flowchart will coordinate the execution of each event flowchart.

For each type of task, the software tool includes the following Visio Stencils (Figure 1) and the corresponding Visio Shapes with respective parameters:

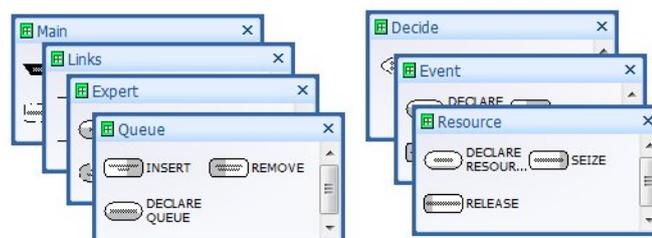


Figure 1: Visio Stencils Created

Queue Stencil, for managing queues – Shape Insert (inserting an entity in a Queue) and Shape Remove (removing an entity from a queue). Shape Insert (

Figure 2) includes parameters: Queue Id; Priority. Queue Id refers to the identification of the queue where an entity is going to be inserted and Priority represents the rule to sequence entities in a queue (FIFO is the default rule). Shape Remove includes only parameter Queue Id. In the Queue Stencil there is also available a shape to declare a queue.

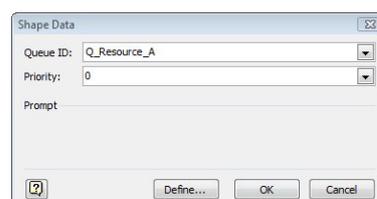


Figure 2: Shape Insert

Resource Stencil, for managing resources utilization - Shape Seize (seizing a resource) and Shape Release (releasing a resource). Shape Seize (Figure 3) involves parameters: Resource Id; Resource to be Freed at Time. Resource Id identifies the resource to seize and Resource to be Freed at Time identifies the future instant in time when this resource is going to be freed. Shape Release includes only parameter Resource Id. In the Resource Stencil is also available a shape for declaring a resource.

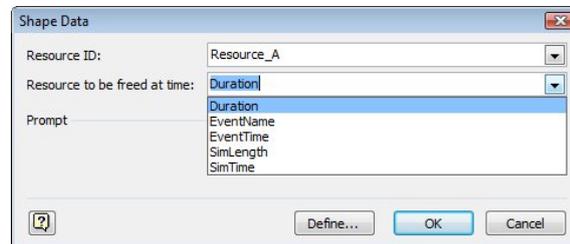


Figure 3: Shape Seize

Event Stencil, for managing future events schedule and simulation time advance – Shape Plan (planning future event to occur, inserting information on the Future Events List), Shape Identify (identifying next event to occur, reading information from the Future Events List) and Shape Execute (transferring the execution of the program to the corresponding flowchart of the next event to be executed). Shape Plan (Figure 4) includes parameters: Event Id; Event to Occur at Time. Event Id identifies the event to be planned and Event to Occur at Time refers to the future instant in time when this event is going to occur. Shape Identify includes parameters: Next Event Id; Next Event Time. Next Event Id identifies next event to occur and Next Event Time identifies future instant in time when the event will occur. Shape Execute has no parameters. In the Event Stencil there is also a shape for declaring an event.

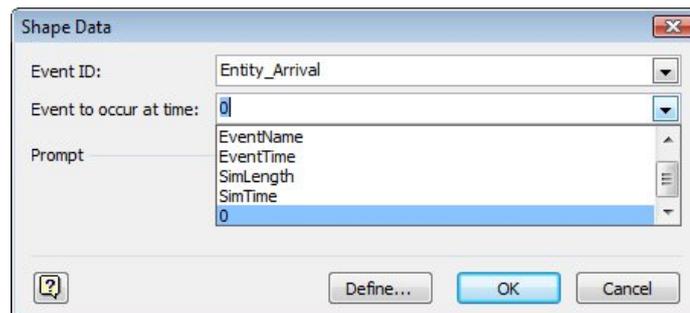


Figure 4: Shape Plan

Expert Stencil, for performing mathematical operations and for comparing its results - Shape Assign (to perform operations with variables and expressions and also for generating random variables from statistical distributions with respective distribution parameters), and Shape Decide (to compare different values).

In Event Scheduling World View there is frequent need to identify if a resource is free or if a queue is empty. The tool developed includes a shape for each of the situations above. In fact, Decide Stencil includes, for these purposes, Shape Free (Resource free?) and Shape Empty (Queue empty?). Shape Free and Shape Empty only includes a parameter to identify, respectively, the corresponding resource and queue.

Additionally, every shape needs to be linked to other shapes. There is also a set of Link shapes for that purpose. These shapes include the straight link between shapes, but also output decision links from decision shapes – True and False outputs following a decision point.

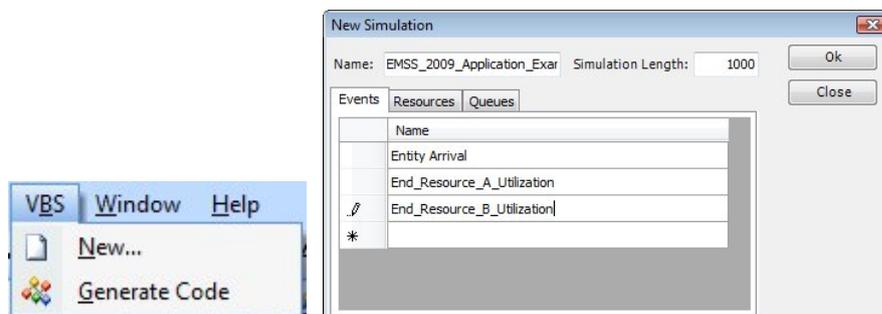


Figure 5: VBS Menu and Wizard

Finally, and for software implementation purposes, there are also shapes for activating the main program as well as for activating each event. At the end of each event – after executing all the tasks for that event, a Return shape is used to direct program execution back to the main flowchart. This flowchart, at the end of the simulation, uses the shape Report to compute some statistical indicators for evaluating the system performance.

VBS also includes a Wizard (Figure 5 above) that automatically initializes the Flowchart Model, creating the Main Flowchart for Event Scheduling events coordination and creating a Visio sheet for each event declared. This Wizard allows the user to predefine events, queues, resources and also the definition of the simulation length.

The user should then model each event, dragging and dropping the corresponding shapes to the model. After this modeling process the user must then select option *Generate Code* and VBS will automatically generate VB code accordingly.

The VBS has a built-in debugger that checks modeling errors but also programming errors and shows appropriate error messages.

As far as this simulation tool is concerned, one could say that VBS promotes the interaction between Visio shapes and VB (Visual Basic), interprets each shape and its corresponding parameters and generates VB computer code accordingly. Figure 6 shows general screenshots of the VBS application. At the end, the computer code generated will then be compiled and executed.

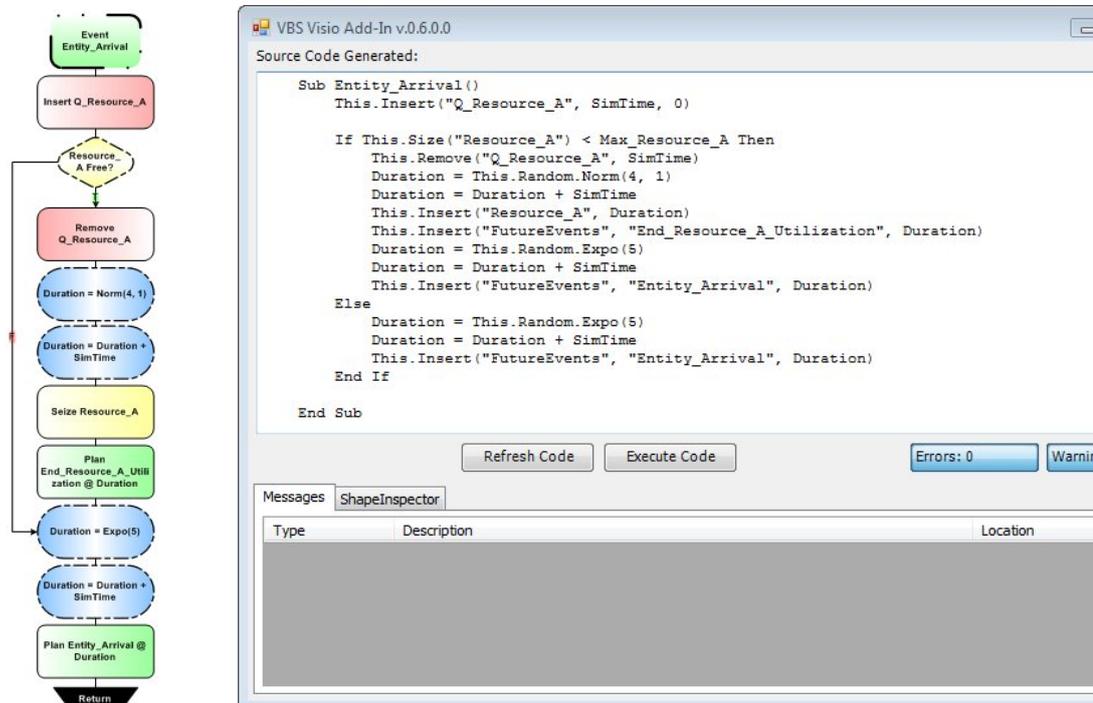


Figure 6: Application Screenshots – Flowchart and generated VB code

5. CONCLUSIONS

The software tool developed shows three particularly interesting features, namely:

- It is based on simple flowcharts that follow Event Scheduling Simulation philosophy
- It automatically generates a VB computer program to perform the mimic of the system under analysis
- It runs the model directly over the flowcharts, producing debugging trace files

These features, together, would contribute to the generalization and a better understanding of the use of simulation, to the comprehension of the foundations of simulation and to the automatic generation of simulation programs.

In brief, it can be argued that the generalization and better understanding of the use of simulation would have been accomplished since the tool herein developed only requires i) expertise on a basic simulation approach: event scheduling, ii) incorporating simple flowcharts that define the system and its functioning rules.

Furthermore, these flowcharts, apart from providing an understanding of the system's behaviour, contribute to the comprehension of fundamental simulation concepts, such as entities, queues, resources and also to a very important simulation concept – the evolution of the state of the system over time.

Finally, these simple flowcharts are translated into the software tool by means of an automatic generation of a computer program that performs the mimic of the system and evaluates the corresponding efficiency measures. The simulation runs over the events' flowcharts, step by step, enabling the user to gradually assimilate concepts while validating his learnings.

REFERENCES

- Banks, J., (2000) Introduction to Simulation, in Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, eds., J. A. Joines, R. R. Barton, K. Kang, and P. A. Fishwick, pp. 9-16.
- Bennett, B. S., (1995) Simulation Fundamentals, Prentice Hall, ISBN 0-13-813-262-3
- Brito, A. E. S. C. and Teixeira, J. M. F., (2001) Simulação por Computador – Fundamentos e implementação de código em C e C++, Publindústria - Edições Técnicas, ISBN 972-98726-2-7
- Dias, Luís M. S., Rodrigues, António J. M. G. and Pereira, Guilherme A. B., (2005) An Activity Oriented Visual Modelling Language with Automatic Translation to Different Paradigms, Proceedings of the 19th European Conference On Modelling And Simulation (ECMS 2005), Riga, Letónia. Ed. Yury Mercuriyev et al, pp. 452-461
- Dias, Luis M. S., Pereira, Guilherme A. B. and Oliveira, José A. V., (2008) Event Scheduling Made Easy: Basic Simulation Facility Revisited, in Proceedings of the European Modeling and Simulation Symposium, EMSS 2008, Lamezia, p. 688-692.
- Gilbreth F.B. and Gilbreth L.M., (1921) Process Charts - First Steps in Finding the One Best Way to do Work. Presented at the Annual Meeting of The American Society of Mechanical Engineers, New York, USA.
- Guasch, A., Pierra, M., Casanovas, J. and Figueras, J., (2002) Modelado y Simulación – Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios. Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Nance, R. E., (1993) A history of discrete event simulation programming languages, in the Second ACM SIGPLAN Conference on History of Programming Languages (Cambridge, Massachusetts, United States, April 20 - 23). HOPL-II. ACM Press, New York, NY, pp 149-175. DOI=10.1145/154766.155368
- Nassi and Shneiderman, (1973) Flowchart techniques for structured programming, ACM SIGPLAN Notices, 12.
- Overstreet, C. M. and Nance, R. E., (2004) Characterizations and Relationships of World Views, in Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, ed. R. G. Ingalls, M. D. Rossetti, J. S. Smith and B. A. Peters, pp 279-287, Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Pidd, M., (1992) Computer Simulation in Management Science. 3rd Ed. John Wiley & Sons, Inc.
- Sargent, R.G. (2004) Some recent advances in the process world view, Winter Simulation Conference, pp 293-299.
- Schriber, T. J. and Brunner, D. T., (2008) Inside discrete-event simulation software: how it works and why it matters, in Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference, eds. S. J. Mason, R. R. Hill, L. Mönch, O. Rose, T. Jefferson and J. W. Fowles, pp 182-192
- Stäl, I., Herper, H., Hill, R., Harmonosky, C. M., Donohue, J. M. and Kelton, W. D., (2003) Teaching the Classics of Simulation to Beginners (Panel), in Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, ed. S. Chick, P. J. Sánchez, D. Ferrin and D. J. Morrice, pp 1941-1951
- Thesen, A., (1978) Computer Methods in Operations Research, New York: Academic Press.
- Tocher, K. D., (1963) The Art of Simulation, UNIBOOKS – English Universities Press.
- Zeigler, B. P., (1976) Theory of Modeling and Simulation, Wiley, New York.
- Zeigler, B. P., Herbert, P. and Tag, G. K., (2000) Theory of Modeling and Simulation: Integrating Discrete Event and Continuous Complex Dynamic Systems, 2nd edition, Academic Press.

CONCEPTUAL MODEL OF THE CONSTRUCTION LOGISTICS NETWORK

Tiago Pinho^{1,2}, José Telhada² and Maria Sameiro Carvalho²

¹Escola Superior de Ciências Empresariais – Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Portugal

²Departamento de Produção e Sistemas – Universidade do Minho, Portugal

ABSTRACT

In the industry, in general, and mainly in the construction industry, delivering efficiently the necessary resources to activities is an essential factor for the success of the business. For such, the internal logistics of a given company plays a crucial role. Similarly, the definition of the most appropriate management model for the supply chain for the case of construction industry is, undoubtedly, the key to guaranty the optimization of the functioning of chain and of the company, itself. Gaining a competitive advantage in the current market, it is only possible through the application of refined logistics efficiency. The tools that assist managers of the supply chain must be adequate to their duties and objectives, and a suitable and reliable information and communication system should be implemented to exchange data among partners. Currently, and appealing to the use of the new technologies (Internet, GPS, GPRS), it is currently possible to exchange a great diversity of information that at some years ago were not. In this paper, we discuss the peculiarities of the construction supply chain, and purpose a conceptual model for it. Finally, we report the application of the model to a case study (company), giving special emphasis to the conception, development and implementation of a web portal, and its positive impact on the logistics performance measures of the company.

Keywords: Supply chain management, Logistics, Construction industry, Conceptual model, Information system.

1. INTRODUÇÃO

Na indústria da construção é comum encontrar diversas áreas de negócio num mesmo espaço a colaborar para um bem comum. A gestão e coordenação dos trabalhos, bem como o fornecimento de bens e serviços é algo de extrema relevância para o sucesso do projecto. Assim, torna-se especialmente importante a rede logística de suporte ao projecto construtivo.

Na União Europeia, o sector da construção é o maior sector da economia, com cerca de 11% do Produto Nacional Bruto (Alarcón *et al.*, 2009). Os custos de operação logísticos ascendem a 5-6 % das receitas das empresas, numa mesma área de negócio (Hoole, 2005). De acordo com o mesmo autor, as empresas com cadeias de abastecimento mais maduras estão a reduzir os seus custos mais rapidamente do que as empresas com cadeias de abastecimento menos maduras, obtendo assim maiores lucros.

As novas tecnologias (por exemplo, a Internet) são utilizadas para a optimização da cadeia de abastecimento, para que as actividades da empresa sejam planeadas o mais de acordo possível com as necessidades dos clientes (Auramo *et al.*, 2002; Gulati and Garino, 2000). As mesmas podem ser utilizadas como ferramentas de trabalho para uma potencial internacionalização da empresa, pois permitem fazer uma monitorização da actividade, sem qualquer restrição de local (Neves e Bugalho, 2008). A Internet possui três atributos muito importantes para qualquer negócio, designadamente, a informação em tempo real, a possibilidade de criar e potenciar relações de parceria e o efeito que essas relações têm para a economia *business-to-business* (O’Keeffe, 2001).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Gestão da Cadeia de Abastecimento (SCM) trata do planeamento, implementação e controlo do fluxo bidireccional, eficiente e eficaz e do armazenamento de materiais, serviços e informação, entre os pontos de origem e de consumo, de forma a satisfazer as necessidades do cliente (CLM, 1999).

Stadtler e Kilger (2000) consideram a SCM como a tarefa de integrar as unidades organizacionais da cadeia de abastecimento, coordenando os fluxos de materiais, de informação e financeiros, no sentido de satisfazer as necessidades do cliente. Vrijhoef (1998) considera a SCM como o estabelecimento, coordenação e manutenção de uma cadeia de abastecimento otimizada, que opera eficaz e eficientemente, preenchendo excelentemente os pré-requisitos e objectivos e envolvendo todos os intervenientes.

Actualmente, a logística estende-se a toda a cadeia de abastecimento, a montante e a jusante da empresa, a fornecedores e mercados, ultrapassando os limites da empresa (Carvalho e Filipe, 2006).

Assim, as principais actividades logísticas são (Dias, 2005):

- Gestão global de stocks de matérias-primas, produtos acabados, semi-acabados e em vias de fabrico;
- Gestão de aprovisionamentos diversos e complementares;
- Gestão da manutenção de equipamentos de produção, movimentação, veículos de transporte, etc;
- Gestão da circulação e manutenção de embalagens vazias (contentores, paletes, etc.);
- Gestão de grupagem e desgrupagem, consolidação e desconsolidação de mercadorias;
- Gestão da componente de serviço a clientes que trata do prazo de entrega e da entrega no local adequado com as condições físicas adequadas;
- Atendimento a clientes;
- Gestão de transportes;
- Gestão de canais logísticos, para cada segmento de mercado;
- Gestão física de armazéns e de outras plataformas de retenção;
- Recepção e acompanhamento de encomendas;
- Colocação de encomendas a fornecedores;
- Agregação e integração do planeamento em colaboração com a gestão da produção;
- Manutenção dos SI/TI de suporte;
- Gestão de devoluções, salvados, recuperação de embalagens, etc.

De um modo geral, a cadeia de abastecimento é composta por cinco elementos fundamentais, nomeadamente (Pinto, 2006):

- Operações: capacidade, qualidade e volume de artigos a fornecer;
- Inventário: materiais que têm de ser geridos ao longo de toda a cadeia;
- Localização: pontos de venda ou contactos com o cliente;
- Transporte: tipos e modos de transporte para a satisfação do cliente;
- Informação: necessidade de informação correcta e actualizada para a gestão da cadeia de abastecimento.

A SCM na construção pode ser encarada como a rede de instalações e de recursos e actividades que proporcionam valor acrescentado ao cliente final, nas funções de design do projecto, gestão de contractos, aquisição e aprovisionamento de materiais e serviços, produção e entrega de matérias-primas e gestão das instalações e recursos (Love *et al.*, 2004).

A Gestão da Cadeia de Abastecimento na construção é o processo de gestão estratégica de fluxos de informação, actividades, tarefas e procedimentos, envolvendo várias redes da organização e relações bidireccionais para a entrega (fornecimento) de produtos e serviços de construção com qualidade entre as empresas e o cliente final, de uma maneira eficiente. Um aspecto importante na cadeia de abastecimento na construção civil é a utilização de uma enorme variedade e quantidades diferentes de materiais, desde materiais em bruto, como sendo, areias, saibro, brita, pedras, entre outros, até à utilização de produtos semi-acabados, ou produtos que ainda terão algum processamento em obras, por exemplo, o cimento, o tijolo, as cerâmicas, etc. Existem ainda os produtos de alta tecnologia e alto valor acrescentado, como por exemplo, os elevadores ou os sistemas de energias renováveis. Estima-se que possam ser utilizados mais de 2000 tipos de itens de materiais diferentes (Cruz, 2002).

O conceito de SCM tem vindo a ser incorporado na construção de uma forma faseada e algo lenta. A inércia é geralmente atribuída a diversos factores, de entre os quais se destacam (Strategic Forum, 2005):

- A dificuldade em identificar quem beneficia com as potenciais melhorias;
- A fragmentação dos projectos (obras) e o recurso frequente à subcontratação;
- As obras são encaradas como projectos únicos (*on-off*) de curta duração;
- A falta de transparência no custeio (as decisões são essencialmente baseadas no fluxo de tesouraria da empresa);
- A informação transmitida entre os diversos intervenientes da cadeia logística não é exacta;
- A falta de confiança dos gestores das obras no desempenho da logística do fornecimento.

O mesmo estudo (Strategic Forum, 2005) identifica ainda os problemas logísticos mais comuns na construção, como sendo: a gestão ineficiente e a falta de controlo nos armazéns, a deficiente coordenação da expedição, as altas taxas de devolução de materiais e de equipamentos (muitas vezes, em mau estado de conservação), as constantes alterações nos planos de trabalhos e a ineficiência dos sistemas de informação existentes. Uma má gestão logística provoca frequentes derrapagens nos custos produtivos e logísticos, arrastamento dos prazos de concretização das diversas fases dos projectos (obras), aumento dos riscos de segurança e da fraca qualidade da construção, podendo ainda contribuir para uma má imagem de algumas empresas deste sector de actividade.

A indústria da construção é específica, no sentido em que existem determinados problemas que lhe são particulares, nomeadamente (Lantelme e Formoso, 2000):

- A indústria da construção é orientada ao projecto: o produto é, normalmente, único em termos de design e condições de construção; é necessária a implementação de uma organização temporária para a realização do projecto (desde uma simples reorganização interna até a um consórcio de empresas);
- Os projectos de construção tendem a ser extremamente complexos: existe uma enorme variedade de materiais e componentes envolvidos, diversos intervenientes estão envolvidos no processo e o produto final tem um enorme número de atributos de desempenho.

Na bibliografia, encontram-se diversos casos de estudo relacionados com a melhoria da cadeia de abastecimento na indústria da construção (Fleury and Lavalle, 1995; Shapiro et al., 1997; Wegelius-Lehtonen and Pahkala, 1998; Childerhouse et al., 2003; Ala-Risku and Karkkainen, 2006), bem como a implementação de sistemas integrados de gestão da cadeia de abastecimento (Björk, 1994; O'Brien, 1999; Zegarra, 2000; Zhang et al., 2001; Sey et al., 2002; Quayle, 2003; Favilla and Fearn, 2005; Wilhelm, 2005). Estes autores referem, essencialmente, a necessidade de uma relação próxima entre empresas, nomeadamente, com os fornecedores e subcontratados, de forma a garantir que a comunicação flua sem erros nem constrangimentos. As parcerias com os fornecedores permitem uma agilização dos processos de gestão, tornando-os mais eficazes e eficientes (Akintoye *et al.*, 2000).

De referir que existem autores que consideram que a criação de uma cadeia de abastecimento na construção civil é uma utopia, sendo praticamente impossível a criação da mesma (Olsson, 2000). Outros, ainda, dizem que através de pequenas vitórias se pode melhorar a cadeia a níveis bastante aceitáveis de funcionamento (Vrijhoef *et al.*, 2001).

3. MODELO CONCEPTUAL

Para a definição de um modelo conceptual é necessário identificar claramente todos os intervenientes da rede logística. Assim, pode identificar-se os seguintes elementos da cadeia de abastecimento:

- Fornecedores - podem ser de matérias-primas (cimentos, areias, tijolos, blocos) ou podem ser já de produtos semi-acabados (portas, janelas, etc.);
- Subcontratados ou Subempreiteiros - geralmente incluem material e serviço, por exemplo, colocação de tectos falsos, colocação da instalação eléctrica, madeiras, etc.;
- Centros Produtivos internos - os exemplos mais comuns são os agregados (areias e britas), os betumes betuminosos, as rochas ornamentais, as madeiras, etc.;
- Produção e Construção - onde todo conflui, ou seja, todos os intervenientes confluem para este local, a obra;
- Cliente Final ou Dono de Obra - o cliente do projecto, que no final da obra irá efectuar a vistoria de aprovação.

Para a coordenação dos trabalhos ao longo do tempo é necessário obter uma visão global do projecto construtivo, de forma a planear os trabalhos de acordo com as necessidades do projecto. Assim, a questão temporal é de elevada importância, pois os fornecedores não efectuem a entrega de todo o material de uma só vez, nem os subcontratados efectuem os todos serviços em sequência.

Os principais fluxos de materiais e de informação existentes, no projecto de construção, ocorrem entre os fornecedores, subcontratados e a obra (Figura 1). A indústria da construção depende de sobremaneira dos seus subcontratados e dos fornecedores de matérias-primas (Dubois e Gadde, 2000).

A gestão de materiais tem como objectivo assegurar um fluxo contínuo, e sem interferências, de materiais à obra, na quantidade solicitada, com a qualidade especificada, no tempo e no lugar certo, ao menor custo total (Zegarra e Cardoso, 2001).

Os aspectos principais na troca de informação associada à logística na indústria da construção civil são (Pinho et al., 2008):

- Fornecimento e controlo de custos de materiais, equipamentos e mão-de-obra - a gestão associada a estas actividades tem de ser bastante precisa, pois a falha de algum dos componentes pode implicar a interrupção/paragem dos trabalhos.

- Contacto com subempreiteiros e fornecedores - Pedidos, consulta de preços, especificações técnicas, etc. (*procurement*, como são actualmente designadas as tarefas de consulta e aquisição de bens ou serviços); - Avaliação de desempenho - a avaliação de fornecedores deve ser efectuada periodicamente.
- Contacto com os clientes - Conta corrente - informação sobre os créditos e débitos dos clientes; - Avaliação de desempenho - é necessário que os clientes efectuem uma avaliação dos serviços prestados pela empresa.

O conceito da rede logística é a ligação em rede de fornecedores e empresas, na melhoria da qualidade da troca de informação entre todos os elementos da cadeia de abastecimento.

Para tal acontecer, é necessário um sistema de informação (SI) de suporte que consiga agregar toda a informação relevante, de todos os intervenientes da cadeia de abastecimento (Figura 2).

A utilização de um sistema de informação e tecnologias de informação (SI/TI) tem um impacto vertical em toda a organização, pois abarca diversas áreas que permite reduzir custos, bem como aumentar a velocidade de transmissão da informação. Além disso, permite a integração de toda a estrutura organizacional, promovendo a competitividade da empresa e melhorando a competitividade. Desta forma, um SI/TI deve ser suficientemente polivalente para conseguir absorver informação proveniente de diversas fontes, nomeadamente, dos utilizadores no interior da empresa, com postos de trabalho fixos, dos utilizadores no exterior com computadores portáteis e PDA e também receber informação de outras aplicações, por exemplo, sistemas de gestão de frota. Este tipo de arquitectura permite uma total flexibilidade e portabilidade à aplicação que está disponível aos utilizadores, pois em termos de sistemas de suporte, é independente da plataforma utilizada.

4. CASO DE ESTUDO

O grupo dst é, essencialmente, um grupo de empresas de construção civil e obras públicas, que tem vindo a expandir-se em diversificadas áreas de negócio, desde o ambiente às redes de novas geração. O centro nevrálgico da logística da empresa é aglomerado num só departamento, pois consegue conjugar as funções de armazém, logística e transportes. Trata-se de um único centro de fornecimento na sede da empresa, que efectua as aquisições para todo o grupo, podendo-se considerar que o tipo de organização é centralizado (Palacios e Formoso, 1995). Os seus principais objectivos são:

- Efectuar a encomenda de materiais aos fornecedores;
- Assegurar que os materiais e equipamentos pedidos pelas obras são satisfeitos dentro do prazo, em boas condições de funcionamento e nas quantidades pedidas;
- Assegurar uma correcta utilização da frota;
- Garantir o correcto armazenamento e manuseamento dos equipamentos no parque de materiais e a preservação dos materiais em stock.

Este centro de apoio é responsável pelas seguintes tarefas principais: processamento das encomendas provenientes dos fornecedores; armazenamento; gestão e controlo dos inventários de materiais; recepção e expedição dos pedidos das obras; gestão da frota de veículos e gestão dos equipamentos.

O portal da empresa transformou-se numa ferramenta essencial para a actividade das obras, pois permite, em tempo real, obter a informação que anteriormente não se conseguia obter, permitindo ultrapassar as desvantagens que existiam anteriormente: má interpretação dos pedidos, excessos de stock, défices no fluxo de informação, etc.

Os pedidos (materiais, equipamentos e transportes) são efectuados no portal da empresa. Esta funcionalidade inclui informação referente ao tipo de pedido, local, data e hora de descarga, material, equipamento ou veículo necessário. Associado a essa informação introduzida pelo utilizador, fica registado quem efectuou o pedido, em que local (através do endereço IP) e a data e hora do mesmo.

A implementação de todos estes novos processos e aplicações gerou um conjunto de significativas mais-valias para a empresa, em virtude da agilização dos processos, pelo que se podem enumerar diversos benefícios, nomeadamente:

- Para o gestor de topo, pode-se claramente identificar uma melhoria na sua metodologia de trabalho, na medida em que este passa a utilizar novas ferramentas de monitorização da actividade dos seus subordinados.
- No caso do gestor de obra é notória a melhoria do serviço, ou seja, a diminuição dos pedidos excessivos e erros nos pedidos, o registo da informação, a melhoria da qualidade e da fiabilidade do fluxo de informação, a informação em tempo real, com os respectivos ganhos de produtividade.
- Aos centros produtivos da empresa, foi possível identificar-se a atribuição de responsabilidades, o registo de toda a informação, o controlo exacto de stocks e a informação em tempo real, bem como a monitorização dos transportes.

- A satisfação dos utilizadores foi outro dos grandes benefícios, pois, ultrapassou-se a barreira da mentalidade, existindo uma maior colaboração dos trabalhadores, de uma forma geral, pois cada um passou a sentir que tinha um papel mais activo em todo o processo.

5. CONCLUSÕES

O presente projecto é um conjunto de “pequenas vitórias” que foram conseguidas ao longo do tempo, mas que no final têm tido um impacto significativo na forma como todos os colaboradores trabalham na organização e no funcionamento e desempenho da própria empresa. Esta nova forma de trabalhar teve um impacto enorme na gestão de existências, pois os armazéns já não necessitam de responder a essas oscilações exageradas. Uma outra vantagem foi a enorme redução verificada no dispêndio de tempo para a execução das tarefas por parte dos utilizadores, permitindo-lhes efectivamente ganhar tempo para gerir as obras. Actualmente, a informação e o seu responsável é claramente identificada, para que não existam erros de interpretação e de comunicação.

É clara a melhoria na eficiência da organização, desde a introdução desta nova ferramenta, com ganhos óbvios no custo da gestão de existências, nomeadamente, na redução de materiais obsoletos e nas menores flutuações dos níveis de existências. Estas melhorias permitem obter uma cadeia de abastecimento mais estável, fiável e flexível, com impactos significativos na política de gestão de compras da empresa, em termos de volume e prazos de entrega das encomendas.

REFERÊNCIAS

- Alarcón, L., Maturana S. e Schonherr I. (2009), Benefits of Using a E-Marketplace in Construction Companies: A Case Study, in *Construction Supply Chain Management Hand book*, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Akintoye A., McIntosh G. e Fitzgerald E. (2000), A Survey of Supply Chain Collaboration and Management in the UK Construction Industry, *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 6, pp 159-168.
- Ala-Risku T. e Karkkainen M. (2006), Material Delivery Problems in Construction Projects: A Possible Solution, *International Journal of Production Economics* 104(1), pp 19–29.
- Auramo J., Aminoff A., Punakivi M. (2002), Research Agenda for e-Business Logistics based in Professional Opinions, *International Journal of Physical Distribution & Logistics*, 32 (7), pp 513-531.
- Björk, B. (1994), The RATAS project - Developing an Infrastructure for Computer Integrated Construction, *Journal of Construction Engineering and Management*, 8(4), 401-419.
- Carvalho J., Filipe J. (2006), *Manual de Estratégia – Conceitos, Prática e Roteiro*, Edições Sílabo, Lisboa.
- Childerhouse, P., Lewis, J., Naim, M. e Towill, D. (2003), Re-Engineering a Construction Supply Chain: a Material Flow Control Approach. *Supply Chain Management: An International Journal*, 8(4), pp 395-406.
- CLM (1999), *21st Century Logistics: Making Supply Chain Integration a Reality*, Council of Logistics Management, <http://www.cscmp.org/>.
- Cruz, A.L. (2002). Método para o Estudo do Comportamento do Fluxo Material em Processos Construtivos, em *Obras de Edificações, na Indústria da Construção Civil*, Tese de Doutoramento - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.
- Dias J. (2005), *Logística Global e Macrologística*, 1ª edição, Edições Sílabo, Lisboa.
- Favilla J. e Fearné A. (2005), *Supply Chain Implementations: Getting It Right*, *Supply Chain Management: an International Journal*, 10/4, pp 241-243.
- Dubois A., Gadde L. (2000), Supply Strategy and Network Effects – Purchasing Behaviour in the Construction Industry, *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 6, pp 207-215.
- Fleury P. e Lavalle C. (1995), *O Estágio de Desenvolvimento da Organização Logística em Empresas Brasileiras: Estudos de Casos*. Tese de Mestrado, COPPEAD/UFRJ, Brasil.
- Gulati R. e Garino J. (2000), Get the Right Mix of Bricks & Clicks, *Harvard Business Review*, May-June, pp 107-114.
- Hoole, R. (2005), Five Ways to Simplify your Supply Chain, *Supply Chain Management: an International Journal*, 10/1, pp 3-6.
- Lantelme E. e Formoso C. (2000), Improving Performance through Measurement: The Application of Lean Production and Organizational Learning Principles, 8th IGL Conference, University of Sussex, Brighton, UK.
- Love P., Irani Z. and Edwards D. (2004), A Seamless Supply Chain Management Model for Construction, *Supply Chain Management: An International Journal*, 9(1), pp 43-56.

- Neves J. e Bugalho A. (2008), Coordination and Control in Emerging International Construction Firms, *Construction Management and Economics*, 26(1), pp 3-13.
- Palacios V. e Formoso C. (1995), Gerenciamento do Setor de Suprimentos em Empresas de Construção de Pequeno Porte, *Gestão da Qualidade na Construção Civil: uma Abordagem para Empresas de Pequeno Porte*, Porto Alegre, Brasil.
- Pinho T., Telhada J. e Carvalho M. (2008), Modelo da Gestão da Cadeia de Abastecimento na Construção, *Revista ENGIUM - Engenharia e Inovação na Universidade do Minho – Guimarães*, 1(1).
- O'Brien W. (1999), Construction Supply Chain Coordination: A Vision for Advanced Coordination, Costing and Control, *Proceedings of Berkeley-Stanford CE&M Workshop: Defining a Research Agenda for EAC Process/Product Development in 2000 and Beyond*.
- O'Keefe M. (2001), Building Intellectual Capital in the Supply Chain – the Role of e-Commerce, *Supply Chain Management: an International Journal*, 6(4), pp 148-151.
- Olsson F. (2000), Supply Chain Management in the Construction Industry – Opportunity or Utopia?, Lund University, Department of Design Sciences, Logistics. Lund, Sweden.
- Pinto J. (2006), *Gestão de Operações – na Indústria e nos Serviços*, Editora Lidel, Lisboa.
- Quayle M. (2003), A Study of Supply Chain Management Practices in UK Industrial SMEs, *Supply Chain Management: an International Journal*, 8, pp 79-86.
- Sey Y., Ciraci M., Kanoglu A., Yaman H e Koksall A. (2002), Information System Analysis for a Large Construction Firm: A Case Study in Turkey, *Architectural Science Review*, 45(4), pp 299-306.
- Shapiro M, Kloosterman S. e Riccardi F. (1997), PerDis – a Persistent Distributed Store for Cooperative Applications, *Proceedings of the 3rd Cabernet Plenary Workshop*, April 1997.
- Stadtler h. e Kilger C. (2000), *Supply Chain Management and Advanced Planning: Concepts, Models, Software and Case Studies*, Springer - Verlag, Berlin.
- Strategic Forum (2005), Improving Construction Logistics, Report of the Strategic Forum for Construction Logistics Group, <http://www.strategicforum.org.uk/index.shtml>.
- Vrijhoef, R. (1998), Co-Makership in Construction: Towards Construction Supply Chain Management, Delft University of Technology/VTT Building Technology, Espoo, Finland.
- Vrijhoef, R., Koskela, L., e Howell, G. (2001) Understanding Construction Supply Chains: an Alternative Interpretation, *Proceedings of 9th IGLC Conference*, Singapore.
- Wegelius-Lehtonen T. e Pahkala S. (1998), Developing Material Delivery Processes in Construction: An Application Example of the Construction Industry, *International Journal of Production Economics*, 56-57, pp 689-698.
- Wilhelm L. (2005), Análise da Adequação do Sistema de Informações para a Logística de Suprimento: os Casos da Intelbras e da Macedo, *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.
- Zegarra S. (2000), Directrizes para a Elaboração de um Modelo de Gestão de Fluxos de Informações como suporte à Logística em Empresas Construtoras de Edifícios, *Dissertação de Mestrado*, Universidade de São Paulo, Brasil.

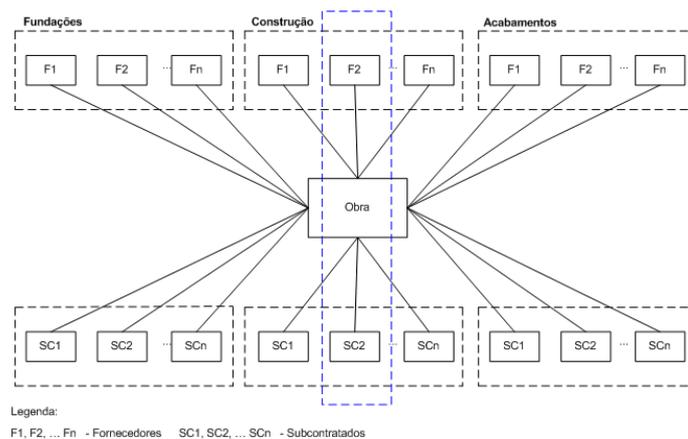


Figura 1: Modelo Genérico dos Fluxos de Materiais para a Obra.

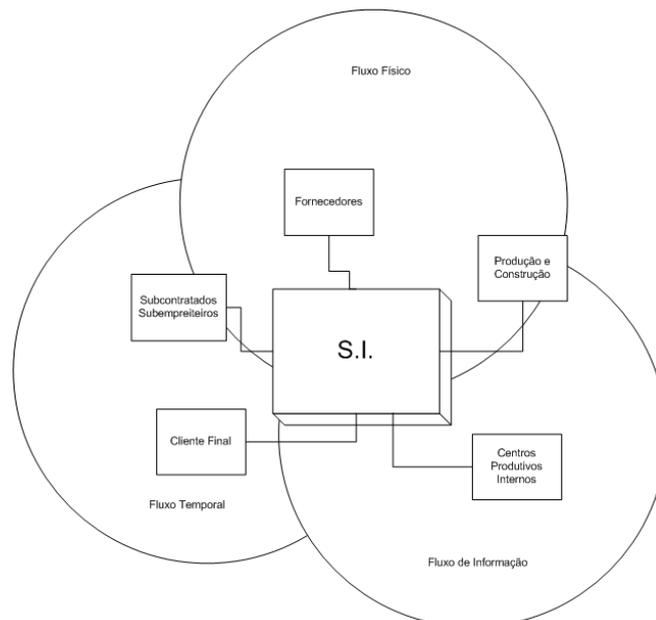


Figura 2: SI como Agregador de Toda a Cadeia de Abastecimento.

A HEURISTIC METHOD FOR THE GENERALIZED ASSIGNMENT PROBLEM

Bruno Silva¹ y José António Oliveira¹

¹ Departamento Produção e Sistemas, Universidade do Minho

ABSTRACT

The Generalized Assignment Problem (GAP) consists of finding the minimal (maximum) cost (profit) assignment of m agents (machines) to n jobs (processes) such that each job (process) is assigned to exactly one agent (machine), subject to capacity restrictions on the agents (machines). We propose a set of neighborhood schemes that are implemented on a Variable Neighborhood Search algorithm. We describe two greedy heuristics for the GAP. Computational results are presented.

Keywords: GAP, Optimization, Heuristics, VNS.

1. INTRODUCTION

The Generalized Assignment Problem (GAP) is a well-know combinatorial optimization problem. It consists on finding an optimal assignment between a set of n jobs to a set of m agents, subject to capacity restrictions on the agents. One of the real-life problems that can be modelled using GAP, is carpooling.

Nowadays we witness a growing concern in public opinion in respect to climatic changes. One of the big contributors to this worldwide problem is greenhouse gases, emitted by millions of vehicles circulating in our cities. Its knowed that a large percentage of the trips made every day, are made by vehicles with only one person inside, the driver. As such, in recent years, many software applications and social-network were created trying to minimize this problem. Well, we tried also. In past year we developed a mobile real-time application to submit to Microsoft Imagine Cup contest. One key difference between our application and the existing ones, was the real-time factor, meaning no previous arrangement between driver and passengers, needed to be done. When a driver wished to offer a ride, he sent a message to the system, the system looked for a passenger match, and a warning message was sent to both passenger and driver. Spite the fact that we stopped the application development, an interesting problem arisen. Has we were using brute force to find a feasible assignment, using tiny instances, and since our objective was to prove the concept behind real-time carpooling, in a real deployment application, how could we find an optimal, or near optimal solution for giant instances?

With this problem in mind, we are making an initial study of GAP and its resolution methods, without using any specific knowledge about carpooling problem. Nevertheless, and despite carpooling complexity and variables, in its simple form, it's easy to describe it as a GAP instance. Find an optimal assignment between a set of n passenger to a set of m vehicles, subject to capacity restrictions on the vehicles. As assignment cost, we can use the distance between vehicle position and the passenger pickup point and destination.

Attending Oncan, GAP is NP-Hard and finding a feasible solution is NP-Complete. This means that exact methods for the GAP can deal only with small instances.

GAP has many applications in real-life. It can be used to model numerous problems, such scheduling, transportation, telecommunication, production planning and so on. As GAP plays an important role in finding optimal or near optimal solutions for real-world applications, methods that archive it in an acceptable computational time should be investigated. There's a lot of literature on the subject, and lots of heuristics and meta-heuristics techniques have been developed. For instance, in meta-heuristics field we have attending Oncan, to name a few, tabu search, simulated annealing, neural networks and ant system.

In present paper we use a Variable Search Algorithm (VNS) heuristic to solve the GAP, first presented by Hansen and Mladenovic. The main concept behind VNS is iteratively alternating various neighborhoods structures during search phase. Thus, neighborhoods structures are a fundamental piece of VNS heuristic.

2. PROBLEM REPRESENTATION

The source data for the GAP problem is represented in two matrixes and one array. Assignment costs are represented in Cost matrix, where position (i,j) represents the cost of assign agent i to job j . Agents resources consumed by jobs are represented in Resources matrix, where position (i,j) represents the resource consumed from agent i by job j . Agents capacities are represented in an array, where the index is the agent and the value contained in that position is the capacity of the agent. A solution for the GAP is represented by an array also. Each position of the array represents the assignment of the job, given by the index, to the agent given by the value in that index.

Agents	0	2	1	2
Jobs (index)	0	1	2	3

Figure 1: Problem solution representation

3. CONSTRUCTIVE ALGORITHMS

FIRST JOB WITH MIMIMUM RESOURCE

For this algorithm we choose the jobs to assign by the order that is represented in the source problem. Afterwards, we assign it to the agent from which it consumes minor resources. If the agent cannot be assigned to a job, due to its capacity limitation, we try to assign the job to the next agent from which it consumes minor resources and so on.

```

procedure FJMR
begin
  for  $j = 1$  to  $n$ 
    pick next job  $j$ 
     $assign\_value \leftarrow MAX\_INT$ 
    for  $i = 1$  to  $m$ 
      pick next agent  $i$ 
       $new\_assign\_value \leftarrow resources[i,j]$ 
      if  $new\_assign\_value < assign\_value$  and agent  $i$  capacity restriction met
         $assign\_value = new\_assign\_value$ 
      assign job  $j$  to agent  $i$ 
       $agents\_capacity[i] += assign\_value$ 
    end
  end

```

Algorithm 1: First Job with Minimum Resource

ORDERED BY RESOURCE CONSUMPTION

On this algorithm, using merge sort, we first order the resources matrix by resource consumption into an array. Following this order, we then try to assign the job to the corresponding agent.

```

procedure ORC
begin
  order all agent job pairs  $(i,j)$  by resource consumption using merge sort into an array
  repeat
    pick next pair  $(i,j)$ 
    if job  $j$  not allocated yet and agent  $i$  capacity constrains met
      assign job  $j$  to agent  $i$ 
    until all jobs  $j$  allocated
  end

```

Algorithm 2: Ordered by Resource Consumption

4. NEIGHBORHOODS

SIMPLE SWAP NEIGHBOURHOOD

This is the first neighborhood used in VNS. Although its simplicity and size, only $O(n)$, it's a first attempt to find some better solution inside VNS before using bigger and expensive neighborhoods. We iteratively swap the job in current position of the array with the job in next adjacent position. Starting from the initial solution presented in problem representation section, the following solutions are produced by this neighborhood:

Agents $\begin{bmatrix} 2 & 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}$	Agents $\begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & 2 \end{bmatrix}$	Agents $\begin{bmatrix} 0 & 2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$	Agents $\begin{bmatrix} 2 & 2 & 1 & 0 \end{bmatrix}$
Jobs 0 1 2 3			
a) swap job 0 and 1	b) swap job 1 and 2	c) swap job 2 and 3	d) swap job 3 and 0

Figure 2: Solutions generated by simple swap neighbourhood

SHIFT NEIGHBORHOOD

The shift neighborhood used in VNS is obtained by reassigning a job to another agent. Since, for the current solution we are reassigning all the existing jobs to all the existing agents, the size of this neighborhood is $O(mn)$.

Starting from the initial solution presented in problem representation section, the following solutions are produced by this neighborhood:

Agents $\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 2 \end{bmatrix}$	Agents $\begin{bmatrix} 2 & 2 & 1 & 2 \end{bmatrix}$	Agents $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}$	Agents $\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 2 \end{bmatrix}$
Jobs 0 1 2 3			
a) reassign job 0 to agent 1	b) reassign job 0 to agent 2	c) reassign job 1 to agent 0	d) reassign job 1 to agent 1
Agents $\begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 & 2 \end{bmatrix}$	Agents $\begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 2 \end{bmatrix}$	Agents $\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 0 \end{bmatrix}$	Agents $\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 1 \end{bmatrix}$
Jobs 0 1 2 3			
e) reassign job 2 to agent 0	f) reassign job 2 to agent 2	g) reassign job 3 to agent 0	h) reassign job 3 to agent 1

Figure 3: Solutions generated by shift neighborhood

SWAP NEIGHBORHOOD

Swap neighborhood, also used in VNS, is obtained by swapping the assignment of two jobs. In this case, the size of the neighborhood is $O(n^2)$. One point to consider here is that we don't allow repeated swaps in current neighborhood generation.

Starting from the initial solution presented in problem representation section, the following solutions are produced by this neighborhood:

Agents $\begin{bmatrix} 2 & 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}$	Agents $\begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 & 2 \end{bmatrix}$	Agents $\begin{bmatrix} 2 & 2 & 1 & 0 \end{bmatrix}$	Agents $\begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & 2 \end{bmatrix}$	Agents $\begin{bmatrix} 0 & 2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$
Jobs 0 1 2 3				
a) swap job 0 and 1	b) swap job 0 and 2	c) swap job 0 and 3	d) swap job 1 and 2	e) swap job 2 and 3

Figure 4: Solutions generated by complete swap neighborhood

5. LOCAL SEARCH PROCEDURE

The initial solution from which local search procedure will begin is obtained by one of the mentioned constructive algorithms. The neighborhood used in local search is complete swap, it's explained in detail in next section. For the $Improve(s, N(s))$ function "first improvement" strategy is used. This strategy iteratively scans the neighborhood and when a better solution is found it's passed as initial solution to the next iteration. Local search procedure stops when no improvement is possible.

```

procedure local search
begin
   $s \leftarrow$  Constructive_Algorithm
  repeat
     $s \leftarrow Improve(s, N(s))$ 
  until no improvement is possible
end

```

Algorithm 3: Local Search

6. VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH

Next we present the algorithm of VNS used in this paper. The initial solution is obtained by one of the constructive algorithms described. We then set the neighborhoods that will be used inside VNS, the ones explained above, simple swap, shift and complete swap. The chosen stop condition was the number of interactions without any solution improvement found.

Until the stop condition is met, a random solution is generated from the current neighborhood. This solution is then passed to the local search procedure, which uses the first improvement strategy. If a better solution is found, this process is repeated. Otherwise we pass to the next neighborhood.

```

procedure variable_neighborhood_search
begin
   $s \leftarrow$  Constructive_Algorithm

```

```

 $N_k \leftarrow k=1,2,3$ 
repeat
  repeat
     $s' \leftarrow$  random solution generated from  $k^{th}$  neighborhood of  $s$  ( $s' \in (N_k(s))$ ), even if unfeasible
     $s'' \leftarrow$  local search, first improvement, with  $s'$  as initial solution
    if  $s''$  better than  $s$ 
       $s \leftarrow s''$ 
    continue
  else
     $k \leftarrow k + 1$ 
  until  $k = 3$ 
until 5000 iterations without improvement
end

```

Algorithm 4: Variable Neighborhood Search

7. SOFTWARE APPLICATION

For the purpose of the present study, we decided to write our one software application. We decided to use Microsoft C-Sharp language and Visual Studio 2008 for the development of the mentioned application. This decision was supported by our experience within the language, which allowed us a faster development process.

With future integration of new features and algorithms in mind, our application is based on interface objects. So, we can whenever we want, add new methods and the application is capable of solving problems with the new methods without redesign. It has two ways of interaction with the user, one graphical and one from file. In graphical mode, we can say which problem we want to solve and which composition of methods to use to solve it. In file mode, we can do all of this also, but with the advantage of allowing batch sequence orders. We can say, for instance, that we want to solve any number of problems in many different ways.

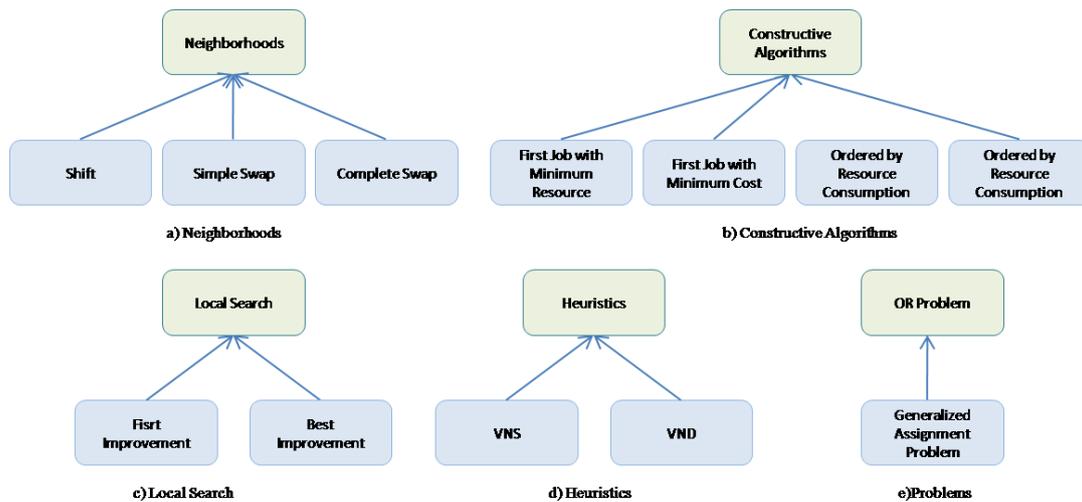


Figure 5: Software application objects

8. EXPERIMENTAL COMPUTATION

We have chosen six different maximization instances from OR-Library. For VNS we solved each instance ten times. Computation experiments were performed, and they present in Table 1 and Table 2. In both tables the first column BKS represents the best known solution. The second column shows the results of the respective constructive algorithm. The third column represents the results of running local search after the constructive algorithm. The last two columns shows the VNS results: (1) represents the average results of ten runs and (2) represents the best found solution in the ten runs.

Instance	BKS	FJMR	FJMR+LC	FJMR+VNS (1)	FJMR+VNS (2)
c515_1	336	289	308	325,0	336
c530_5	664	565	622	637,8	658
c824_1	563	488	534	541,7	552
c848_5	1127	966	1033	1100,1	1108
c1030_1	709	581	653	687,9	698
c1060_5	1446	1200	1335	1417,4	1429

Table 1: FJMR computational experiments results

Instance	BKS	ORC	ORC+LC	ORC+VNS (1)	ORC+VNS(2)
c515_1	336	295	307	309,2	316
c530_5	664	562	626	649,2	656
c824_1	563	468	525	542,4	557
c848_5	1127	971	1053	1094,2	1105
c1030_1	709	589	650	694,8	704
c1060_5	1446	1180	1286	1423,2	1437

Table 2: ORC computational experiments results

Both algorithms are equivalent in terms effectiveness. The results differ from BKS in average 16%. We verify that applying local search, it's possible to improve the results that differ from the BKS in average 8%. In terms of VNS, we verify also that it's possible to improve the results, obtaining values that differ from de BKS about 3%.

In terms of best solution found in the ten runs, they differ from the BSK about 2%. The maximum CPU time verified in VNS for the largest instance was about 500 milliseconds.

9. CONCLUSIONS AND FURTHER WORK

This first attempts show good results. We believe that VNS is a suitable method to solve the carpooling problem, because the result shows that this is an effective and efficient heuristic. The balance between implementation complexity and the achieved results suggest that we can applied this heuristic the real world problem .

Since both constructive algorithms are very similar in terms of results, we intend to develop a more specific constructive algorithm for this problem, that includes knowledge of the real problem.

REFERENCES

- A. Vitorino, M. Macedo, R. Silva, **J.A. Oliveira**, (2005) "Neighborhoods for Graph Coloring Problem". I Congresso de Estatística e Investigação Operacional da Galiza e Norte de Portugal, VII Congresso Galego de Estatística e Investigación de Operacións, Guimarães, Outubro de 2005.
- Hansen, P., Mladenovic, N. (1998), "An introduction to VNS", in: S. Voss, S. Martello, I.H. Osman, C. Roucairol (Eds.), *Meta-Heuristics: Advances and Trends in Local Search Paradigms for Optimization*, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Mladenovic, N., Hansen, P. (1997) "Variable neighborhood search", *Computers in Operations Research* 24, 1097–1100.
- Oncan, T. (2007) A Survey of the Generalized Assignment Problem and Its Applications. *INFOR*, 45, 123-141.

Comunicacións Orais

Teoría de Xogos

Bayesian-Nash Equilibria in Theory of Reasoned Action

Leandro Almeida¹, Jose Cruz¹ Helena Ferreira¹ y Alberto Adrego Pinto¹

¹University of Minho

RESUMO

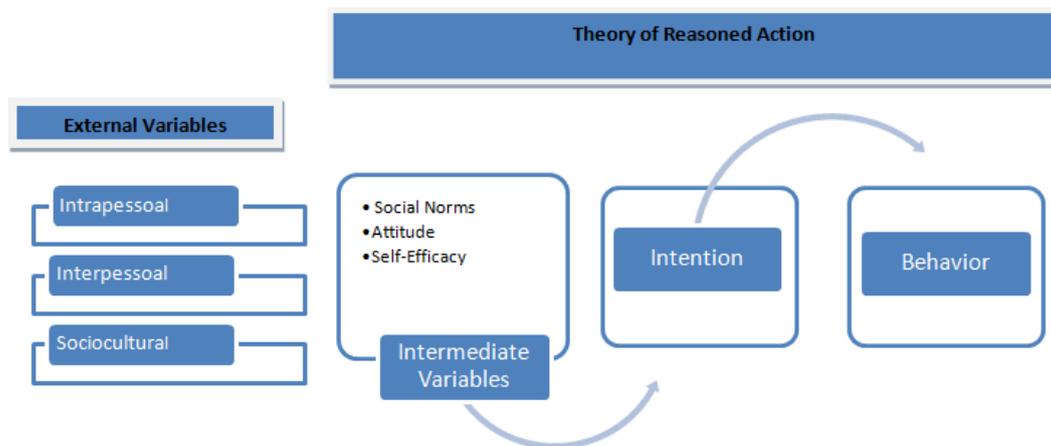
The Theory of Reasoned Action studies the decision-making mechanisms of individuals. We propose the Bayesian-Nash Equilibria as one, of many, possible mechanisms of transforming human intentions in behavior. This process corresponds to the best strategic individual decision taking in account the collective response. We show that saturation, boredom and frustration can lead to splitted strategies, in opposition to no saturation that leads to a constant strategy.

1. INTRODUCTION

Considering the application of Game Theory concepts to an individual and group model behavior, we introduce in literature of the Theory of Reasoned Action or Planned Behavior, the Bayesian-Nash Equilibria. The main goal in Planned Behavior or Reasoned Action theories (see Ajzen [1], Baker [4]) is to understand and forecast how individuals turn intentions into behaviors. We create a game theoretical model, inspired in the works of J. Cownley [7] and M. Wooders [5] and [7], where we consider individual characteristics of the individuals described as taste type and crowding type. The taste type characterizes the inner characteristics of an individual underlying their welfare (utility) function. The crowding type of an individual characterizes his influence in the welfare function of the other individuals. We also distinguish two different worlds. The "platonic" idealized psychological world, in our model, consists of well defined individuals with a given taste and crowding types and welfare function. In the "platonic" idealized psychological world, we present necessary conditions for a given individual to adopt a certain behavior decision according to the Nash-Equilibria. We also study how saturation, boredom and frustration can lead to splitted strategies, and no saturation situations can lead to a constant strategy.

2. THEORY OF REASONED ACTION OR PLANNED BEHAVIOR

The Theory of Reasoned Action or Planned Behavior can be summarized in Figure 1 (see Ajzen[1]).



where we can observe that external variables are divided in three categories: intrapersonal associated to individual actions; interpersonal associated to the interaction of the individual with others and sociocultural associated to social values. This external variables influence, especially, the intermediate variables which are also sub-divided in three major items. The social norms can be the opinions, conceptions and judgments that others have about a certain behavior (e.g: the others think I should stop smoking or I should do more exercise); attitudes are personal opinions in favor or against a specific behavior (e.g: I like to do exercise, it would be good to stop smoking); and self-efficacy is the extent of ability to control a certain behavior (e.g: I can do exercise, I can stop smoking). These external and intermediate variables determine a consequent intention to adopt a certain behavior.

3. GAME THEORY: “PLATONIC” IDEALIZED PSYCHOLOGICAL WORLD

In our “platonic” idealized psychological world, inspired in Plato’s world of thoughts or of the intelligible reality, we have no uncertainties, so we consider that the individuals are pure in the sense that the external and intermediate variables of the model are constant, instead of following a probability distribution. We can have a number of finite or infinite number of distinguishable taste and crowding types.

In this model, the individuals will choose a certain behavior/group $g \in G$. Those choices will be done, taking in account their characteristics and personal preferences (*taste type*) and the other individuals observable characteristics (*crowding club vector*). The goal is to present a decision mechanism for the individuals, taking in account their and the others types.

Let us consider a finite number S of individuals. For each individual $s \in S$, we distinguish two types of characteristics: *taste type* and *crowding type*. We associate to each individual $s \in S$ one *taste type* $\mathcal{T}(s) = t \in T$ that describes the individuals inner characteristics, not always observable by the other individuals. We also associate to each individual $s \in S$ one *crowding type* $\mathcal{C}(s) = c \in C$ that describes the individuals characteristics observed by the others and that can influence the welfare of the others. We associate, in the Theory of Reasoned Action or Reasoned Action, the intrapersonal external variables and the attitude and self efficacy intermediate variables to the the *taste type* and the interpersonal and sociocultural external variables and the social norms intermediate variable to the *crowding type*.

The individuals, with their own characteristics, can define a strategy $\mathcal{G} : S \rightarrow G$, i.e each individual $s \in S$ chooses the behavior/group that he would like to belong $\mathcal{G}(s)$. Each strategy \mathcal{G} corresponds to an intention in the Theory of Reasoned Action.

Given a behavior/group strategy $\mathcal{G} : S \rightarrow G$, the *crowding vector* $m^G(\mathcal{G}) \in (\mathbb{N}^C)^G$ is the vector whose components are $m^g(\mathcal{G})$, with $g \in G$ that define the number m_c^g of individuals in g that have crowding type $c \in C$, i.e.

$$m_c^g = \# \{s \in S : \mathcal{G}(s) = g \wedge \mathcal{C}(s) = c\}.$$

We denote by $s_{t,c}$ the individual s with taste type t and crowding type c . We measure the level of welfare, or personal satisfaction, that an individual $s_{t,c}$ acquires by belonging to a behavior/group $g \in G$ with *crowding vector* $m^G(\mathcal{G})$, using a utility function

$$\begin{aligned} u_{t,c} : G \times (\mathbb{N}^C)^G &\rightarrow \mathbb{R} \\ u_{t,c}(g, m^G) &= V_{t,c}^g + f_{t,c}^g(m^G) \end{aligned}$$

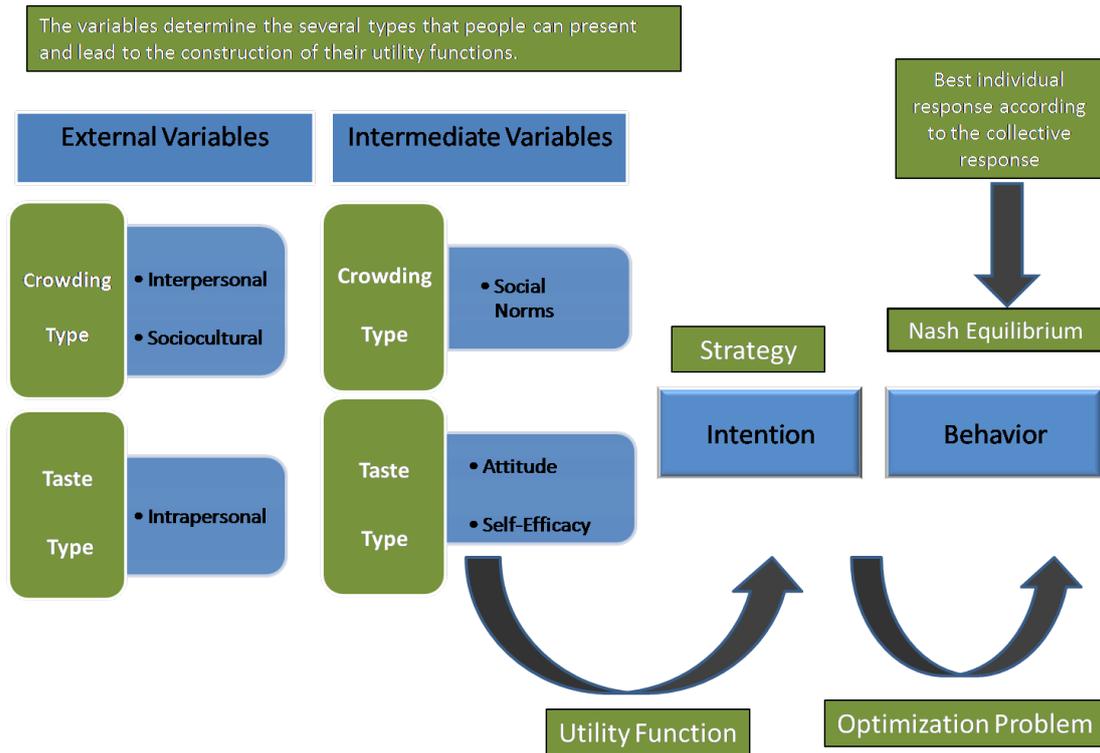
where $V_{t,c}^g$ measures the satisfaction level that each individual $s_{t,c}$ has in belonging to a behavior/group $g \in G$ and $f_{t,c}^g(m^G)$ measures the satisfaction level that an individual $s_{t,c}$ has taking in account, for each crowding type $c' \in C$, the number of elements $m_{c'}^g$ that exist in every group $g \in G$.

The individuals distribution $\mathcal{G}^* : S \rightarrow G$ into the different groups is a *Nash Equilibrium behavior/group*, if given the choice options of all individuals, no individual feels motivated to change his behavior/group, i.e its utility does not increase by changing his behavior/group decision (see A.A.Pinto [10]).

Our new dictionary between our Game Theoretical Model and the Theory of Reasoned Action, in the "platonic" idealized psychological world, is now summarized in Figure 2 (see Almeida [3]).

In what follows we will assume, for simplicity, that $f_{t,c}^g : (\mathbb{N}^C)^G \rightarrow \mathbb{R}$ is linear i.e.

$$f_{t,c}^g(m^G) = \sum_{c' \in C} A_{t,c}^{g,c'} m_{c'}^g,$$



where $A_{t,c}^{g,c'}$ evaluates the satisfaction that each individual $s_{t,c}$ has with the presence of an individual with crowding type c in group g .

We denote by $S_{(t,c)}$ the group of all individuals $s_{t,c}$ with the same taste type $t \in T$ and the same crowding type $c \in C$. Let $n(t, c)$ correspond to the number of individuals in $S_{(t,c)}$.

An interesting way to interpret $S_{(t,c)}$ is to consider that $n(t, c)$ is the number of times that a same individual $s_{t,c}$ has to take an action. In this case, $A_{t,c}^{g,c} > 0$ can be interpreted as the individual positive reward by repeating the same group/behavior choice $c \in C$, i.e the individual $s_{t,c}$ does not feel a saturation effect by repeating the same choice. On the other hand, $A_{t,c}^{g,c} < 0$ can be interpreted as the individual negative reward by repeating the same group/behavior choice $c \in C$, i.e the individual $s_{t,c}$ feels a saturation, boredom or frustration effect by repeating the same choice.

3.1. INDIVIDUALS THAT LIKE TO REPEAT THE SAME BEHAVIOR (no-saturation)

In this section, we consider the hypothesis that $A_{t,c}^{g,c} > 0$. We exploit situations where no-saturation can lead to a constant individual strategy (see Almeida [2]).

Lemma 1 Let \mathcal{G}^* be a Nash Equilibrium. For every taste type $t \in T$ and every crowding type $c \in C$, all the individuals $s \in S_{(t,c)}$, with the same taste type and the

same crowding type, belong to a same group $\mathcal{G}^*(S_{(t,c)})$.

Hence, considering that $n(t, c)$ represents the number of times that a same individual $s_{t,c}$ has to take an action, one concludes that the individual $s_{t,c}$ always chooses the same behavior/group g , for every Nash Equilibrium behavior/group.

Proof Let us suppose that for a group strategy $\mathcal{G} : S \rightarrow G$ individuals with same taste type t and same crowding type c belong to more than one behavior/group. Let us denote by g the group where these individuals $s_{t,c}$ attain the highest welfare (does not need to be unique). Then any individual $s_{t,c}$ that belongs to another group g' by moving into g increases his welfare because $A_{t,c}^{g,c} > 0$. Hence $\mathcal{G} : S \rightarrow G$ is not a Nash Equilibrium behavior/group. □

We define the *worst neighbors* $WN_g(t, c)$ of the individual $s_{t,c}$ in the group g by

$$WN_g(t, c) = V_{t,c}^g + \sum_{c' \in C, A_{t,c}^{g,c'} < 0} A_{t,c}^{g,c'} \sum_{t' \in T} n(t', c'),$$

where $V_{t,c}^g$ represents the valuation of the individual $s_{t,c}$ in the group g , and $\sum_{c' \in C, A_{t,c}^{g,c'} < 0} A_{t,c}^{g,c'} \sum_{t' \in T} n(t', c')$ represents the worst neighbors that the individual $s_{t,c}$ can have in g .

We define the *best neighbors* $BN_{g'}(t, c)$ of the individual $s_{t,c}$ in the group g' by

$$BN_{g'}(t, c) = V_{t,c}^{g'} + \sum_{c' \in C, A_{t,c}^{g',c'} > 0} A_{t,c}^{g',c'} \sum_{t' \in T} n(t', c'),$$

where $V_{t,c}^{g'}$ represents the valuation of the individual $s_{t,c}$ in the group g' and $\sum_{c' \in C, A_{t,c}^{g',c'} > 0} A_{t,c}^{g',c'} \sum_{t' \in T} n(t', c')$ represents the best neighbors that the individual $s_{t,c}$ can have in g' .

Lemma 2 If $WN_g(t, c) \geq BN_{g'}(t, c)$, for all $g' \in G \setminus \{g\}$, then $\mathcal{G}^*(S_{(t,c)}) = g$ for every Nash Equilibrium \mathcal{G}^* .

Hence, considering that $n(t, c)$ represents the number of times that a same individual $s_{t,c}$ has to take an action, one concludes that the individual $s_{t,c}$ chooses the same behavior/group g , independently of the Nash Equilibrium behavior/group considered.

Proof It follows from the construction of the worst neighbors $WN_g(t, c)$ and of the best neighbors $BN_{g'}(t, c)$. □

We define

$$\tilde{A}_{t,c}^{g,c} = \begin{cases} A_{t,c}^{g,c} n(t, c) & \text{if } A_{t,c}^{g,c} > 0 \\ 0 & \text{if } A_{t,c}^{g,c} < 0 \end{cases}$$

where $\tilde{A}_{t,c}^{g,c}$ represents the gain that the individual $s_{t,c}$ has in being in the company of his pairs in group g .

We define the *community worst neighbors* $CWN_g(t, c)$ of the the individuals $S(t, c)$ in the group g by

$$CWN_g(t, c) = WN_g(t, c) + \tilde{A}_{t,c}^{g,c}$$

We define

$$\tilde{A}_{t,c}^{g',c} = \begin{cases} A_{t,c}^{g',c} (1 - n(t, c)) & \text{if } A_{t,c}^{g',c} > 0 \\ A_{t,c}^{g',c} & \text{if } A_{t,c}^{g',c} < 0 \end{cases}$$

where $\tilde{A}_{t,c}^{g',c}$ represents the necessary discount (or loss) when the individual $s_{t,c}$ is alone in group g' .

We define the *community best neighbors* $CBN_{g'}(t, c)$ of the the individuals $S(t, c)$ in the group g' by

$$CBN_{g'}(t, c) = BN_{g'}(t, c) + \tilde{A}_{t,c}^{g',c}$$

Lemma 3 If $CWN_g(t, c) \geq CBN_{g'}(t, c)$, for all $g' \in G \setminus \{g\}$, then there is at least one Nash Equilibrium \mathcal{G}^* such that $\mathcal{G}^*(S_{(t,c)}) = g$.

Hence, considering that $n(t, c)$ represents the number of times that a same individual $s_{t,c}$ has to take an action, one concludes that the individual $s_{t,c}$ chooses the same behavior/group g , at least for one Nash Equilibrium behavior/group.

Proof It follows from the construction of the worst neighbors $CWN_g(t, c)$ and of the best neighbors $CBN_{g'}$.

□

3.2. BOREDOM AND FRUSTRATION

In this section, we consider the hypothesis that $A_{t,c}^{g,c} < 0$. We exploit the situations where boredom and frustration can lead to the splitting of the individuals decisions for different groups/behaviors(see Almeida [2]).

We define the *worst lonely neighbors* $WNL_g(t, c)$ of the individual $s_{t,c}$ in the group g by

$$WNL_g(t, c) = V_{t,c}^g + \sum_{c' \in C, c' \neq c, A_{t,c}^{g,c'} < 0} A_{t,c}^{g,c'} \sum_{t' \in T} n(t', c').$$

Lemma 4 Let g_A and g_B be two groups in G . If, for every $i \in \{A, B\}$ and every $g' \notin \{g_A, g_B\}$,

$$WN_{g_i}(t, c) \leq BN_{g'}(t, c) \leq WNI_{g_i}(t, c),$$

for every $g' \neq g_i$ then $\mathcal{G}^*(S_{t,c}) \cap g_A \neq \emptyset$ and $\mathcal{G}^*(S_{t,c}) \cap g_B \neq \emptyset$, for every Nash Equilibrium \mathcal{G}^* .

Hence, considering that $n(t, c)$ represents the number of times that a same individual $s_{t,c}$ has to take an action, one concludes that the individual $s_{t,c}$ splits its decision, at least, between the groups g_A and g_B , independently of the Nash Equilibrium behavior/group.

Proof It follows from the construction of the worst lonely neighbors $WNI_g(t, c)$, of the best neighbors $BN_{g'}(t, c)$ and of the worst neighbors $WN_g(t, c)$.

□

4. CONCLUSION

We have described how the theories of Reasoned Action or Planned Behavior study the decision-making mechanisms of individuals and we proposed the Bayesian-Nash equilibria as one, of many, possible mechanisms of transforming human intentions in behavior. We have shown how saturation, boredom and frustration can lead to splitted strategies and how no saturation that can lead to a constant strategy.

References

- [1] I. Ajzen, Perceived behavioral control, self-efficacy, locus of control, and the Theory of Planned Behavior. *Journal of Applied Social Psychology*, 32, 665 - 683 (2002).
- [2] L. Almeida, J. Cruz, H. Ferreira, A. A. Pinto, Bayesian-Nash Equilibria in Theory of Planned Behavior, *Journal of Difference Equations and Applications*, special issue dedicated to Maurício Peixoto and David Rand, 1-9, (accepted for publication in 2009).
- [3] L. Almeida, J. Cruz, H. Ferreira, A. Pinto, Nash Equilibria in Theory of Reasoned Action, *AIP Conference Proceedings of the 6th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics*, Greece (2008).
- [4] S. Baker, B. Beadnell, M. Gillmore, D. Morrison, B. Huang, S. Stielstra, The Theory of Reasoned Action and the Role of External Factors on Heterosexual Mens Monogamy and Condom Use. *Journal of Applied Social Psychology*, 38, 1, pp. 97-134 (2008).

-
- [5] E. Cartwright, R. Selten, M. Wooders , Behavioral Conformity in Games with Many Players, Working Papers 0513, Department of Economics, Vanderbilt University (2005).
 - [6] E. Cartwright, , M. Wooders, On Equilibrium in Pure Strategies in Games with Many Players(2003). FEEM Working Paper No. 122 (2003).
 - [7] J. Conley, M. Wooders, Anonymous Lindahl Pricing in a Tiebout Economy with Crowding Types, Canadian Journal of Economics, Canadian Economics Association, vol. 31(4), pages 952-974(1998).
 - [8] D. Fudenberg, J. Tirole, Game Theory, 616 pages. MIT Press (1991).
 - [9] R. Gibbons, Primer In Game Theory, 278 pages. Prentice Hall / Harvester Wheatsheaf (1992).
 - [10] A.A. Pinto, Game Theory and Duopoly Models. Interdisciplinary Applied Mathematics, Springer-Verlag (accepted).

El valor coalicional proporcional de Shapley
José M^a Alonso Meijide¹ y Francesc Carreras²

1 Departamento de Estadística e Investigación Operativa. Facultad de Ciencia de Lugo. Universidad de Santiago de Compostela.

2 Departamento de Matemática Aplicada II. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial y Aeronáutica de Tarrasa. Universidad Politécnica de Cataluña.

RESUMO

En este trabajo, se propone una modificación del valor de Shapley para juegos monótonos con una estructura de coaliciones. El valor propuesto es una doble extensión del valor de Shapley en el siguiente sentido: (1) La cantidad total obtenida por los jugadores de cada unión coincide con el valor de Shapley de dicha unión en el juego cociente; y (2) los jugadores de cada unión reparten esta cantidad de modo proporcional a sus valores de Shapley en el juego original sin considerar la estructura de coaliciones.

Palabras e frases clave: Juegos cooperativos, juegos monótonos, valor de Shapley.

**Repeated Anonymous Random Matching Games:
Community Enforcement Beyond the Prisoner's Dilemma**

Joyee Deb¹, Julio González Díaz¹

¹New York University

²Universidade de Vigo

Abstract

We study two-player stage-games played by two communities in an infinitely repeated anonymous random matching setting. It is well-known that despite the informational restrictions of the anonymous random matching setting, if the stage-game is the prisoner's dilemma, cooperation can be supported as a sequential equilibrium through 'grim' trigger strategies also called 'contagion' or 'community enforcement' in this context. But, little is known beyond the prisoner's dilemma when information transmission is minimal. In this paper we consider general two-player games, and characterize a subset of the individually rational and feasible payoffs that can be sustained in sequential equilibrium, provided players are sufficiently patient. We establish sufficient conditions under which payoffs arbitrarily close to any efficient payoff can be achieved in equilibrium. We also obtain sufficient conditions under which a folk theorem obtains. Cooperation is sustained through what we call 'delayed contagion'. In the equilibria we construct, there is an initial phase of trust-building in which deviations are temporarily ignored.

Palabras e frases clave: Game Theory, repeated games, random matching, community enforcement

Posters

The Banzhaf value in TU games with restricted communications

Mikel Álvarez Mozos¹, José M^a Alonso Meijide¹ y Gloria Fiestras Janeiro²

¹Departamento de Estadística e Investigación Operativa. Universidad de Santiago de Compostela

²Departamento de Estadística e Investigación Operativa. Universidad de Vigo

RESUMEN

En este trabajo se recogen los resultados del proyecto fin de Máster presentado por Mikel Álvarez Mozos. En este proyecto se hace una revisión de diferentes resultados en el contexto de juegos con cooperación restringida, algunos de ellos basados en afinidades entre jugadores y otros basados en incompatibilidades. Se proponen y caracterizan nuevos conceptos de solución basados en el valor de Banzhaf en el contexto de juegos con incompatibilidades, y en juegos con uniones a priori y comunicación restringida mediante grafos. Finalmente, las soluciones propuestas para los diferentes modelos se emplean para analizar diversos ejemplos reales en el ámbito de la política.

Palabras y frases clave: juegos cooperativos, uniones a priori, grafos de comunicación, incompatibilidades, valor de Banzhaf

ANÁLISIS DE REGRESIÓN PARA UN ESTUDIO CASO-CONTROL CON DATOS APAREADOS

M^a Jesús García-García⁽¹⁾, Joaquín Cubiella-Fernández⁽²⁾, M^a Teresa Alves-Pérez⁽³⁾, Isabel Martínez-Silva⁽³⁾

- ⁽¹⁾ Unidad de epidemiología, Complejo Hospitalario de Orense
⁽²⁾ Servicio de aparato digestivo, Complejo Hospitalario de Orense
⁽³⁾ Unidad de Bioestadística, Universidad de Santiago de Compostela

RESUMEN

La colitis isquémica (C.I.) es una enfermedad inducida por la reducción del flujo sanguíneo colónico. Aunque se ha asociado a diversas enfermedades cardiovasculares, no se han definido claramente los factores de riesgo. El objetivo del presente estudio es determinar el papel de los factores de riesgo cardiovascular, las enfermedades cardiovasculares, la medicación habitual y otras patologías en el desarrollo de C.I.

Para ello se diseñó un estudio retrospectivo caso-control apareado por edad, sexo y fecha de ingreso con razón 1:2, obteniendo una muestra de 169 casos. Los controles se seleccionaron de forma aleatoria de una cohorte de pacientes que en el mismo periodo ingresaron en el centro hospitalario y requirieron una colonoscopia.

Tras el análisis descriptivo de los datos se realizó una regresión logística condicional, puesto que la naturaleza del estudio (retrospectivo con datos apareados) evidencia la necesidad de eliminar el efecto confusor que provocarían las variables que se utilizaron en el apareamiento. En esta parte del trabajo se han utilizado como software Stata y R, obteniéndose en ambos casos los mismos resultados. La comparación final de los modelos, se realizó en R mediante los indicadores propios de los mismos, las Curvas ROC y el AUC como medida de discriminación.

Cabe resaltar que el estudio se realizó desde un punto de vista explicativo y no predictivo, dada la falta de potencia de este tipo de modelos, al obtenerse en todos ellos R- cuadrados ajustados por debajo del 15%.

Palabras clave: regresión, logística, condicional, estudio caso-control

1. INTRODUCCIÓN

La colitis isquémica (CI) es la forma más frecuente de isquemia intestinal (70%) y surge cuando el colon se ve transitoriamente privado del flujo vascular. Su verdadera prevalencia está claramente subestimada, debido a que las formas más leves pueden pasar desapercibidas.

El desarrollo de CI se ha relacionado con diversos factores⁽¹⁾ de riesgo cardiovascular como diabetes, hipertensión arterial, con enfermedades cardiovasculares y también con pacientes sometidos a cirugía vascular (especialmente cirugía aórtica o bypass coronario). También algunos fármacos⁽²⁾ se han implicado en el desarrollo de colitis isquémica, entre ellos diuréticos, estrógenos, seudofedrina, antiinflamatorios no esteroideos, y fármacos psicotrópicos. Sin embargo, no se han publicado estudios específicamente diseñados para valorar estos factores de riesgo.

El objetivo de este estudio es evaluar qué factores de riesgo se relacionan con el desarrollo de la colitis isquémica así como valorar el efecto sobre el desarrollo de CI que tienen los fármacos hipotensores y los antiinflamatorios no esteroideos.

Por estudios anteriores⁽³⁾ conocemos que la incidencia estimada en la población general oscila entre 4,5 y 44 casos por 100.000 habitantes y año y es superior entre personas de más de 65 años, en los pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica y probablemente en aquellos con síndrome de intestino irritable.

Datos obtenidos en nuestro país, permiten estimar una incidencia de 16 casos por cada 100.000 habitantes/año, 1,5 de cada 2.000 ingresos hospitalarios y 0,9 de cada 100 colonoscopias. Debido a esta alta incidencia, se ha realizado un estudio retrospectivo observacional caso-control con apareamiento 1:2 basado en recogida de datos en historia clínica.

2. DESARROLLO

2.1. Selección de casos y apareamiento de datos

Se han incluido como casos una cohorte ya analizada de 169 pacientes que requirieron ingreso en el Complejo Hospitalario de Ourense en el período comprendido entre enero de 1998 y marzo de 2003 por un episodio de colitis isquémica. Posteriormente, se procedió a revisar la historia clínica. El diagnóstico de CI se basó en los hallazgos endoscópicos y/o una histología diagnóstica o compatible.

Se han seleccionado los controles de una cohorte de pacientes que, en el mismo periodo de tiempo, requirieron ingreso en el Complejo Hospitalario de Ourense con el diagnóstico de hemorragia digestiva baja y a los que se les realizó una colonoscopia. Se ha seleccionado esta cohorte de pacientes por dos motivos: para excluir el diagnóstico de colitis isquémica con seguridad, y por otra parte porque las posibles etiologías de una hemorragia digestiva baja: pólipos, neoplasias, divertículos, hemorragia digestiva de origen oculto, no se asocian con un incremento del riesgo cardiovascular.

Se ha realizado un apareamiento de razón 1:2 en base a las siguientes variables: edad, sexo y año de diagnóstico (entre enero de 1998 y marzo de 2003)- (ver FIGURA1). Para el apareamiento y la aleatorización de los controles se ha utilizado el programa EPIDAT 3.1.

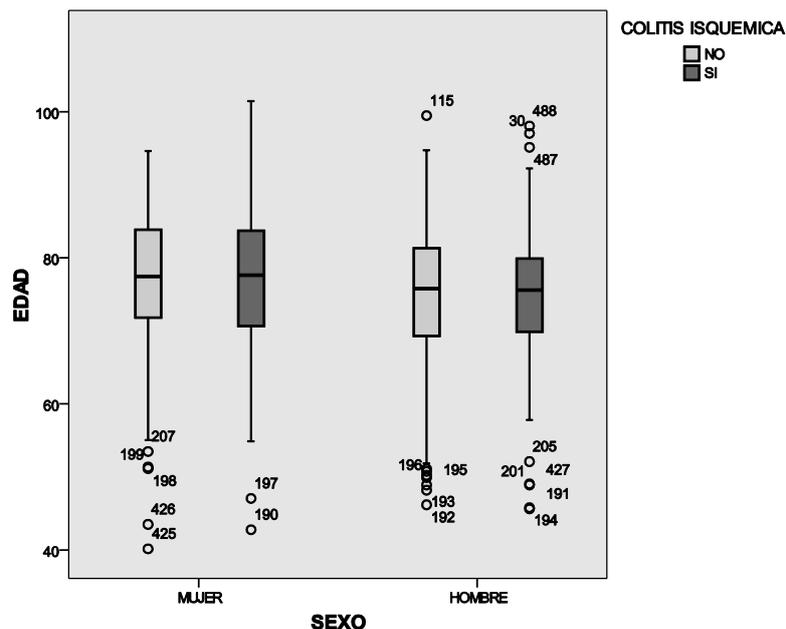


FIGURA1: representación gráfica de las variables por las que se ha realizado el apareamiento. En este gráfico se puede ver cómo las variables están correctamente apareadas, se observa que no existen grandes diferencias entre la media de edad de los hombres y mujeres ni tampoco entre los casos y los controles.

Las variables que han sido recogidas y que serán objeto de estudio son:

- Antecedentes personales: Se han registrado los antecedentes de interés que pudieran resultar factores de riesgo para padecer colitis isquémica.
- Medicación habitual: Se ha recogido el tratamiento activo en el momento del ingreso.

- c) Etiología de la hemorragia digestiva baja: En el grupo de controles se ha recogido el motivo de realización de la colonoscopia, así como los hallazgos detectados en los estudios endoscópicos.

2.2. Limitaciones y problemas del estudio

La principal limitación del estudio reside en que es un estudio retrospectivo. De esta manera, no se podrá analizar la relación con patologías en las que han cambiado los criterios de diagnóstico recientemente tales como el SII y el estreñimiento crónico. Asimismo, al aparear por edad y sexo, no se podrá valorar el efecto de ambas variables sobre el riesgo de desarrollar CI

Una vez obtenidos los datos, debemos realizar el análisis estadístico de estos, pero existen varios puntos en los que debemos profundizar:

¿Cómo debemos analizar estos datos? ¿Podemos realizar una regresión logística ya que lo que tenemos es un estudio caso-control? O por el contrario, ¿el método correcto para analizar los datos, es una regresión logística condicional?

Para poder dar respuesta a todas estas preguntas, empezaremos explicando cada uno de los conceptos.

2.3. Tipo de estudio

En los estudios RETROSPECTIVOS, los datos ya se han generado cuando se planifica el estudio estadístico. El trabajo de recogida de datos, consiste en revisar las historias clínicas de los pacientes. Dentro de este grupo, están los estudios CASO-CONTROL: un grupo de individuos afectados se compara con otro u otros no afectados para investigar el nivel de exposición a determinados factores que podrían ser causales o protectores.

Cuando hablamos de DATOS APAREADOS, lo que estamos diciendo es que cada caso se empareja con uno o más controles (en nuestro ejemplo 1 caso con 2 controles), que por lo demás deben ser lo más parecidos posible a los casos (debe tener el mismo sexo, y una edad muy similar).

Como podemos observar, es evidente que nuestros datos no han sido recogidos aleatoriamente, sino que han sido “seleccionados”, imponiendo la condición a los controles de poseer unas características similares (en sexo, edad y año de diagnóstico) a los casos de la muestra.

Este tipo de estudios es muy frecuente en epidemiología puesto que posee unas grandes ventajas, aunque las variables por las cuales se aparean los datos no pueden ser objeto de estudio.

La principal ventaja de los estudios caso-control es el bajo coste que poseen; para nuestro ejemplo, como la incidencia de la colitis es del 0,9%, en una muestra aleatoria de 500 pacientes que han realizado una colonoscopia sólo tendríamos 4,5 pacientes con CI. Por lo tanto, otro tipo de estudio sería imposible de realizar.

2.4. Modelos de Regresión

Los métodos de regresión(4) son parte integrante de un análisis de datos, siendo una de sus funciones la descripción de las relaciones entre la variable respuesta y una o más de las variables explicativas. En muchos casos, la variable dependiente es discreta, teniendo dos o más posibles valores. Es en estos casos cuando se utiliza la regresión logística.

Los principios del análisis logístico son los mismos que los del análisis de regresión lineal, de hecho son las técnicas de la regresión lineal las que motivan la regresión logística. En el Modelo de regresión lineal, dadas X_1, \dots, X_{p-1} variables explicativas y siendo Y la variable respuesta, obtenemos el modelo

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^{p-1} \beta_j X_j + \varepsilon$$

donde β_i con $i = 0, \dots, p$ son los coeficientes del modelo y ε es el término de error.

La primera diferencia del Modelo de regresión logística con respecto al modelo lineal es relativa a la naturaleza de la relación entre la variable respuesta y las covariables. En un problema de regresión lineal la $E(Y|X)$ puede

tomar cualquier valor real y expresarse como una ecuación en $X=(X_1, \dots, X_{p-1})$, de la forma $E(Y | X) = \beta_0 + \sum_{j=1}^{p-1} \beta_j X_j$; mientras que en un problema de regresión logística, con variable Y dicotómica en $\{0,1\}$, $E(Y|X)$ debe ser necesariamente un valor en $[0,1]$. Es decir, $E(Y|X) = p(Y = 1|X)$.

$$P(Y = 1|X) = \frac{e^{\beta_0 + \sum_{j=1}^{p-1} \beta_j X_j}}{1 + e^{\beta_0 + \sum_{j=1}^{p-1} \beta_j X_j}}$$

Y esto se logra si

$$\pi(X) = \frac{e^{\beta_0 + \sum_{j=1}^{p-1} \beta_j X_j}}{1 + e^{\beta_0 + \sum_{j=1}^{p-1} \beta_j X_j}}$$

Denominando la transformación logit se define como:

$$g(X) = \ln \left[\frac{\pi(X)}{1 - \pi(X)} \right] = \beta_0 + \sum_{j=1}^{p-1} \beta_j X_j$$

Así logramos una función, $g(X)$, que ajusta al modelo $Y = \pi(X) + \varepsilon$

Otra diferencia con respecto al modelo lineal es el error; aquí con $y = 1$ tenemos $\varepsilon = 1 - \pi(X)$ con probabilidad $1 - \pi(X)$, mientras que si $y = 0$ tenemos $\varepsilon = -\pi(X)$ con probabilidad $\pi(X)$. Por lo que ε , sigue una distribución con media cero y varianza $\pi(X)[1 - \pi(X)]$, es decir, la distribución condicional de la variable dependiente es una binomial con probabilidad $\pi(X)$.

En este caso particular se ha realizado el estudio con datos apareados, puesto que existen variables que no queremos que interfieran en los resultados provocando confusión en los mismos. Por ello, una vez adentrados en la construcción del modelo observamos la necesidad de condicionarlo, introduciendo una variable identificadora del apareamiento.

Análiticamente se sigue la nomenclatura anterior, sólo modificada por la utilización de K funciones $\pi_k(X)$ con $k=1, \dots, K$ para K valores de la variable identificadora, quedando por tanto definida

$$\pi_k(X) = \frac{e^{\beta_{0,k} + \sum_{j=1}^{p-1} \beta_j X_j}}{1 + e^{\beta_{0,k} + \sum_{j=1}^{p-1} \beta_j X_j}}$$

donde α_k indica la contribución al logit de todos los términos constantes dentro del k-ésimo estrato.

En este caso, debemos realizar una regresión logística condicionada, ya que nos permite tener en cuenta los valores de las diversas covariables, sabiendo que corresponden a datos relacionados entre ellos mediante el identificador.

Si trabajamos con una regresión logística usual, las variables sexo, edad y año de diagnóstico podrían provocar confusión en los resultados.

2.5. Recogida y análisis de los datos

Los datos recogidos deben poseer una variable que indique el apareamiento, es decir el identificador que asocie a cada caso sus dos controles. En el estudio que nos ocupa, se ha introducido para ello la variable "par" tomando valores, dentro del conjunto de los números naturales, iguales para aquellos individuos que están apareados entre sí. (Ver figura 2).

....	SEXO	EDAD	PAR	CASO	HTA	DIABETES
....	0	40	1	0	0	0
....	0	44	1	0	0	0
....	0	43	1	1	0	0
....
....	1	50	169	0	0	0
....	1	51	169	0	0	1
....	1	49	169	1	0	0

FIGURA 2: Ejemplo de cómo deben ser almacenados los datos un estudio caso-control para datos apareados. La variable PAR indica que los datos son tomados apareando por el sexo, la edad y el año de diagnóstico, para que no influyan en el resultado final del análisis produciendo confusión.

El análisis logístico de los datos se puede realizar con la ayuda de determinados programas estadísticos, por ejemplo con Stata, S-Plus o bien con un software libre como puede ser R. En el siguiente cuadro podemos ver una muestra del código utilizado para el análisis de los datos en Stata y en R.

Código Stata⁽⁵⁾:
 clogit variable-respuesta var1 var2 var3, group(PAR)# modelo de regresión
 clogit ,or #OR e intervalo de confianza del OR del modelo anterior

Código R⁽⁶⁾:
 Library (survival)
 fit.CLR <- clogit(variable-respuesta ~
 var1+var2+var3+strata(par),method = "exact",data =datos))# modelo de regresión
 summary(fit.CLR)#resumen del modelo

A continuación presentamos un modelo logístico condicional multivariante; podemos ver en él que todas las variables introducidas resultan significativas al 95% y que además, aunque la mayoría de ellas afectan de forma directa sobre la variable respuesta, hay una que lo hace de modo inverso.

Variabes	p-valor	Coefficientes	I.C.		OR	I.C.	
Diabetes	0.054	0.541	-0.010	1.092	1.718	0.990	2.980
Dislipemia	0.006	0.709	0.203	1.215	2.033	1.225	5.372
Insuficiencia cardíaca	0.033	0.882	0.070	1.694	2.416	1.073	5.441
Arteriopatía periférica	0.009	1.474	0.361	2.586	4.365	1.435	13.272
Antecedente de CI	0.006	3.032	0.875	5.189	20.74	2.399	179.329
Tratamiento con digital	0.017	-1.356	-2.467	-0.245	0.258	0.085	0.783
Tratamiento con AAS	0.028	0.546	0.058	1.035	1.727	1.059	2.816

2.6. Comparativa de modelos

A continuación, se resume en forma de tabla, la información recogida en el estudio realizado para la comparación de los modelos multivariantes. Resaltar, que las comparaciones mediante la ANOVA, se han realizado todas ellas con respecto al modelo A.

Modelo	Nº vbles.	Nº vbles. significativas	Df	R ²	ANOVA p-valor	AUC
A	28	7	25	0.122	-----	0.6873
B	8	7	8	0.099	0.9144	0.6689
C	7	6	7	0.077	0.2591	0.6354
D	6	5	6	0.066	0.1053	0.6510

Junto con el AUC, se incluye la representación de las curvas ROC (FIGURA 3) para la selección del modelo.

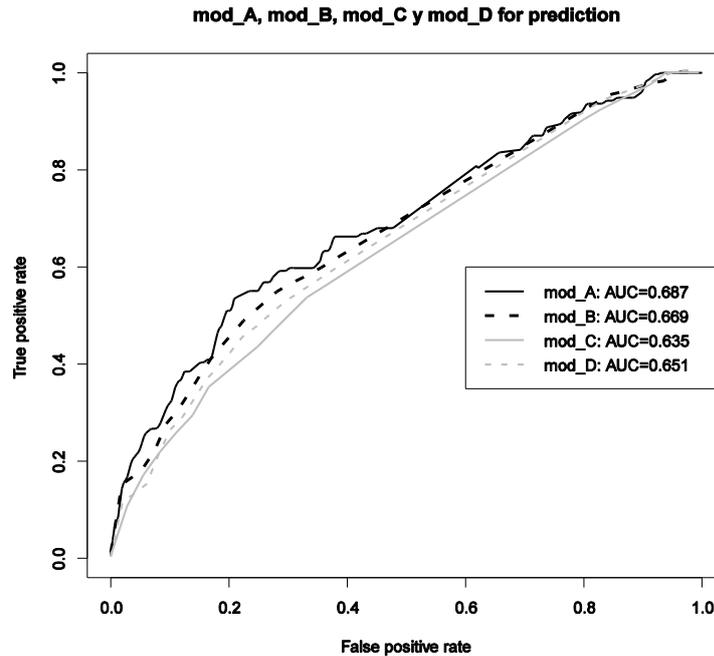


FIGURA 3: Curvas ROC de los modelos A, B, C, D. En este gráfico se pueden observar también los valores de los AUC de cada uno de los modelos.

3. CONCLUSIONES

Los pacientes con un episodio de C.I. tienen más factores de riesgo cardiovascular y enfermedades cardiovasculares que una población comparable. El desarrollo de un episodio de C.I. se asocia de forma independiente con un episodio previo de C.I., los diagnósticos de dislipemia, diabetes mellitas, insuficiencia cardíaca y arteriopatía periférica y el tratamiento continuado con AAS. Por otra parte, el tratamiento con digital se asocia de forma independiente con una disminución del riesgo de desarrollo de C.I. Estas asociaciones deberán ser evaluadas en futuros estudios prospectivos.

Cabe resaltar que este tipo de modelos se realizan buscando una explicación en la respuesta, pero no una predicción. De hecho, para todos los estudiados, el R^2 -ajustado estuvo siempre por debajo del 20%, lo que confirma que una predicción a este nivel no es orientativa.

REFERENCIAS

- (1) Gandhi SK, Hanson MM, Vernava AM, Kaminski DL, Longo WE. Ischemic colitis. *Dis Colon Rectum* 1996; 39:88–100.
- (2) Higgins PDR, Davis KJ, Laine L. Systematic review: the epidemiology of ischaemic colitis. *Aliment Pharmacol Ther* 2004; 19: 729–38.
- (3) Montoro MA, Santolaria S.B, Sánchez-Puértolas B, Vera F and GTECIE Group. Clinical characteristics and outcome of ischemic colitis in Spain. A multicentre and prospective study (ICS study). *Gut* 2006; 55 (suppl V) A208.
- (4) David W. Hosmer, Stanley Lemeshow.(2000) *Applied Logistic Regression* Ed. Willey-Interscience Publication.
- (5) Stata 10: Stata Reference Manual Release 10- (2007)
- (6) R Development Core Team, 2008. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

14-user Stata for Windows (network) perpetual license.Serial number: 1910540659. Licensed to: Consellería de Sanidade - Servizo Galego de Saúde.

MERCADO DE TRASPASO DE JUGADORES: VARIABLES DETERMINANTES DEL PRECIO.

Barajas Alonso, Angel¹, Sánchez Fernández, Patricio²

1 Universidade de Vigo (email: abarajas@uvigo.es)

2 Universidade de Vigo (email: patricio@uvigo.es)

RESUMEN

La literatura existente sobre el mercado de fichajes de jugadores ha sido escasa hasta la década de los noventa. En este periodo los modelos econométricos comenzaron a ser utilizados con el objetivo de estimar el valor de mercado de los jugadores. Para este propósito se tomaban como referencia determinadas variables relacionadas con características de jugadores, clubes y otras variables de control.

La presente comunicación utiliza el modelo econométrico concreto desarrollado en 1999 por Dobson y Gerrard, completado por este último en 2001. A partir del mismo, se estudia si la evolución de la industria del fútbol y el patrón de negocio de sus clubes tiene incidencia sobre la capacidad explicativa de este modelo.

Palabras y frases clave: mercado de fichajes, valor de mercado, variables.

1. INTRODUCCIÓN

A partir del artículo pionero de Rottenberg (1956) hasta la década de los noventa, la literatura específica sobre el mercado de fichajes de jugadores no ha sido prolífica. Ya en la última década del siglo XX los modelos econométricos han sido comenzados a ser utilizados para estimar el valor de mercado de los jugadores a partir de variables relacionadas con determinadas características de los jugadores, así como otras circunstancias de los clubes (su condición tanto de comprador como de vendedor) y otras variables de control.

Los trabajos de Carmichael & Thomas (1993), Carmichael, Forrest & Simmons (1997), Speight & Thomas (1997) proporcionaron evidencias sobre los precios de los fichajes. Por su parte, Dobson & Gerrard (1999) construyeron un modelo econométrico que fue posteriormente desarrollado por Gerrard (2001).

Será precisamente este modelo el que sirva como base para la presente comunicación al haber sido utilizado como referencia para el estudio llevado a cabo. En concreto, el objetivo principal del trabajo consiste en determinar si la evolución de la industria del fútbol y el modelo de negocio de sus clubes tiene incidencia sobre la capacidad explicativa del modelo anteriormente señalado (el propuesto por Dobson & Gerrard).

2. METODOLOGÍA

Para el estudio del mercado de fichajes de jugadores se procedió a su análisis desde el conocido como “caso *Bosman*” debido a su repercusión en el derecho comunitario que supuso que la Unión Europea de Asociaciones de Fútbol (UEFA) tuviera que cambiar normas fundamentales en esta materia y sus consecuencias posteriores.

La base de datos con la que se trabajó se centró en aquellos jugadores con un precio de traspaso superior a los 10 millones de euros sin establecer ningún tipo de restricción geográfica. Este límite monetario aseguraba el trabajar con los traspasos más elevados del mercado, al tiempo que permitía comprobar si el traspaso de los jugadores mejor pagados se ven incrementados también por el valor de marca tal y como sostienen autores como García del Barrio & Pujol (2006).

Bajo estas premisas, finalmente fueron 216 los fichajes de jugadores seleccionados para el estudio llevado a cabo. Para su desarrollo se seleccionaron un total de 33 variables usadas con frecuencia en la literatura especializada. Los datos fueron obtenidos de diferentes fuentes de información, fundamentalmente a través de internet, siendo las dos principales los sitios web de Transfer Market (www.transfermarket.de) y Soccer Asssocation (www.soccerassociation.com).

Las variables estudiadas se recogen en la tabla siguiente.

Tabla 1: Variables estudiadas

Variable	Siglas
Nombre del jugador	Jugdor
Precio de traspaso	prec
Año del traspaso	año
Clasificación del jugador: estrella, internacional, promesa.	rend
Puesto en que juega.	rol
Edad en el momento del traspaso	edad
Club comprador	compra
Puntos UEFA del club en el momento del traspaso	UEFA
Liga del club comprador	p_compra
Club vendedor	vende
Pertenencia a una de las 5 grandes ligas	gran_liga
Liga del club vendedor	p_vende
País de nacimiento del jugador	p_nacimiento
Condición internacional	p_nac2
País top en Europa	prec_3cat
Top 50 de los traspasos más caros	top50
Rango de precio: 0-20, 20-35, >35	prec_prom
Club top15 en el ranking UEFA	uefa_15
Rango de edad	edad_rec
Temporadas como profesional	experiencia
Clasificación en la liga del club vendedor la temporada anterior	SELLPOS
Clasificación en la liga del club comprador la temporada anterior	BUYPOS
Número de partidos jugados la temporada anterior	part last
Goles marcados la temporada anterior	goles last
Número de partidos como internacional	nº intern
Goles marcados como internacional	goles intern

Los modelos que se comprobaron fueron el propuesto por Dobson & Gerrard (1999) y su posterior desarrollo por Gerrard (2001). Ambos usan el método de regresión múltiple y emplean una aproximación de precios hedónicos mediante lo cual obtienen una adecuada bondad de ajuste (R^2 igual a 0.79 y 0.73, respectivamente). Esto significa que las variables en estos modelos determinan de modo suficientemente representativo el precio de traspaso de los jugadores.

El modelo de Gerard (2001) es un modelo de precios hedónicos. Aplicando esta técnica a los gastos de personal y/o a los derechos de traspaso de jugadores, como precios de mercado o precios observables ($V_{i,t}$ en las expresiones que figuran a continuación), a partir de ellos, se pueden obtener los precios implícitos de las características de los jugadores que se seleccionen como predictores eficientes del rendimiento futuro de los jugadores.

Gerrard justifica el uso de los precios hedónicos basándose en la siguiente argumentación: supone, en primer lugar, que el valor de un jugador i en un momento determinado (t) depende de su rendimiento futuro, por tanto:

$$V_{i,t} = f_v(q_{ei,t})$$

donde $q_{ei,t}$ representa el rendimiento futuro esperado. Este se puede estimar en función de las características observadas X_1, \dots, X_m del jugador i en un momento previo ($t-1$).

$$q_{ei,t} = f_e(X_{i,1,t-1}, \dots, X_{i,m,t-1})$$

Sustituyendo la primera ecuación en la segunda se obtendría que el valor de un jugador es función de las características que determinan su rendimiento futuro. Suponiendo una relación lineal obtendríamos la ecuación del valor para un determinado jugador:

$$V_{i,t} = a_0 + a_1 X_{i,1,t-1} + \dots + a_m X_{i,m,t-1} + u_{i,t}$$

Las características $X_{i,1,t-1} \dots X_{i,m,t-1}$ del jugador i son los predictores eficientes del rendimiento futuro esperado del jugador y, en consecuencia, los determinantes del valor actual. Es importante destacar que en este modelo se parte de características *ex ante*. De manera que proporcionan un medio operativo de medir la capacidad del jugador antes de comprobar su rendimiento en la temporada actual. No obstante, al emplear variables de rendimiento de temporadas anteriores, en cierto modo, se supone que el comportamiento del jugador será similar en las venideras.

Los parámetros a_1, \dots, a_m representan los precios marginales implícitos de cada uno de los atributos del jugador. Se asume que son constantes.

Se introduce el término independiente a_0 para recoger aquellos factores que contribuyen al valor del jugador pero que no se corresponden con ninguna característica propia de él. Podría recoger las variaciones en el mercado de jugadores a consecuencia de los cambios en la normativa – como ocurrió a raíz de la sentencia Bosman- o a las restricciones que ha supuesto para el mercado de traspasos la crisis de las televisiones, etc.

El término $u_{i,t}$ representa el error típico ligado a la estimación del modelo por medio de la regresión de mínimos cuadrados. Algunos autores han propuesto la aplicación de herramientas más robustas que la de mínimos cuadrados. Por ejemplo, Yoo (2001) propone aplicar las mínimas desviaciones absolutas y Janssen et al. (2001) emplean mínimos de los cuadrados de la mediana.

En este caso la variable dependiente la constituye el precio del traspaso, al tiempo que las variables explicativas son, fundamentalmente, las empleadas en el modelo de Gerrard. Igualmente, se descartaron aquellas variables que no eran significantes en el modelo de estos autores.

Paralelamente se estableció una clasificación de los jugadores de la siguiente manera:

- **Cantera:** jugadores que provienen de la cantera.
- **Promesas:** jugadores jóvenes que tienen proyección.
- **Internacionales:** jugadores que han participado en partidos con su selección.
- **Estrellas:** jugadores que han ganado el FIFA World Player o el Balón de Oro.

Esta clasificación se corresponde con los diferentes estadios que se producen en la carrera de un futbolista.

3. RESULTADOS

El principal resultado que se obtiene viene dado por el hecho de que la mayoría de las variables explicativas que eran significativas diez años atrás han perdido, en la actualidad, esta propiedad a la hora de determinar su precio de traspaso.

Por el contrario, sólo las variables que se recogen en la tabla siguiente se mantienen como significativas:

Tabla 2: Variables significativas

Variable	Correlación	Significación.
Edad	0,047	0,019
Posición compradora	-0,244	0,014
Experiencia	0,257	0,026
Goles como internacional	0,416	0,001

Sobre este particular debería ser señalado que, pese a lo que cabía esperar a priori, la variable “goles marcados por un delantero” siguiese siendo significativa pero, al igual que otras muchas, no sucedió así.

De este modo, y en comparación con el estudio de Dobson & Gerrard, el poder explicativo es bajo (R^2 igual a 0.26). Como fue señalado, esto viene motivado, entre otros factores, a que muchas de las variables significativas para determinar el precio del traspaso han dejado de serlo.

No obstante, el bajo valor de R^2 se ve compensado por la circunstancia de que el presente estudio se basa en una propuesta más específica y delimitada: la evolución de la industrial y el modelo de negocio en relación al precio de traspaso.

4. CONCLUSIONES

La principal conclusión que puede ser extraída conduce a que la metodología propuesta por Gerrard (2001) aplicada al actual valor de mercado de los traspasos tiene un bajo poder explicativo cuando hablamos de fichajes de alto nivel (sobre 10 millones de euros). Esto implica un cambio en las variables que afecta a las valoraciones económicas de los jugadores y, por tanto, al comportamiento del mercado de fichajes.

Este estudio asume un cambio que pasa desde un sistema dual a uno tridimensional. Así, ahora un jugador no sólo es un activo y un elemento productivo sino también un creador de valor de marcas. En algunos casos, esta última característica explica buena parte del dinero pagado por el mismo.

Es por este motivo que aparece como sugerencia la necesidad de estimar la valoración económica de los jugadores teniendo presente su capacidad de crear valor para un club.

REFERENCIAS

- Carmichael, F. & Thomas, D. (1993). Bargaining in the Transfer Market, Theory and Evidence. *Applied Economics*, 25, 1467-1476.
- Carmichael, F. Forrest, D. & Simmons, R. (1999). The Labour Market in Association Football: Who Gets Transferred and For How Much? *Bulletin of Economic Research*, 51, 125-150.
- Carmichael, F., Thomas, D. & Ward, R. (2000). Team performance: the case of English premiership football. *Managerial and decision Economics*. 21. 31-45.
- Carmichael, F., Thomas, D. & Ward, R. (2001). Production and efficiency in association football. *Journal of Sport Economics*, vol 2 no.3, august. 228-243.
- Dobson, S. & Gerrard, B. (1999). The determination of player transfer fees in English Professional Soccer. *Journal of Sport Management*, 13, 259 – 279.
- Garcia del Barrio, J. & Pujol, F. (2006). Pay and performance in the Spanish soccer league: who gets the expected monopoly rents? *Managerial and Decision Economics*, vol 27, 1-14.
- Gerrard, Bill (2001 a): A New Approach to Measuring Player and Team Quality in Professional Team Sports. *European Sport Management Quarterly*. Vol. 1 – n. 3. September, pp. 219-234.
- Janssen, Christian; Söderberg, Bo; Zhou, Julie (2001): “Robust estimation of hedonic models of price and income for investment property”. *Journal Property Investment & Finance*. Vol. 19 No. 4, pp. 342-360.
- Simmons, R. (1997). Implications of the Bosman ruling for football transfer markets. *Economics Affairs*, vol 17, issue 3, 13-18.
- Speight, A. & Thomas, D. (1997). Conventional arbitration in the professional footballers labour market: an assessment of the FLAC experience. *Industrial Relations Journal*, 28:3, 221- 235.
- Yoo, Seung-Hoon (2001): “A robust estimation of hedonic price models: least absolute deviations estimation”. *Applied Economic Letters*, 8, pp. 55-58.

NEW CHARACTERIZATIONS OF THE FAMILY OF OBLIGATION RULES FOR MINIMUM COST SPANNING TREE PROBLEMS

Gustavo Bergantiños¹, Leticia Lorenzo² y Silvia Lorenzo-Freire³

¹Research Group in Economic Analysis (RGEA). Universidade de Vigo

²Research Group in Economic Analysis (RGEA). Universidade de Vigo

³Universidade da Coruña

RESUMO

Tijs et al. (2006) introduce the family of obligation rules in the context of minimum cost spanning tree problems. Lorenzo and Lorenzo-Freire (2009) provide the first characterization of this family. In this paper we provide two new characterizations for the family of obligation rules: the first one by means of strong cost monotonicity, a property of additivity, and a property of separability; and if we replace the property of separability with a property of stability we obtain the other characterization.

Palabras e frases clave: minimum cost spanning tree problems, cost monotonicity, cost additivity, separability and stability

1. INTRODUCTION

A group of agents demands some particular service which can only be provided by a common supplier, called the source. Agents can be served through connections to the source, either directly or via other agents and connections are costly. These situations are studied in the literature on minimum cost spanning tree problems, briefly *mcs*t. Many real situations can be modeled in this way. For instance communication networks, such as telephone, Internet, wireless telecommunication, or cable television.

Initially, the objective is to minimize the cost of connecting all agents to the source. This is achieved by a network of links that has no cycles which is called a minimal cost spanning tree, briefly *mt*. Kruskal (1956) and Prim (1957) designed two algorithms for obtaining a minimal cost spanning tree. Once such a tree is obtained, its associated cost has to be divided among the agents. Bird (1976), Kar (2002), and Dutta and Kar (2004) introduced several rules for that purpose. Moreover, Bird (1976) associated with each minimum cost spanning tree problem a cooperative game with transferable utility. In this game, each coalition pays the minimum cost of connecting all of its members to the source, assuming that the agents outside the coalition are not present. Kar (2002) studied the Shapley value of this game whereas

Granot and Huberman (1981 and 1984) studied the core and the nucleolus. Feltkamp et al. (1994) introduced the equal remaining obligation rule, which was studied by Bergantiños and Vidal-Puga (2005, 2007a, 2007b, and 2008). This rule belongs to a wide family of rules, introduced by Tijs et al. (2006), the family of obligation rules. These rules are defined through Kruskals algorithm and the philosophy of construct and charge (Moretti et al., 2005), i.e., the minimal tree is built arc by arc and the cost of each arc is paid by all the agents who benefit from it. Lorenzo and Lorenzo-Freire (2009) provide the first characterization of this family by means of population monotonicity and a suitable additivity property for this kind of problems.

Bergantiños and Vidal-Puga (2007a) introduce the property of strong cost monotonicity (*SCM*). This property says if a number of connection costs increase and the rest of connection costs (if any) remain the same, no agent can be better off. *SCM* demands agents contribution to move in the same direction irrespective of their locations on minimum cost spanning trees. This property is also known as solidarity. These authors also prove that no rule satisfies the usual additivity property over all *mcstp*. The reason is that a rule must divide the cost of an *mt* among agents. Thus, they say that a rule *f* satisfies restricted additivity (*RA*) when it is additive in the cost matrix for each pair of similar problems. Bergantiños et al. (2009) characterize the set of rules satisfying *SCM* and *RA* and they prove that these rules are closely related with Kruskals algorithm and contain the family of obligation rules as a proper subfamily. In fact they name this new family as the family of Kruskal sharing rules. In this paper, following the result obtained by Bergantiños et al. (2009), we consider other properties: Core Selection (*CS*), Separability (*SEP*), and Symmetry (*SYM*). *CS* says that the rule is in the core of the problem. Consider that two subsets of agents, *S* and $N \setminus S$, can connect to the source separately or can connect jointly. If there are no savings when they connect jointly, *SEP* says that agents must pay the same in both circumstances. *SYM* says that if two agents are symmetric (with respect to their connection costs), then they must pay the same. Using these properties we provide two new characterizations of obligation rules. The first one with *RA*, *SCM*, and *CS* The second one with *RA*, *SCM*, and *SEP*. Besides, if we add *SYM* to both characterizations of the family of obligation rules we obtain the Equal Remaining Obligation rule (*ERO*).

REFERENCIAS

- Bergantiños G., Kar A. (2007) Monotonicity properties and the irreducible core in minimum cost spanning tree problems. Mimeo, University of Vigo.
- Bergantiños G., Lorenzo-Freire S. (2008a) Optimistic weighted Shapley rules in minimum cost spanning tree problems. European Journal of Operational Research, 185, 289-298.
- Bergantiños G., Lorenzo-Freire S. (2008b) A characterization of optimistic weighted Shapley rules in minimum cost spanning tree problems. Economic Theory, 35(3), 523-538.
- Bergantiños G., Vidal-Puga J.J. (2007a) A fair rule in minimum cost spanning tree problems. Journal Economic Theory, 137, 326-352.

- Bergantiños G., Vidal-Puga J.J. (2007b) The optimistic TU game in minimum cost spanning tree problems. *International Journal of Game Theory*, 36(2), 223-239.
- Bergantiños G., Vidal-Puga J.J. (2008) Additivity in minimum cost spanning tree problems. *Journal of Mathematical Economics* (forthcoming).
- Bird C.G. (1976) On cost allocation for a spanning tree: A game theoretic approach. *Networks*, 6, 335-350.
- Branzei R., Moretti S., Norde H., Tijs S. (2004) The P-value for cost sharing in minimum cost spanning tree situations. *Theory and Decision*, 56, 47-61.
- Dutta B., Kar A. (2004) Cost monotonicity, consistency and minimum cost spanning tree games. *Games and Economic Behavior*, 48, 223-248.
- Feltkamp V., Tijs S., Muto S. (1994) On the irreducible core and the equal remaining obligation rule of minimum cost extension problems. *Mimeo*, Tilburg University.
- Granot D., Huberman G. (1981) Minimum cost spanning tree games. *Mathematical Programming*, 21, 1-18.
- Granot D., Maschler M. (1998) Spanning network games. *International Journal of Game Theory*, 27, 467-500.
- Kruskal J. (1956) On the shortest spanning subtree of a graph and the traveling salesman problem. *Proceedings of the American Mathematical Society*, 7, 48-50.
- Lorenzo L., Lorenzo-Freire S. (2009) A characterization of obligation rules for minimum cost spanning tree problems. *International Journal of Game Theory*, 38, 107-126.
- Kar A. (2002) Axiomatization of the Shapley value on minimum cost spanning tree games. *Games and Economic Behavior*, 38, 265-277.
- Moretti S., Tijs S., Branzei R., Norde H. (2005) Cost monotonic construct and chargerules for connection situations. *Mimeo*, Tilburg University.
- Tijs S., Branzei R., Moretti S., Norde H. (2006) Obligation rules for minimum cost spanning tree situations and their monotonicity properties. *European Journal of Operational Research*, 175, 121-134.

A reactive tabu search algorithm for the pickup and delivery routing problem with time windows.

Caldas, A., Carpenente, L., and Lorenzo-Freire, S.

Facultade de Informática. Universidade da Coruña.

ABSTRACT

We consider a routing problem where a set of customers must be served by a fleet of heterogeneous vehicles which are located at a single depot. Each customer demand the use of a single vehicle to get an amount of new goods (food, clothes...) from the depot and to return others (expired food, old-fashioned clothes...) to the same depot. Moreover time windows constraints for both depot and customers must be satisfied. We develop a mixed integer linear program in order to minimize the total cost involved in serving all customers. This problem is extremely hard which makes its exact resolution hopeless for medium to large size real situations. So an heuristic algorithm based on the reactive tabu search philosophy is proposed to reduce the computational effort to solve it.

Key words: linear programming, heuristic algorithms, vehicle routing problem, reactive tabu search.

1. INTRODUCTION

Vehicle routing problems (VRPs) arise frequently in real situations related with transportation, distribution, and logistics. The objective of the VRP is to deliver a set of customers with known demands on minimum-cost vehicle routes originating and terminating at a depot. The pickup and delivery routing problem with time windows (PDPTW) extends the VRP by allowing customers to both send and receive goods and taking into account that some timetabling constraints have to be satisfied for all agents involved in the problem. Each vehicle is only involved in one route and each customer can be visited only once. The amounts of goods that each customer demand from the depot and that return back to it are known. Because of particular requirements, each customer has to be served during a given interval of time. Moreover the depot can be not opened full time. As an example of this situation we can consider the case of a big textile company with many shops located in different geographical areas that have to be provided from the central factory by the fleet of vehicles of the company. Shops can ask for new arrivals clothes or for supplying others that are sold

out. Moreover sometimes old fashioned or defective clothes must be returned back to the factory. It is well known that both shops and factory have a fixed period of activity.

All the above constraints have been considered in two different models. While the VRP with pick-up and delivering (VRPPD) takes into account the capacity constraints, the VRP with time windows (VRPTW) involves the time constraints. See Bräysy and Gendreau (2005a, 2005b) for a complete revision on the VRPTW. In Nagy and Salhi (2005) the VRPPD is carefully studied.

Since all these problems are NP-hard the target of obtaining the exact solution of PDPTW is hopeless for real big instances. For this reason it is necessary to design algorithms to get good approximated solutions. To this aim we focus this work on a heuristic technique based on the reactive tabu local search philosophy.

In Section 2 we propose a linear programming model to solve PDPTW. In Section 3 we introduce a reactive tabu search algorithm in order to approximate the solution. Section 4 contains some conclusions.

2. THE MODEL

Notation:

- $N = \{0, 1, \dots, n\}$ is the set of nodes, where 0 is the depot and $\{1, \dots, n\}$ are the customers.
- $M \subseteq N \times N$ is the set of arcs.
- $V = \{1, \dots, v\}$ is the set of vehicles where q_k is the capacity of vehicle k .
- $C = (c_{ijk})_{i,j \in N, k \in V}$, is the cost matrix that reflects the traveling cost of vehicle k from node i to node j .
- $T = (t_{ij})_{i,j \in N}$ is the traveling time between node i and node j .
- $[e_i, l_i]$, $i \in N$ is the time window of the node i , where e_i is the lower limit of the time window and l_i the upper limit.
- s_i is the service time at node i .
- p_i , $i \in N$ is the amount to be picked-up at node i .
- d_i , $i \in N$ the delivery at node i .

Variables:

- a_i is the arrival time at node i .
- w_i is the waiting time at node i .
- y_{ij} , $i \neq j$, $i, j \in N$ is the quantity collected until node i included.
- z_{ij} , $i \neq j$, $i, j \in N$ is the quantity to be delivered after node i .

$$\bullet \forall(i \neq j), x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{if vehicle } k \text{ goes from node } i \text{ to node } j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Objective function:

$$\min \sum_i \sum_j \sum_k c_{ijk} x_{ijk}$$

Constraints:

1. $\sum_i \sum_k x_{ijk} = 1, \forall j \neq 0$. Each customer can be visited only once.
2. $\sum_j \sum_k x_{ijk} = 1, \forall i \neq 0$. Only one vehicle leaves node i .
3. $\sum_j x_{0jk} \leq 1, \forall k \in V$. Each vehicle leaves the depot only once.
4. $\sum_i x_{i0k} \leq 1, \forall k \in V$. Each vehicle arrives at the depot only once.
5. $\sum_i \sum_k (a_i + s_i + w_i + t_{ij}) x_{ijk} = a_j, \forall j \neq 0$. The arrival time at node j depends on the time spent on node i plus the traveling time.
6. $\sum_i \sum_j (s_i + w_i + t_{ij}) \times x_{ijk} \leq l_0, \forall k \in V$. The route ends before the depot is closed.
7. $a_i + w_i \geq e_i, \forall i \neq 0$. Every customer cannot be serviced before the lower time.
8. $a_i + w_i + s_i \leq l_i, \forall i \neq 0$. The service at each customer cannot overtake the upper time.
9. $\sum_{i=0}^n y_{ji} - \sum_{i=0}^n y_{ij} = p_j, \forall j \neq 0$. The quantity collected until and before node j must take into account the demand at node j .
10. $\sum_{i=0}^n z_{ij} - \sum_{i=0}^n z_{ji} = d_j, \forall j \neq 0$. The quantity delivered until and before node j must take into account the delivery at node j .
11. $y_{ij} + z_{ij} \leq \sum_{k \in V} q_k x_{ijk}, \forall i, j \in N$. The capacity of the vehicle cannot be over-taken.
12. $z_{ij}, y_{ij}, x_{ijk}, a_i, w_i, s_i \geq 0$.

3. REACTIVE TABU SEARCH.

The heuristic method we propose is based on the reactive tabu search introduced in Battiti and Tecchioli (1994). Reactive tabu search is an improvement of the tabu search method. A good description of the tabu search method can be found in Glover and Laguna (1997). In order to avoid local minima a tabu list is used saving the results of the last iterations of the algorithm according to a FIFO discipline. The length of this list is a parameter fixed by the user that establishes the capacity of the memory (short, medium, and long-term memory). On the contrary, the reactive tabu search algorithm designs mechanism to maintain the length of the tabu list variable in order to avoid often repeated solutions.

To get a feasible initial solution we have adapted Solomon's algorithm (1987) for PDPTW. A schedule of the final version of the algorithm can be found below:

Algorithm 1 Reactive tabu search algorithm

- Initialize all the parameters: solution list, tabu list, cycle average, current time, number of steps after the last tabu list has changed, and set chaos counter to 0.
 - Define current and best solution as the initial solution obtained using Solomon's algorithm.
 - Generate new neighborhood.
 - Check if the current solution is in the often repeated solution list to execute escape mechanism if necessary. If escape mechanism is used restart make another iteration.
 - Check the length of the cycle of repeated solutions in order to change tabu list size.
 - Choose best move of the neighborhood. This process selects a non-tabu movement or a tabu movement that satisfies aspiration criterion. If any of the movements in the neighborhood satisfies these conditions, the one with the best objective function is selected and tabu list size is reduced.
 - Include best movement in tabu list or update values if it was already included.
 - Set current solution to the solution generated using the chosen movement.
 - If the new current solution satisfies aspiration criterion, set best solution to current solution.
-

The algorithm has been implemented using Java language. Moreover a graphic user interface has been created to allow user to configure easily the execution of the algorithm.

To illustrate how the reactive tabu search algorithm operates, we have considered the following example.

Example.

We consider a PDPTW situation with 90 customers and 20 heterogeneous vehicles. We set the number of iterations to 2000 and the rest of the parameters are shown in Figure 1. In this Figure we can easily see the number of occupied vehicles and the corresponding routes.

Figure 2 shows the behavior of the objective function depending on the number of iterations.



Figure 1: Solution given by the reactive tabu search algorithm

4. CONCLUSIONS.

In this framework a mixed linear program to solve the PDPTW situation is introduced. Solving exactly this problem is computationally burdensome if we take into account problems with many customers and many vehicles. So, we have implemented a heuristic method based on reactive tabu search in order to get a solution with less computational effort. To use the method in a friendly way, a graphic user interface implemented in JAVA language has been developed.

REFERENCES

Battiti, R. and Tecchiolli, G. (1994). The Reactive Tabu Search. *ORSA Journal on Computing* 6 (2), 128–140.

Bräysy, O. and Gendreau, M. (2005a) Vehicle Routing Problem with Time Windows, Part I: Route Construction and Local Search Algorithms. *Transportation Science* 39 (1), 104–118.

Bräysy, O. and Gendreau, M. (2005b) Vehicle Routing Problem with Time Windows, Part II: Metaheuristics. *Transportation Science* 39 (1), 119–139.

Dantzig, G.B. and Ramser, R.H. (1959) The Truck Dispatching Problem. *Management Science* 6, 80–91.



Figure 2: Evolution of the total cost through the iterations

Glover, F. and Laguna, M. (1997) Tabu search. Kluwer Academic Publishers.

Nagy, G. and Salhi, S. (2005) Heuristics algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries. *European Journal of Operational Research* 162, 126–141.

Solomon, M.M. (1987) Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operations Research* 35 (2), 254–265.

A MAINTENANCE OPTIMIZATION MODEL FOR TWO INTERACTIVE FAILURE MODES

M. Carvalho^{1,2}, E. Nunes² and J. Telhada²

¹ Polytechnic Institute of Cávado and Ave, School of Technology, Campus do IPCA, 4750-810 Barcelos, Portugal

² University of Minho, School of Engineering - Department of Production and Systems Engineering, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal

ABSTRACT

A model is presented considering that inspections and preventive maintenances are performed at periodic time intervals and the system is fully replaced less frequently when a fixed number of preventive maintenances have been completed. Whenever a system failure is detected, a minimal repair is carried out. Two dependent failure modes are considered: maintainable and non-maintainable failure modes. It is assumed that those failures can be immediately detected or only detected at the next inspection/preventive maintenance. The model also incorporates preventive maintenance and replacement times. The objective is to determine the optimal inspection and maintenance times and, simultaneously, the optimal number of inspections and preventive maintenances between replacements of the whole system, minimizing the global cost of maintenance per unit of time.

Keywords: maintainable failure; non-maintainable failure; maintenance optimization; revealed failures; unrevealed failures.

1. INTRODUCTION

The effects of an optimal preventive maintenance policy in the system's overall reliability, availability, downtime and cost of operation are well known. However, maintenance models that assume that maintenance actions leave the system *as good as new* or *as bad as old* do not always hold in practice. In a complex system, after a preventive maintenance, the condition of the whole system is often considered as being between those two conditions.

Imperfect maintenance problems considering two modes (maintainable and non-maintainable) of system failures have received more attention in the recent past [4-6]. In [5], it is assumed that the failure modes are independent. In a more realistic approach, [4] and [6] considered that the failure modes are dependent, however differing in the dependence model.

This paper develops a model for periodic imperfect preventive maintenance policies. It is considered that the system failures can be grouped into two types: maintainable (failure type I) or non-maintainable (failure type II), analogously to [4-6]. That is, it is assumed that there are system functions (failure type I) for which the system degradation leading to its unavailability can be removed by preventive maintenance actions. Removing degradation related to other system functions (failure type II) is only possible by making a complete overhaul which restores the whole system to the *as good as new* condition. Additionally, this article assumes that the occurrence of those failures can be immediately revealed (with probability p) or only revealed in the next inspection/preventive maintenance (with probability $1-p$). This concept was already adopted in [1] and [2], although in different maintenance scenarios. Moreover, in the present work, maintenance actions are not instantaneous. As it is well known, in the reliability literature, maintenance time is very often ignored during the optimization of maintenance policies. However, this fact may lead to unrealistic results. Therefore, some studies have been considering maintenance times in their optimization problems, such as [3, 7-10].

The paper is organized as follows: a description of the model is made in Section 2. In Section 3, the cost of the maintenance policy is analysed, specifying the optimal value of inspection period, the optimal value of replacement frequency and a basic algorithm to obtain these optimal values. Finally, section 4 presents a numerical example to illustrate the execution of the algorithm.

Notation

T	Inspection period, i.e., time interval between two successive inspections at which preventive maintenance is performed.
T^*	Optimal inspection period.
τ	Expected time of unavailability due to preventive maintenance actions (at inspections) and replacement.
N	Number of time intervals (of length T) between two successive full replacements of the system.
N^*	Optimal value of N .
$N_T(k)$	Expected number of failures between the k^{th} and the $(k+1)^{\text{th}}$ preventive maintenances, given a T inspection period.
c_p	Cost of inspection plus preventive maintenance.
c_{d1}	Cost of not detecting a bad functioning for maintainable failures.
c_{d2}	Cost of not detecting a bad functioning for non-maintainable failures.
c_r	Cost of replacement of the system.
c_{m1}	Cost of minimal repair for maintainable failures.
c_{m2}	Cost of minimal repair for non-maintainable failures.
c_u	Cost of system unavailability.
$r_{1,0}(t)$	Maintainable failure rate for a new system at time t .
$r_{1,k}(t)$	Maintainable failure rate at time t between the k^{th} and the $(k+1)^{\text{th}}$ inspection and preventive maintenance.
$r_2(t)$	Non-maintainable failure rate at time t .
$r_k(t)$	System failure rate at time t between the k^{th} and the $(k+1)^{\text{th}}$ inspection and preventive maintenance.
$R_k(t)$	System reliability at time t between the k^{th} and the $(k+1)^{\text{th}}$ inspection and preventive maintenance.
p	Probability by which a maintainable failure is (immediately) detected when it occurs.
$C(T,N)$	Expected maintenance cost per unit of time as a function of T and N .
$C_C(T,N)$	Expected maintenance cost per cycle as a function of T and N .

2. MAINTENANCE POLICY

Whenever a failure is detected, a minimal repair is performed. A minimal repair action returns the system to the condition as bad as immediately before the occurrence of the failure.

A *cycle* is defined as the time interval between two consecutive renewals of the system, that is, $N(T+\tau)$.

At times $kT+(k-1)\tau$ ($k=1, 2, \dots, N-1$) of a given cycle, the system is inspected and preventively maintained. The inspection is performed in order to detect unrevealed failures, which occurs with probability $1-p$. After the inspection, a preventive maintenance takes place immediately. Preventive maintenance is considered imperfect reasoning the sense that it can only reduce the type I failure rate, although it cannot change the type II failure rate.

Removing degradation due to type II failures is only possible by making a complete overhaul, which restores the whole system to *as good as new* condition. At time $NT+(N-1)\tau$, $N=1, 2, \dots$, the system is replaced. It is recognized the existence of costs due to inspections and preventive maintenances, repairs, replacements, non detection of failures and unavailability.

Our aim is to determine the time interval between any two successive preventive maintenances and the number of preventive maintenances between any two successive replacements that must be performed in order to minimize the global cost of maintenance per unit of time.

Assumptions:

- 1) Before the first preventive maintenance, type I failures occur according to a non-homogeneous Poisson process (NHPP) $\{N_1(t), t\rho\}$ with intensity function $r_{1,0}(t)$ and cumulative failure intensity function given by:

$$H_1(t) = \int_0^t r_{1,0}(u) du, \quad t \geq 0$$

It is assumed that $r_{1,0}(t)$ is continuous, increasing in t and $r_{1,0}(0)=0$.

- 2) Type II failures occur according to a NHPP $\{N_2(t), t\rho\}$ with intensity function $r_2(t)$ and cumulative failure intensity function given by:

$$H_2(t) = \int_0^t r_2(u) du, \quad t \geq 0$$

It is assumed that $r_2(t)$ is strictly increasing and continuous in each interval where there are no preventive maintenances, and $r_2(0)=0$.

- 3) Type II failures affect the failure rate of type I failures in the following way:

$$r_{1,k}(t) = r_{1,0}(t - k(T + \tau)) a^{N_2, (k(T+\tau))} \quad (1)$$

with $k(T+\tau) \leq t < (k+1)T+k\tau$, where $N_2(k(T+\tau))$ represents the number of type II failures in $[0, k(T+\tau)]$ and $r_{1,0}(t)$ the type I failure rate of a new system. The adjustment factor $a^{N_2(k(T+\tau))}$, $a > 1$, represents the effect of the wear-out of the systems (due to type II failures) in the occurrence of type I failures, proposed by [4].

- 4) All involved costs have positive values, and $c_p < c_r$.
- 5) Repair maintenance times are neglected. Although, the duration of inspection/preventive maintenances and the system replacement are random variables, both of them with mean τ .
- 6) During the inspections/preventive maintenances and system replacements, the system is not operating. Therefore, it is assumed that a failure does not occur in these *down states* of the system, as in [9].

From assumption 6), the system failure rate during preventive maintenances and replacement is zero. This means that, after each preventive maintenance at time $k(T+\tau)$ of a given cycle, the system failure rate is exactly the same of the non-maintainable failure rate immediately before the preventive maintenance action, that is, at time $kT+(k-1)\tau$ (Fig.1).

Therefore, the non-maintainable failure rate, referred in assumption 2, should be redefined as follows:

$$r_2(t - k\tau), \quad t \geq 0, \quad k = 0, 1, \dots, N - 1 \tag{2}$$

Consequently, $r_2(t - k\tau)$ is strictly increasing and continuous in t .

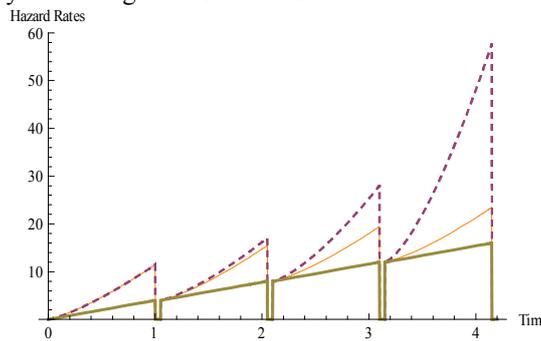


Figure 1: Example of system failure rate as a function of time, for $T=1$ and $\tau=0.05$ time units. The dashed function represents the system failure rate for $a=1.1$. The solid function represents the non-maintainable failure rate. The narrow function represents the system failure rate if $a=1$.

Note also that, in assumption 3), if $a=1$, the type I and type II failures are independent. If $a > 1$, after successive preventive maintenances, type I failure rate defined in (1) is stochastic. In fact, the intensity of the occurrence of those failures is influenced by an external process, such that intensity becomes a random process. Therefore, and similar to [4], we apply some results of the theory of the Doubly Stochastic Poisson Process (DSPP), also known as Cox process. General properties of this theory can be found in detail in [11]. The application of this theory can be also found in [12-14], in order to model the failure rate interaction of the system components.

Furthermore, reminding that the preventive maintenances have not any effect on type II failure rate, the expected number of type II failures in $[0, k(T+\tau)]$ is given by $H_2(kT)$. Obviously, the expected number of type II failures in a cycle is given by $H_2(NT)$.

Consequently, the expected number of type I failures between the k^{th} and the $(k+1)^{th}$ preventive maintenance within a given cycle can be presented as:

$$H_1(T)e^{(a-1)H_2(kT)}$$

Therefore, the Mean Time Between Failures (MTBF) in a given operational period of time T , is given by:

$$MTBF = \frac{T}{H_1(T)e^{(a-1)H_2(kT)} + H_2((k+1)T) - H_2(kT)}, \quad k = 0, 1, \dots$$

Note that if $k \rightarrow \infty$, $MTBF \rightarrow 0$. This fact justifies the replacement of the system whenever a fixed number of preventive maintenances have been completed.

3. OPTIMAL COST OF THE MAINTENANCE POLICY

From the classical reward theory, the expected maintenance cost per unit time, or cost rate, is given by:

$$C(T, N) = p \left(\frac{c_{m1}E[N_1] + c_{m2}E[N_2] + c_r + (N-1)c_p + Nc_u}{N(T+\tau)} \right) + (1-p) \left(\frac{(c_{m1} + c_{d1})E[N_1] + (c_{m2} + c_{d2})E[N_2] + c_r + (N-1)c_p + Nc_u}{N(T+\tau)} \right) \quad (3)$$

where $E[N_1]$ and $E[N_2]$ represent, respectively, the expected number of type I and type II failures per cycle. The equation defined in (3), can be re-written as:

$$C(T, N) = \frac{c_1 H_1(T) \sum_{k=0}^{N-1} e^{(a-1)H_1(kT)} + c_2 H_2(NT) + c_r + (N-1)c_p + Nc_u}{N(T+\tau)}, \quad (4)$$

where $c_1 = c_{m1} + (1-p)c_{d1}$ and $c_2 = c_{m2} + (1-p)c_{d2}$.

The problem is to find the values of T and N that minimizes the function $C(T, N)$, given by Eq. (4).

Theorem 1. Let $C(T, N)$ be defined by Eq. (4). For N fixed, the value of T that minimizes $C(T, N)$:

- i) exists, if $r_{1,0}(t)$ and $r_2(t-k\tau)$ are continuous;
- ii) is unique and is obtained for the T that verifies the following condition:

$$c_1 \left[\sum_{k=0}^{N-1} e^{(a-1)H_1(kT)} (r_{1,0}(T)(T+\tau) + H_1(T)(a-1)k(T+\tau)r_2(kT) - H_1(T)) \right] + c_2 [(T+\tau)Nr_2(NT) - H_2(NT)] = c_r + (N-1)c_p + Nc_u$$

Proof.

- i) The first derivative of the cost rate, given by Eq. (4), in order to T is given by the following equation:

$$\frac{\partial}{\partial T} C(T, N) = \frac{1}{N(T+\tau)^2} \left[(T+\tau) \frac{\partial}{\partial T} C_c(T, N) - C_c(T, N) \right] \quad (5)$$

Hence, the optimal value of T is a positive solution of:

$$(T+\tau) \frac{\partial}{\partial T} C_c(T, N) - C_c(T, N) = 0 \quad (6)$$

Let $A(T, N)$ be the left side of Eq. (6).

It follows that:

$$\lim_{T \rightarrow 0} A(T, N) = -c_r - (N-1)c_p - Nc_u \quad \text{and} \quad \lim_{T \rightarrow \infty} A(T, N) = \infty.$$

Moreover, if $r_{1,0}(t)$ and $r_2(t-k\tau)$ are continuous, for N fixed, $A(T, N)$ is also a continuous function.

Hence, the result holds.

- ii) For $a > 1$, if $r_{1,0}(t)$ and $r_2(t-k\tau)$ are non-negative and increasing functions of t , than: $\frac{\partial^2}{\partial T^2} C_c(T, N) > 0$.

Therefore,

$$\frac{\partial}{\partial T} \left[(T+\tau) \frac{\partial}{\partial T} C_c(T, N) \right] = \frac{\partial}{\partial T} C_c(T, N) + (T+\tau) \frac{\partial^2}{\partial T^2} C_c(T, N), \quad T > 0$$

and

$$\frac{\partial}{\partial T} \left[(T+\tau) \frac{\partial}{\partial T} C_c(T, N) - C_c(T, N) \right] > 0, \quad T > 0 \quad (7)$$

Hence, the left side of Eq. (6) is an increasing function of T .

Now, suppose that there is a value of $T = T^* > 0$ for which the condition in Eq. (6) holds. From the inequality of Eq. (7), it follows that,

$$\text{for } T > T^*, \quad (T+\tau) \frac{\partial}{\partial T} C_c(T, N) - C_c(T, N) > 0$$

$$\text{and, for } T < T^*, \quad (T+\tau) \frac{\partial}{\partial T} C_c(T, N) - C_c(T, N) < 0$$

Consequently, from Eq. (5), it follows that, for $T > T^*$, $\frac{\partial}{\partial T} C(T, N) > 0$

and, for $0 < T < T^*$, $\frac{\partial}{\partial T} C(T, N) < 0$.

Therefore, for a fixed N , T^* is a global minimum of the cost function $C(T,N)$, and, from Eq. (6), it is obtained for the T which verifies

$$c_1(T + \tau) \left[r_{1,0}(T) \sum_{k=0}^{N-1} e^{(a-1)H_2(kT)} + H_1(T) \sum_{k=0}^{N-1} k(a-1)r_2(kT)e^{(a-1)H_2(kT)} \right] + c_2(T + \tau)Nr_2(NT) - c_1H_1(T) \sum_{k=0}^{N-1} e^{(a-1)H_2(kT)} - c_2H_2(NT) - c_r - (N-1)c_p - Nc_u = 0 \quad \square \tag{8}$$

Theorem 2. Let $C(T,N)$ be defined by Eq. (4). For a fixed T , there exists a unique value of N that minimizes $C(T,N)$.

Proof. For estimating the optimal value of N , the following condition holds:

$$C(T, N + 1) \geq C(T, N) \tag{9}$$

If the optimal value of N is greater than I , the following condition should also hold:

$$C(T, N - 1) > C(T, N) \tag{10}$$

Hence, from Eq.s (9) and (10), and after performing some analytical steps, the optimal value for N must verify the following condition:

$$B(T, N) \geq c_r - c_p > B(T, N - 1), \tag{11}$$

where:

$$B(T, N) = c_1H_1(T) \left[Ne^{(a-1)H_2(NT)} - \sum_{k=0}^{N-1} e^{(a-1)H_2(kT)} \right] + c_2[NH_2((N+1)T) - (N+1)H_2(NT)]$$

Therefore, it follows that $B(T, N) - B(T, N - 1) > 0$.

Hence, for T fixed, $B(T,N)$ will increase if N increases. That is, for a fixed T , a unique value of N for which the condition in Eq. (11) holds. Therefore, if $r_2(t-k\tau)$ is strictly increasing then, for $T>0$ fixed, the equality expressed by Eq. (9) never holds. Hence, there is only one value of N that verifies (11). \square

Algorithm for estimating the optimal policy

Concerning the simultaneous optimization of both T and N , that is, to determine the optimal policy, we use the following algorithm proposed in [15], [16] and [17]:

1. Set $N=I$.
2. Find T_N^* and T_{N+1}^* by Eq. (8).
3. If $C(T_{N+1}^*, N + 1) < C(T_N^*, N)$, then proceed to step 4; otherwise, advance to step 5.
4. Set $N=N+I$, then go back to step 2.
5. Set $N^*=N$.

The optimal policy turns out to be (T^*, N^*) . Note that the foregoing algorithm does not ensure a global optimum. However, analysing the optimization problem in two variables seems to be a difficult task. Nevertheless, the algorithm can considerably reduce the search of the optimal values to a finite case.

4. NUMERICAL EXAMPLE

In this section, some numerical examples are given to illustrate the applicability of the previous model. Suppose that type I failure rate before the first preventive maintenance and type II failure rate are Weibull distributions such that $H_1(t)=\alpha t^\beta$ and $H_2(t)=\delta t^\lambda$. Therefore, $r_{1,0}(t)=\alpha\beta t^{\beta-1}$ and $r_2(t)=\delta\lambda t^{\lambda-1}$. From the assumptions 1 and 2, $\beta>1$ and $\lambda>1$. Let $\alpha=3$, $\beta=2.5$, $\delta=2$ and $\lambda=2$ be the parameters of the failure rates. Hence, the failure intensities are given by:

$$r_{1,0}(t)=7.5t^{1.5} \text{ and } r_2(t)=4t$$

and

$$H_1(t)=3t^{2.5} \text{ and } H_2(t)=2t^2, \quad t \geq 0$$

That is, before the first preventive maintenance, type I failures are more frequent than type II failures.

Consider the following unit costs:

$$c_p=50, \quad c_{d1}=20 \quad c_{d2}=30, \quad c_r=800, \quad c_{m1}=10, \quad c_{m2}=15, \quad c_u=25$$

It was considered that type I failures are more frequent than the type II failures. Hence, the following assumptions are realistic: $c_{d1}<c_{d2}$ and $c_{m1}<c_{m2}$. Furthermore, it makes sense that a replacement is more expensive than the unavailability. Additionally, it makes sense that a replacement is more expensive than a preventive maintenance too (this fact is implicitly included in assumption 4). It is also reasonable to consider a minimal

repair cost smaller than the preventive maintenance cost for the reason that the preventive maintenance was described as a more complex task.

Finally, let $\tau=0.01$ be the unavailability time due preventive maintenance actions and replacement.

Considering the parameters values described before, the numerical results are presented (Table 1). for different sets of the parameters c_u , a and p . Note that the minimal cost rate increases when c_u increases. However, the cycle length is not monotonic and the number of preventive maintenance actions in a cycle decreases when c_u increases, as expected. Analysing the different values of the probability of an immediately revealed failure, independently of the adjustment factor a , or the unavailability cost variations, we verify that, for $p=0.9$, the cycle length are greater than for that for $p=0.5$. Nevertheless, the minimal cost rate is lower for $p=0.9$.

Table 1. Optimal policy and minimum cost rate for different values of c_u , a and p .

c_u	a	p	T^*	N^*	N^*T^*	$C(T^*, N^*)$
5	1.05	0.5	0.790996	4	3.16399	543.415
		0.9	0.951029	4	3.80412	435.663
	1.3	0.5	0.747495	3	2.24249	614.765
		0.9	1.24597	2	2.49193	519.232
25	1.05	0.5	0.815362	4	3.26145	568.008
		0.9	0.976121	4	3.90448	456.203
	1.3	0.5	0.758047	3	2.27414	640.983
		0.9	1.25939	2	2.51878	535.071
50	1.05	0.5	1.03282	3	3.09847	595.532
		0.9	1.24152	3	3.72457	478.858
	1.3	0.5	1.12262	2	2.24524	663.614
		0.9	1.27529	2	2.55058	554.642
100	1.05	0.5	1.08613	3	3.2584	642.272
		0.9	1.29751	3	3.89253	517.924
	1.3	0.5	1.15291	2	2.30583	707.169
		0.9	2.68078	1	2.68078	588.051
200	1.05	0.5	1.52111	2	3.04222	715.925
		0.9	1.83894	2	3.67788	576.972
	1.3	0.5	2.25488	1	2.25488	778.482
		0.9	2.80371	1	2.80371	624.383

REFERENCES

- [1] Badía, F. G., Berrade, M. D. and Campos, C. A. (2002) Optimal inspection and preventive maintenance of units with revealed and unrevealed failures. *Reliability Engineering and Systems Safety*, 78, 157-163
- [2] Noortwijk, J. M. van, Kallen, M. J. (2006) Optimal periodic inspection of a deterioration process with sequential condition states. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 83, 249-255
- [3] Vaurio, J. K. (1999) Availability and cost functions for periodically inspected preventively maintained units. *Reliability Engineering and Systems Safety*, 63, 133-140
- [4] Castro, I. T. A model of imperfect maintenance with dependent failure modes. *European Journal of Operational Research*, doi:10.1016/j.ejor.2008.02.042
- [5] Lin, D., Zuo, M. J. and Yam, C. M. (2001) Sequential imperfect preventive maintenance models with two categories of failure modes. *Naval Research Logistics*, 48, 172-183
- [6] Zequeira, R. I. and Bérenguer, C. (2006) Periodic imperfect preventive maintenance with two categories of competing failure modes. *Reliability Engineering and Systems Safety*, 91, 460-468
- [7] Jhang, J. P. (2005) A study of the optimal use period and number of minimal repairs of a repairable product after the warranty expires. *International Journal of Systems Science*, 36, 697-704
- [8] Wang, H. and Pham, H. (1999) Some maintenance models and availability with imperfect maintenance in production systems. *Annals of Operations Research*, 91, 305-318
- [9] Wu, S. and Clements-Croome, D. (2005) Optimal Maintenance Policies Under Different Operational Schedules. *IEEE Transactions on Reliability*, 54, 2, 338-346
- [10] Zequeira, R. I. and Bérenguer, C. (2004) Maintenance Cost Analysis of a Two-Component Parallel System with Failure Interaction. *RAMS*, 220-225
- [11] Grandell, J. (1976) *Doubly Stochastic Poisson Processes*. London: Springer-Verlag
- [12] Lai, M-T. (2007) Periodical Replacement Model for a Multi-Unit System Subject to Failure rate Interaction. *Quality & Quantity*, 41, 401-411
- [13] Lai, M-T. A discrete replacement model for a two-unit parallel system subject to failure interaction. *Quality & Quantity*, doi: 10.1007/s11135-007-9127-x
- [14] Lai, M-T. and Chen, Y-C. (2006) Optimal periodic replacement policy for a two-unit system with failure rate interaction. *International Journal of Advanced manufacturing Technology*, 29, 367-371
- [15] Nakagawa, T. (1986) Periodical and sequential preventive maintenance policies. *Journal of Applied Probability*, 23, 536-542

- [16] Badía, F. G. and Berrade. (2009) Opportunity-based age replacement for a system under two types of failures. *Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Applications* – Martorell et al. (eds). Taylor & Francis Group, London, 575-580
- [17] Zequeira, R. I. and Bérenguer, C. (2005) Optimal inspection policies with predictive and preventive maintenance. *Engineering Optimization*, 37, 5, 541-550

THE MUSEUM PASS PROBLEM: A CASE STUDY USING WEIGHTED BANKRUPTCY RULES

Balbina Casas-Méndez¹, Vito Fragnelli² y Ignacio García-Jurado³

¹Departamento de Estadística e IO. Universidad de Santiago de Compostela. 15782 Santiago de Compostela, Spain.

²Corresponding author. Department of Advanced Sciences and Technologies. University of Eastern Piedmont. Viale T. Michel, 11. 15121 Alessandria, Italy.

³Departamento de Matemáticas. Universidade da Coruña. 15071 Coruña, Spain.

ABSTRACT

In this work we consider the problem, introduced by Ginsburgh and Zang (2003), of allocating the benefits of a pass that allows the entrance in a set of museums. Our approach refers to weighted rules for bankruptcy situations, where the weights evaluate various aspects concerning the relevance of the museums. Some results using real data for the “Card Musei” of the Municipality of Genova are given and some comparisons with other approaches conclude the paper. Characterizations of the rules can be provided, giving also interpretations of those which are more suitable for our problem.

Keywords: Museum pass problem, bankruptcy, weighted rule.

1. INTRODUCCIÓN

El problema de asignar el precio del pase a un conjunto de museos, propuesto en Ginsburgh y Zang (2003), aparece cuando un conjunto de museos utilizan un pase común que proporciona a los visitantes acceso a sus instalaciones. El problema radica en cómo repartir los beneficios entre los diferentes museos. Ginsburgh y Zang modelaron esta situación como un juego cooperativo en forma coalicional y propusieron asignar los beneficios utilizando el valor de Shapley. Más adelante, en Ginsburgh y Zang (2004), el valor de Shapley y otras reglas usadas habitualmente se comparan numéricamente en este contexto.

En Estévez-Fernández y otros (2004) se explora una aproximación alternativa a este problema. Modelan esta situación como un problema de bancarrota y analizan la adecuación de diferentes reglas de bancarrota para asignar los beneficios.

En este trabajo comenzamos destacando que un problema de asignación del precio del pase a un conjunto de museos puede ser visto como un problema de bancarrota no

simétrico. Los problemas de bancarrota no simétricos fueron estudiados en Moulin (2000) y en Hokari y Thomson (2003). Moulin (2000) proporciona una caracterización axiomática de una familia de reglas que incluye la proporcional y variaciones no simétricas de las reglas de igual ganancia e igual pérdida restringidas. Hokari y Thomson (2003) estudian y caracterizan la familia de reglas del Talmud ponderadas.

En Casas-Méndez y otros (2009) proporcionamos cuatro caracterizaciones axiomáticas diferentes, una para cada una de las siguientes reglas: proporcional ajustada ponderada, igual ganancia restringida ponderada, igual pérdida restringida ponderada y proporcional ponderada (para una revisión sobre bancarrota véase Thomson (2003)). Los resultados de ese trabajo extienden caracterizaciones conocidas de las correspondientes reglas no ponderadas. En el presente trabajo mostramos la aplicación de estas reglas al problema de asignación del precio del pase a un conjunto de museos y analizamos unos datos reales. Finalmente, hacemos algunas comparaciones entre las reglas ponderadas que proponemos y las utilizadas en Ginsburgh y Zang (2004).

2. REVISIÓN DE LOS PROBLEMAS DE ASIGNACIÓN DEL PRECIO DEL PASE A UN CONJUNTO DE MUSEOS

En un problema de asignación del precio del pase a un conjunto de museos $\mu = (N, \pi, p)$ hay un conjunto de museos N que pueden ser visitados adquiriendo un único pase con coste π . Los precios regulares de los tickets están dados por $p = (p_i)_{i \in N} \in R^N$ (siendo p_i el precio del ticket del museo $i \in N$); naturalmente se asume que $\pi \leq \sum_{i \in N} p_i$. Una realización de μ es una terna (ν, u, v) donde ν es el número de pases vendidos en un período concreto, y $u, v \in R^N$ son el vector de visitantes que han usado el pase y el vector de visitantes que no lo han usado, respectivamente. Asumimos que $\pi > 0$, $\nu > 0$, y $p_i > 0$, $u_i > 0$, y $v_i > 0$, para todo $i \in N$.

Estévez-Fernández y otros (2004) proponen construir un problema de bancarrota a partir de cada problema de asignación del precio del pase a un conjunto de museos, y después seleccionar una regla de bancarrota para repartir los beneficios. Más precisamente, dado el problema $\mu = (N, \pi, p)$ y la realización (ν, u, v) , consideran el problema de bancarrota (E, c) , donde el estado es $E = \nu\pi$ y las demandas son $c_i = u_i p_i$, para cada $i \in N$.

En nuestra opinión, ésta es una aproximación razonable al problema, aunque proponemos una variación del mismo. En particular, sugerimos construir un problema de bancarrota a partir de cada situación de asignación del precio del pase a un conjunto de museos, tomando $E = \pi$ y $c = p$, para después elegir una regla ponderada de problemas de bancarrota para repartir π , donde cada realización particular da lugar a un vector particular de pesos; finalmente, cada museo recibe ν veces su porción de π .

Notemos que esta aproximación permite usar diferentes vectores de pesos. Puede tomarse u , aunque en ocasiones es más razonable que este vector sea v , o $u + v$, en lugar de u . Otra ventaja de este enfoque es que siempre vamos a tener un problema de bancarrota (i.e. $E \leq \sum_{i \in N} c_i$), mientras que en el de Estévez-Fernández y otros esto no siempre es cierto (por ejemplo, cuando hay un número significativo de visitantes que compran el pase pero al final sólo visitan el museo más importante).

Tabla 1: Comparación de las asignaciones propuestas en Estévez-Fernández y otros (2004) y en este trabajo

Museo	Asignaciones de Estévez-Fernández y otros					Nuestras asignaciones multiplicadas por $\nu = 10$			
	PROP	MRPROP	CEA	CEL	TAL	PROP ^w	APROP ^w	CEA ^w	CEL ^w
1	104.05	111.68	62.50	143.00	117.00	104.05	102.07	75.79	91.12
2	52.60	48.42	62.50	54.00	45.50	52.60	54.83	54.74	57.71
3	20.23	18.62	35.00	0.00	17.50	20.23	20.11	29.47	27.16
4	23.12	21.28	40.00	3.00	20.00	23.12	22.99	40.00	24.01

El siguiente ejemplo ilustra los resultados del enfoque de Estévez-Fernández y otros y nuestro enfoque. En ambos casos las reglas consideradas son la proporcional, proporcional ajustada, igual ganancia restringida e igual pérdida restringida, y los pesos son los dados por u , número de visitantes que usan el pase (el inverso del número de visitantes, en el caso de la regla restringida de igual pérdida).

Ejemplo Consideremos un problema de asignación del precio del pase a un conjunto de museos donde $N = \{1, 2, 3, 4\}$, $\pi = 20$, $p = (10, 7, 5, 4)$, $\nu = 10$ y $u = (18, 13, 7, 10)$ ¹. La Tabla 1 muestra las asignaciones propuestas por el enfoque de Estévez-Fernández y otros (primer conjunto de columnas) y nuestro enfoque (el segundo conjunto de columnas; nuestro vector de pesos es u). Nótese que el enfoque de Estévez-Fernández y otros y el nuestro es el mismo cuando se considera la regla proporcional. Esto no es una coincidencia; es fácil comprobar que ambos enfoques son equivalentes en ese caso.

2. RESULTADOS NUMÉRICOS

Presentamos un ejemplo, basado en los datos proporcionados por la *Direzione Settore Musei del Comune di Genova*. Esta situación representa el caso de 17 museos de Génova, que ofrecen un pase al precio de 16 euros, el “Card Musei”, que puede ser usado para visitar todos estos museos cualquier número de veces en un período de 48 horas. Calculamos cuatro soluciones ponderadas bien conocidas y que son extensión de la regla proporcional, la proporcional ajustada y las reglas de igual ganancia e igual pérdida restringidas². Para más detalles acerca de estas reglas el lector puede consultar el trabajo de Moulin (2000). Los datos se refieren al año 2007.

Además, hacemos una comparación de nuestro enfoque con las soluciones propuestas por Ginsburgh y Zang (2004), usando un ejemplo numérico. En Casas-Méndez y otros (2009), se realizan comparaciones con las soluciones propuestas por Estévez-Fernández y otros (2004) para los datos reales.

Quisiéramos destacar que el enfoque ponderado permite calcular la solución con un sencillo conjunto de datos a diferencia del propuesto por Ginsburgh y Zang que

¹Notemos que un visitante concreto con un pase puede visitar un museo concreto varias veces; en este caso cada vez se considera una visita diferente.

²No mostramos los resultados correspondientes a la regla proporcional ajustada ponderada puesto que coincide con la proporcional ponderada ya que el mínimo derecho de cada museo es cero y no se produce truncamiento al ser todos los precios de los tickets menores que el precio del pase.

requiere datos realmente sofisticados, ya que necesita una historia completa de cada pase, esto es, cuántas veces se usó cada pase en cada museo. Esto implicaría que en la entrada de cada museo, el pase fuese identificado cada vez que se usara. Esta operación requiere un pase electrónico o la intervención de empleados. La propuesta de Estévez-Fernández y otros requiere datos similares a los nuestros.

Nuestros cálculos se realizaron sobre la base de cuatro vectores de pesos diferentes: número de visitantes de los museos que usaron el pase, número de visitantes que adquirieron un ticket, número de visitantes a los que se les permite la entrada libre y número total de visitantes. Aquí presentamos los resultados con el primer vector de pesos (ver Tabla 2) que es uno de los que más sentido tiene, en nuestra opinión, y permite la comparación con otras aproximaciones al problema. Otros resultados pueden encontrarse en Casas-Méndez y otros (2009).

Los resultados confirman las expectativas teóricas; de hecho podemos ver que los museos más importantes reciben cuotas mayores del precio del pase, ya que tienen mayor número de visitantes. Como es usual en problemas de bancarrota, la regla CEL^w enfatiza las diferencias entre los museos, asignando cero cuando el número de visitantes de un museo es muy bajo, mientras que las diferencias se reducen usando la solución CEA^w . Otra comparación se puede hacer mirando los resultados de CEA^w y $PROP^w$; la primera está menos influenciada por el precio de los tickets que la última. Desafortunadamente, no es posible hacer una comparación con la asignación actual de los beneficios, ya que la política del Municipio de Génova no es repartir los beneficios de los pases entre los museos, aunque una gestión financiera centralizada asigna fondos a los diferentes museos teniendo en cuenta diferentes parámetros, como por ejemplo el número de empleados o la organización de exposiciones especiales.

Finalmente, en la Tabla 3 comparamos nuestros métodos con los propuestos por Ginsburgh y Zang (2004). Ya que la última requiere datos sofisticados que no están disponibles para los museos de Génova, aplicamos nuestras soluciones a los datos de la Tabla 1 de Ginsburgh y Zang (2004). Ellos consideran tres museos, A , B , C , que pueden ser visitados con un pase cuyo coste es 8 US\$. El número total de pases vendidos es 1,500 y los visitantes los utilizan como sigue: 50 personas visitaron sólo el museo A , 90 visitaron sólo el museo B , 410 visitaron los museos A y B , 50 visitaron los museos A y C , 10 visitaron los museos B y C , y 890 visitaron los tres museos. El precio del ticket para el museo A es 3 US\$, para el museo B es 10 US\$ y para el museo C es 4 US\$.

Las asignaciones propuestas por Ginsburgh y Zang (2004) son:

- dividir igualitariamente el coste de cada pase entre los museos visitados por su propietario (*columna Shapley en Tabla 3*);
- dividir el beneficio total de la venta de los pases proporcionalmente a cada pérdida total de un museo debida a los tickets no vendidos (*columna Pérdidas en Tabla 3*);
- dividir el beneficio total de la venta de los pases proporcionalmente al número de visitantes de cada museo que usaron el pase (*columna Visitas en Tabla 3*).

En la Tabla 3 también se muestran las asignaciones propuestas por nuestras reglas.

Notemos que la división proporcional a las pérdidas coincide con la asignación proporcional ponderada y la división proporcional a las visitas coincide con la asignación CEA ponderada. Podemos decir que la primera coincidencia no es casual, ya que las pérdidas coinciden con las demandas ponderadas. Por el contrario, la segunda coincidencia es únicamente por casualidad.

Finalmente, nos referimos a un comentario en Ginsburgh y Zang (2004), de acuerdo con el cual “*bajo la regla de “pérdidas”, un museo tiene un incentivo para aumentar el precio de su ticket de entrada, para asegurarse una mayor porción del beneficio del pase*”; un comentario similar se aplica a nuestras asignaciones, con la excepción de la regla CEA ponderada. Ahora bien, las reglas de asignación que no tienen en cuenta los precios originales pueden resultar en repartos injustos que incluso pueden proponer para algún museo asignaciones superiores al precio original de sus tickets.

Agradecimientos. Los autores agradecen el apoyo del Ministerio Español de Educación y Ciencia y del FEDER a través del proyecto ECO2008-03484-C02-02, y de University of Eastern Piedmont a través de su programa de movilidad internacional. Asimismo, agradecen el apoyo de Direzione Settore Musei del Comune di Genova, en particular de Enrica Carelli, Giuliano Doria y Gabriella Taravacci.

REFERENCIAS

- Casas-Méndez, B., Fragnelli, V. and García-Jurado, I. (2009) “Weighted Bankruptcy Rules and the Museum Pass Problem”. Working paper.
- Estévez-Fernández, A., Borm, P. and Hamers, H. (2004) “The museum pass game and its value” revisited. CentER Report 2004-07. Tilburg University. The Netherlands.
- Ginsburgh, V. and Zang, I. (2003) The museum pass game and its value. *Games and Economic Behavior*, 43, 322-325.
- Ginsburgh, V. and Zang, I. (2004) Sharing the income of a museum pass program. *Museum Management and Curatorship*, 19, 371-383.
- Hokari, T. and Thomson, W. (2003) Claims problems and weighted generalizations of the Talmud rule. *Economic Theory*, 21, 241-261.
- Moulin, H. (2000) Priority rules and other asymmetric rationing methods. *Econometrica*, 68, 643-684.
- Thomson, W. (2003) Axiomatic and game-theoretic analysis of bankruptcy and taxation problems: a survey. *Mathematical Social Sciences*, 45, 249-297.

Tabla 2: Número total de visitantes

Museo	Ticket (euros)	Visitantes	PROP ^w	CEA ^w	CEL ^w
Musei dei Palazzi					
Rosso, Bianco, Tursi	8	122,747	6.09	5.04	6.81
Museo d'Arte Orientale					
"E. Chiossone"	4	8,175	0.20	0.34	
Museo di					
S. Agostino	4	17,912	0.44	0.74	
Museo del					
Risorgimento	4	13,289	0.33	0.55	
Museo di					
Archeologia Ligure	4	13,594	0.34	0.56	
Museo Navale					
di Pegli	4	4,713	0.12	0.19	
Museo di Storia e					
Cultura Contadina	2.8	2,030	0.04	0.08	
Raccolte					
Frugone	4	10,243	0.25	0.42	
Museo					
"G. Luxoro"	4	1,705	0.04	0.07	
Galleria d'Arte					
Moderna	6	9,690	0.36	0.40	
Museo di Storia					
Naturale "G. Doria"	4	31,671	0.79	1.30	
Museo di Arte					
Contemporanea	4	49,494	1.23	2.03	1.06
Museo del					
Castello D'Albertis	6	18,531	0.69	0.76	
Collezione					
Wolfson	5	3,372	0.10	0.14	
Museo del Tesoro					
di S. Lorenzo	5.5	(*)4,426	0.15	0.18	
Galata					
Museo del Mare	10	(*)77,927	4.83	3.20	8.13

(*) estimado.

Tabla 3: Comparación de la asignación de Ginsburgh y Zang (2004) con la nuestra

Mus.	euros	Visitantes	Shapley	Pérdidas	Visitas	PROP ^w	CEA ^w	CEL ^w	APROP ^w
A	3	1,400	4,613.33	2,290.91	4,480.00	2,290.91	4,480.00	613.64	2,004.55
B	10	1,400	4,773.33	7,636.36	4,480.00	7,636.36	4,480.00	11,113.64	8,181.82
C	4	950	2,613.33	2,072.73	3,040.00	2,072.73	3,040.00	272.73	1,813.64

RECURSOS PARA EXPLORACIÓN DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL EN INTERNET

Jose Miguel Contreras¹, Carmen Díaz² y Carmen Batanero¹

1 Universidad de Granada

2 Universidad de Huelva

RESUMEN

En este trabajo analizamos la utilidad de algunos recursos relacionados con la enseñanza de la probabilidad condicional, tema en que se han descrito una variedad de posibles sesgos, y dificultades. Estos recursos nos ayudan a visualizar objetos matemáticos, propiedades o teoremas relacionados con dicho concepto, permitiendo al estudiante variar diferentes datos, tales como el número de sucesos o las probabilidades de los mismos y ver el efecto de dicho cambio sobre otros sucesos y probabilidades.

Palabras o frases clave: probabilidad simple, condicionada, independencia, errores, applet

1. INTRODUCCIÓN

La probabilidad simple y condicional son conceptos requeridos en la construcción de la probabilidad producto, la inferencia estadística, clásica y bayesiana, asociación entre variables, regresión, modelos lineales y toma de decisiones bajo incertidumbre. Sin embargo, en la investigación didáctica se han descrito numerosos sesgos de razonamiento, que continúan incluso después de la enseñanza (Díaz y de la Fuente, 2005). Los más importantes sesgos son los siguientes:

- *Independencia y mutua exclusividad:* Creer que dos sucesos son independientes si y sólo si son excluyentes, error muy extendido, y descrito anteriormente por Kelly y Zwiers (1986), quienes suponen que es debido a la imprecisión del lenguaje ordinario, en que “independiente” puede significar, a veces, separado. Esta creencia es errónea pues dos sucesos excluyentes son justamente dependientes pues uno no puede ocurrir a la vez que el otro.
- *Confusión entre condicionamiento y causación:* Mientras que la existencia de una relación causal implica la dependencia estadística entre las variables consideradas, lo contrario no es siempre cierto. Una relación condicional indica que una relación causal es posible, pero no segura. Sin embargo, la persona que evalúa una probabilidad condicional percibe en forma diferente las relaciones causales y diagnósticas, dando mayor peso a la causal e incluso considerando que todas las situaciones condicionales son causales (Tversky y Kahneman, 1982a). La relación de causalidad también se asocia, a menudo, con la secuencia temporal suponiendo que el suceso condicionante ha de suceder siempre antes que el condicionado (Falk, 1986; Gras y Totohasina, 1995).
- *Intercambio de sucesos en la probabilidad condicional* (Eddy, 1982; Falk, 1986). Son muchos los estudiantes que no diferencian $P(A/B)$ y $P(B/A)$, por ejemplo, probabilidad de que una prueba médica sea positiva si se está enfermo y la de estar enfermo si la prueba es positiva.
- *Confusión de probabilidad condicional y conjunta* (Pollatsek, Well, Konold y Hardiman, 1987; Ojeda, 1995; Tversky y Kahneman, 1982b).
- *Situaciones sincrónicas y diacrónicas:* Si el problema se plantea como una serie de experimentos secuenciales (situaciones diacrónicas) o simultáneos (sincrónicas) (Falk, 1989; Ojeda, 1995). Formalmente las dos situaciones son equivalentes, aunque los sujetos no siempre las perciben de este modo (Sánchez y Hernández, 2003).

• *Razonamiento bayesiano*: Las limitaciones en la comprensión de los enunciados de los problemas relativos al Teorema de Bayes, son debidas, entre otras razones, a la forma verbal en que están expresados y a la cantidad de datos y condiciones involucradas en los mismos. Tversky y Kahneman, (1982b) indican que la comprensión del teorema de Bayes exige esfuerzo cognitivo y no es fácil para los estudiantes la interpretación exacta de lo que se les pide. Gras y Totahasina (1995) suponen que los alumnos pueden encontrarse con dificultades en función del tipo de representación elegida para resolver el problema, que les es dado en formato verbal.

En la actualidad existen muchos recursos para la enseñanza de la estadística en Internet, que permiten explorar y simular procesos aleatorios y que podrían contribuir a la mejora de la intuición del alumno y por tanto a la superación de algunos de los sesgos descritos. Sería necesario, sin embargo, realizar análisis didácticos de estos recursos, así como de la forma de trabajo con ellos para orientar al profesorado. En este trabajo llevamos a cabo un estudio sobre algunos recursos que permiten explorar y visualizar la probabilidad simple y condicional y temas relacionados con ella, con el fin de prever su utilidad en la enseñanza y las posibles dificultades que se pueden encontrar a la hora de utilizar estos contenidos en el aula con estudiantes.

2. EXPLORACIÓN DE OPERACIONES ENTRE SUCEOS

En primer lugar analizamos un recurso (cuya pantalla principal se muestra en la figura 1) que permite explorar las operaciones entre dos sucesos. El recurso muestra un diagrama de rectángulo con una partición del espacio muestral en un suceso A y su contrario no A y otro suceso B y su contrario. Las probabilidades de A y B y de sus contrarios están fijadas, mientras que las de las operaciones binarias con estos cuatro sucesos van a depender de su situación relativa en el espacio muestral. Pinchando con el ratón, se puede también colorear diferentes sucesos, $A, B, \bar{A}, \bar{B}, A \cap B, \overline{A \cap B}, A \cup B$ y $\overline{A \cup B}$. La posición relativa de los sucesos A y B se pueden modificar moviendo el cursor, visualizando las probabilidades $P(A \cap B), P(\overline{A \cap B}), P(A \cup B)$ y $P(\overline{A \cup B})$. Este programa calcula automáticamente las probabilidades condicionales $P(B/A)$ y $P(A/B)$, aunque no muestra cómo se hace el cálculo sino tan sólo el resultado.

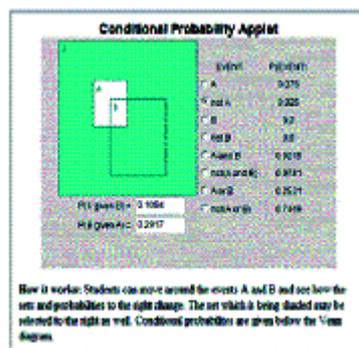


Figura 1: Pantalla del Conditional Probability Applet

En la tabla 1 se analizan los objetos matemáticos implícitos en el recurso, que es básicamente una visualización de las diferentes operaciones que se pueden formar con dos sucesos, y sus respectivas probabilidades. A partir de los sucesos A, B, \bar{A} y \bar{B} con $P(A), P(B), P(\bar{A})$ y $P(\bar{B})$ fijos. El Applet nos muestra directamente las siguientes propiedades:

- Descomposición de la probabilidad de la intersección: $P(A \cap B) = P(A) + P(B) - P(A \cup B)$
- Descomposición de la probabilidad de la unión: $P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$
- Probabilidad del complementario: $P(\bar{A}) = 1 - P(A)$
- Leyes de Morgan que permite calcular la probabilidad del contrario de la unión e intersección
 $P(\overline{A \cap B}) = P(\bar{A} \cup \bar{B})$ o $P(\overline{A \cup B}) = P(\bar{A} \cap \bar{B})$
- Cálculo de la probabilidad condicional a partir de la intersección

Un primer objetivo es que el alumno perciba el significado de la intersección, la unión y los complementarios y de cómo cambian las probabilidades según la posición relativa de los sucesos. También permite observar la diferencia entre $P(A/B)$ y $P(B/A)$, ya que muchos estudiantes confunden estas dos probabilidades o las consideran iguales, error que Falk (1986) denomina falacia de la condicional transpuesta. Otra posible aplicación

sería comprobar que independencia no es lo mismo que mutua exclusividad. Moviendo los sucesos A y B hasta que no tengan intersección común (es decir sean mutuamente excluyentes) se observa claramente que tanto la probabilidad condicional $P(A/B)$ como la de la intersección $P(A \cap B)$ son nulas, aunque el producto de las probabilidades de los sucesos A y B no lo sea.. También se puede trabajar el error denominado falacia de la conjunción (Tversky y Kahneman, 1982b) o creencia de que es más probable la intersección de dos sucesos que la de uno de ellos por separado o la de su unión.

Tabla 2. Objetos matemáticos implícitos en el recurso

Tipos	Objetos matemáticos en la situación	Significado en la situación
Situaciones- problemas Lenguaje	Exploración de las operaciones entre sucesos y sus probabilidades	Experimentación del cambio de probabilidades al cambiar la posición relativa de dos sucesos
	Gráfico: Visualización mediante rectángulos	Partición de un espacio muestral (A , no A ; B , no B) Intersección y unión de B con el suceso A El área de rectángulo total sería la probabilidad 1
	A, B	Sucesos
	A and B , not A and B	Intersección de sucesos e intersección de complementarios;
	Not A , not B	Complementarios de los sucesos A y B
	A or B , Not A or B	Unión de los sucesos A y B
Conceptos	A given B , B given A	condición; hay una incorrección pues lo que se condiciona es la probabilidad no los sucesos
	$P(A), P(B), \dots P$ (Event)	Probabilidad de los sucesos
	Verbal	Explicación de la situación
	Experimento aleatorio	Experimento abstracto, o, no se concreta
	Sucesos	Cuatro partes en el espacio muestral, sucesos disjuntos dos a dos
	Espacio muestral	Conjunto de posibilidades
	Complementarios	El espacio muestral menos el suceso
	Unión	Suceso formado por el conjunto de todos los elementos que forman parte de cada suceso por separado
	Intersección	Suceso formado por el conjunto de todos los elementos comunes a los todos los sucesos
	Partición	El área de cada rectángulo y su complementario es igual al del rectángulo mayor
Procedimientos	Probabilidad	Medida relativa del área de cada parte respecto al total
	Probabilidad condicional $P(B/A)$	Medida relativa del área de $B \cap A$ respecto a cada parte A
	Cambio de posición relativa con el cursor	Se modifica el área de algunas regiones y su medida relativa respecto al total
	Cálculo de probabilidades condicionadas	Se aplicaría la fórmula; automático
Propiedades	Comparación de probabilidades	Representación de las distintas probabilidades simples y condicionadas; visualmente las puede comparar el alumno
	Representación gráfica	Diagrama
	La probabilidad condicional $P(A/B)$ puede ser diferente de la probabilidad condicional $P(B/A)$	Medida relativa del área de $B \cap A$ respecto a cada parte A puede ser diferente a la medida relativa del área de $B \cap A$ respecto a B
Argumentos	Independencia	Cuando dos sucesos son independientes la probabilidad de B condicionado a A es igual a la probabilidad de B
	Incompatibilidad	Cuando dos sucesos son incompatibles se muestra que la probabilidad condicional de B condicionado a A es igual a cero
Argumentos	Visualizaciones	Definición visual de las distintos sucesos y su relación

Dificultades posibles de los estudiantes

Una de las principales dificultades que pueden encontrar los estudiantes es la interpretación del lenguaje del Applet. En la columna de la izquierda aparecen diferentes operaciones con sucesos bajo la palabra “event” y las notaciones de las operaciones con sucesos, aunque intuitivas son correctas. Sin embargo, en la columna derecha sólo aparece mención a $P(event)$, pero luego en cada fila no vuelve a aparecer la notación de probabilidad. Es por ello que los estudiantes podrían considerar todas las probabilidades listadas como probabilidades simples (en lugar de referirse a la probabilidad de la unión, intersección o contrario). La notación coloquial para los sucesos intersección y la probabilidad condicional puede también ocasionar el error pues Einhorn y Hogarth (1986) sugieren que los enunciados que usan la conjunción “y” pueden llevar a confundir la probabilidad conjunta y la probabilidad condicional. Por otro lado, como no se puede cambiar el tamaño relativo de los sucesos A y B, se

puede interpretar que la probabilidad solo depende de la posición relativa de los sucesos, aunque en realidad también dependería del tamaño de los sucesos en relación al espacio muestral.

EXPLORACIÓN DE OTROS CONCEPTOS

En la figura 2 mostramos un recurso que puede servir para explorar la idea de independencia. Los estudiantes deben imaginar una baraja de cartas que contienen tarjetas de color rojo y negro y hacer predicciones sobre la ocurrencia de diferentes sucesos. El porcentaje de tarjetas rojas puede ser modificado. Se trata de hacer concienciar a los estudiantes de que la probabilidad de cada suceso no varía en función de los resultados obtenidos. Se les debe alentar a jugar el juego de varias maneras. En primer lugar, hacemos un ejercicio en el que la carta adivinada es la roja. De esta manera se puede estimar la proporción de tarjetas rojas encubiertas. El mismo ejercicio puede ser realizado por adivinar el porcentaje de cartas de color negro. Al final del ejercicio, los estudiantes deben ser animados a reflexionar sobre la idea de independencia y sobre la existencia de sesgos tales como la falacia del jugador. También se puede hacer observar la estabilización de las frecuencias relativas a la larga, pero hacer notar las fluctuaciones en las series cortas de ensayos.

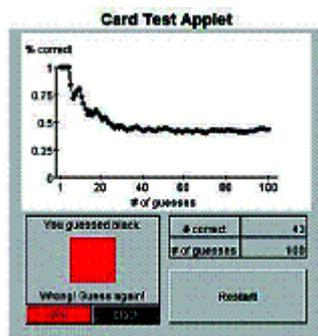


Figura 2: Card test Applet

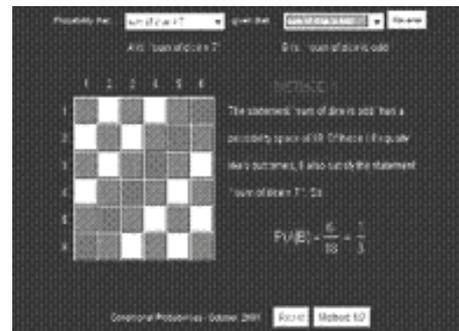


Figura 3: Conditional probability Applet

Tabla 2. Recursos para visualización de la probabilidad condicional y conceptos relacionados

Nombre	Dirección
Bayes Rule	www.bolderstats.com/gallery/prob/bayes.html
Birthday Demonstration	onlinestatbook.com/simulations/birthday/birthday.html
Cabri Java Applet	www.planetqhe.com/beta/compound%20events%20two/CabriJava%20Files/CAB.HTM
Card test Applet	http://www.stat.tamu.edu/~west/Applets/cardtest.html
Condicionnal probability demo	onlinestatbook.com/chapter5/conditional_demo.html
Conditional probability	www.rfbarrow.btinternet.co.uk/htmasa2/Prob2.htm
Conditional probability and independent events	www.cut-the-knot.org/Curriculum/Probability/ConditionalProbability.shtml
Conditional Probability and Multiplication Rule	www.spsu.edu/math/deng/m2260/stat/cond/cond.html
Conditional probability Applet	www.stat.tamu.edu/~west/Applets/Venn1.html
Conditional Probability Demo	onlinestatbook.com/simulations/conditional_p/conditional_p.html
Dice and conditional probability	www.math.fau.edu/Richman/Liberal/dice.htm
Dice Table	shodor.org/interactivate/activities/DiceTable/
Gamblers Fallacy Simulation	onlinestatbook.com/simulations/gambler_fallacy/gambler.html
Java Applets: TwoArm	www.dim.uchile.cl/~mkiwi/ma34a/libro/chapter4/TwoArm/TwoArm.html
Marbles	www.shodor.org/interactivate/activities/marbles/
Probabilty by Surprise	www-stat.stanford.edu/~susan/surprise/
Racing Game with One Die	www.shodor.org/interactivate/activities/RacingGameWithOneDie/
Random Birthday Applet	www-stat.stanford.edu/~susan/surprise/Birthday.html
Two Events: Conditioning	www.stat.wvu.edu/SRS/Modules/ProbLaw/GivenProb.html
Venn Conditional	www.bolderstats.com/gallery/prob/conditional.html
Venn Diagram	www.bolderstats.com/gallery/prob/venn.html
Venn Diagram Applet	www.teachers.ash.org.au/miKemath/VennDiagramApplet/VennGame.html
Venn Diagram Shape Sorter	www.shodor.org/interactivate/activities/ShapeSorter/
Venn Diagrams	www.shodor.org/interactivate/activities/VennDiagrams/
Venn Diagrams and Probability	www.stat.berkeley.edu/~stark/Java/Html/Venn3.htm

El recurso mostrado en la figura 3 consta de un cuadrado de seis por seis que representa las 36 posibilidades a la hora de tirar dos dados de seis caras y nos permite investigar cómo se comportan las probabilidades condicionales. Podemos hacer una elección entre dos listas que aparecen en la pantalla para visualizar los diferentes sucesos que se presentan en el Applet y decidir cual es el suceso condicionante. Cuando se haya elegido el suceso de cada lista, algunas de las celdas del cuadrado se colorearan de rojo o amarillo. Los cuadrados de color representan el número de combinaciones de los dados que satisfagan la condición B (la segunda condición de la derecha de la lista desplegable). De estas celdas de color, el rojo representa las combinaciones, que también cumplen la primera condición (A). Existen dos métodos para calcular $P(A/B)$, uno de ellos implica contar los cuadrados de colores, el otro utiliza una fórmula. El Applet nos proporciona métodos para ver cómo se relacionan entre sí. Si pulsamos "Reverse", se intercambian las declaraciones A y B . Con lo que debemos detectar rápidamente que $P(A/B)$ no es, en general, igual a $P(B/A)$. Finalmente, en la tabla 1. presentamos las direcciones de estos y otros recursos de exploración.

3. REFLEXIONES FINALES

Hemos incluido en este análisis recursos que pueden servir para visualizar algunos de los objetos matemáticos que se relacionan tanto con la probabilidad simple, como con la probabilidad condicional, o algunas de las propiedades o teoremas relacionados con los mismos. En el trabajo en el aula, se plantearía el problema, dejando un tiempo para que los estudiantes lleguen a una posible solución. Seguidamente se discutirían con los estudiantes las soluciones correctas e incorrectas encontradas por los mismos, hasta lograr que se acepte alguna de las correctas. El profesor ayudaría a analizar las causas de los errores y haría un resumen de lo aprendido. En caso de resistencia a la solución, se dejaría confrontar las soluciones con la evidencia empírica producida por el Applet para que los estudiantes comprendan las causas de sus intuiciones erróneas y las revisen. Pensamos que en este juego se dan las condiciones de idoneidad didáctica, que Godino, Wilhelmi y Bencomo (2005) definen como la articulación de seis componentes:

- **Idoneidad epistémica o matemática:** Representatividad de los significados institucionales implementados (o pretendidos), respecto de un significado de referencia. El proceso descrito podría ser idóneo para el estudio de los conceptos de: probabilidad condicional, experimento compuesto, dependencia e independencia y experimentos dependientes e independientes, pero esta idoneidad depende del tipo de solución encontrada. En general las soluciones formales tienen mayor idoneidad en un curso universitario y de formación de profesores, pero en un curso de secundaria las soluciones intuitivas podrían ser suficientes. La solución empírica, tiene, en general, baja idoneidad matemática, a menos que se complemente con una solución intuitiva o formal.
- **Idoneidad cognitiva:** Grado en que los significados pretendidos/ implementados son asequibles a los alumnos, así como si los significados personales logrados por los alumnos son los pretendidos por el profesor. La situación planteada tiene suficiente idoneidad en cursos de formación de profesores de secundaria y los últimos cursos de secundaria, pues los razonamientos descritos están al alcance de los alumnos.
- **Idoneidad interaccional:** Grado en que la organización de la enseñanza permite identificar conflictos semióticos y resolverlos durante el proceso de instrucción. Este tipo de idoneidad dependerá de cómo organiza el profesor el trabajo en el aula. Será importante que los estudiantes trabajen en grupos para que surja el conflicto y se explicita. Será importante también organizar una discusión colectiva de las soluciones para que los mismos alumnos ayuden a sus compañeros a detectar los puntos equivocados.
- **Idoneidad mediacional:** Disponibilidad y adecuación de los recursos necesarios para el desarrollo del proceso de enseñanza-aprendizaje. No se precisa de muchos recursos, pues incluso podría hacerse una simulación con objetos físicos o con un solo ordenador en el aula, donde los alumnos pueden jugar colectivamente.
- **Idoneidad emocional:** Interés y motivación del alumnado en el proceso de estudio. Pensamos que esta es la más alta de todas, pues el juego interesa a todo el que trata de resolverlo.

En los cursos de formación de profesores, el análisis didáctico, similar al descrito, sirve para aumentar el conocimiento de los profesores sobre probabilidad, metodología de la enseñanza de la probabilidad y algunos razonamientos erróneos de los estudiantes. Se podría mejorar el proceso si se dispone de soluciones dadas por alumnos reales que los profesores puedan analizar para detectar los errores descritos.

Nota: Este trabajo forma parte del proyecto SEJ2007-60110 (MEC- FEDER) y beca FPI BES-2008-009562.

REFERENCIAS

- Eddy, D. M. (1982). Probabilistic reasoning in clinical medicine: Problems and opportunities. En D. Kahneman, P. Slovic y Tversky (Eds.), *Judgement under uncertainty: Heuristics and biases*. New York: Cambridge University Press.
- Einhorn, H. J. y Hogart, R. M. (1986). Judging probable cause. *Psychological Bulletin*, 99, 3 – 19.
- Díaz, C. y de la Fuente, I. (2005). Razonamiento sobre probabilidad condicional e implicaciones para la enseñanza de la estadística. *Epsilon*, 59, 245-260.
- Falk, R. (1986). Conditional Probabilities: insights and difficulties. En R. Davidson y J. Swift (Eds.), *Proceedings of the Second International Conference on Teaching Statistics*. (pp. 292 – 297). Victoria, Canada: International Statistical Institute.
- Godino, J., Wilhelmi, M. y Bencomo, D. (2005). Suitability criteria of a mathematical instruction process. A teaching experience of the function notion. *Mediterranean Journal for Research in Mathematics Education*, 4(2), 1-26.
- Gras, R. y Totohasina, A. (1995) Chronologie et causalité, conceptions sources d'obstacles épistémologiques à la notion de probabilité conditionnelle. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 15(1), 49-95.
- Kelly, I. W. y Zwiers, F. W. (1986). Mutually exclusive and independence: Unravelling basic misconceptions in probability theory. *Teaching Statistics*, 8, 96 – 100.
- Ojeda, A. M. (1995) Dificultades del alumnado respecto a la probabilidad condicional. *UNO*, Nº 5, 37-55.
- Pollatsek, A., Well, A. D., Konold, C. y Hardiman, P. (1987). Understanding conditional probabilities. *Organization, Behavior and Human Decision Processes*, 40, 255 – 269.
- Sánchez, E. y Hernández, R. (2003). Variables de tarea en problemas asociados a la regla del producto en probabilidad. En E. Filloy (Coord.), *Matemática educativa, aspectos de la investigación actual* (pp. 295 –313). México: Fondo de Cultura Económica.
- Tversky, A. y Kahneman, D. (1982a). Causal schemas in judgment under uncertainty. En D. Kahneman, P. Slovic y A. Tversky (Eds.), *Judgement under uncertainty: Heuristics and biases* (pp. 117 – 128). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Tversky, A. y Kahneman, D. (1982b). On the psychology of prediction. En D. Kahneman, P. Slovic y A. Tversky (Eds.), *Judgement under uncertainty: Heuristics and biases* (pp. 69 – 83). Cambridge, MA: Cambridge University Press.

PREDICCIÓN DEL NIVEL DE ACTIVIDAD FÍSICA EN ADOLESCENTES A PARTIR DE DIVERSOS FACTORES BIO-SOCIALES DE INFLUENCIA

Carlos Alberto Cordente Martínez¹, Pilar García Soidán², Manuel Sillero Quintana¹ y James Stirling¹

1 Departamento de Deportes. Universidad Politécnica de Madrid

2 Departamento de Estadística e Investigación Operativa. Universidad de Vigo

RESUMEN

Diversos factores influyen en la actividad física que desarrollan los adolescentes. En este sentido, algunos estudios han puesto de manifiesto la importancia del entorno y otros factores sociales, o también de variables de tipo biológico, como el sobrepeso. El objetivo de este trabajo es establecer el grado de relación entre el nivel de actividad física y una serie de caracteres que se someten a estudio, así como ajustar un modelo de regresión logística que permita pronosticar la pertenencia a un grupo de mayor o menor actividad física.

Palabras y frases clave: Actividad física, adolescentes, regresión.

1. INTRODUCCIÓN

La práctica de actividad física de forma regular proporciona importantes beneficios para la salud. Por ello, las autoridades sanitarias tratan de promover un estilo de vida activo, particularmente en la infancia y la adolescencia, ya que son períodos que tienen una influencia importante en la salud del futuro adulto. A este respecto, se han publicado diversos trabajos que analizan los factores que tienen mayor repercusión en los hábitos de vida de los jóvenes. En lo que respecta a la práctica de actividad física, se destaca la importancia sobre la misma del entorno y otros factores sociales, de acuerdo con los trabajos de Katzmarzyk y Janssen (2004) y Simonen et al (2004), o también de variables de tipo biológico, como el sobrepeso, según se refleja en los estudios de Albright y Stern (1998) o de Caspersen et al (1998).

Para verificar lo anterior, entre los adolescentes españoles, se llevó a cabo un estudio (Cordente Martínez, 2006) en el que, a partir de los datos de una muestra representativa, se trataba de determinar la influencia de diversos factores bio-psico-sociales en la actividad física que desarrollan los jóvenes. Se intenta ahora dar un paso más, de modo que no sólo se caracterice el grado de relación de la actividad física realizada con otros caracteres, sino que además se pueda ajustar un modelo que permita pronosticar la pertenencia a un grupo de mayor o menor actividad física. Con este objeto, se ha recurrido a una técnica de regresión, concretamente a la regresión logística, que se ha aplicado sobre los datos obtenidos para una muestra de 544 adolescentes del municipio de Madrid (266 hombres y 288 mujeres), seleccionados aleatoriamente tanto de centros públicos de enseñanza como privados, de 16 distritos del municipio de Madrid. Los resultados obtenidos se resumen en las secciones siguientes.

2. PRINCIPALES RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Para la aplicación del análisis de regresión, se ha tomado como variable dependiente el nivel de actividad física (naf) con dos categorías: 0 (mod. activos/inactivos) y 1 (activos/muy activos). Además, se han categorizado como dicotómicas las restantes variables consideradas, para facilitar su interpretación, entre las que se han incluido las siguientes: el género, el tipo de centro de estudios (público o privado), la práctica de actividad física por parte de sus padres, madres y amigos, el hecho de fumar o beber habitualmente, haber repetido o no algún curso y la existencia de sobrepeso.

Utilizando el programa SPSS 16 y aplicando el análisis de regresión logística con criterio de entrada de variables de Wald, el proceso se ha parado después de 4 pasos, obteniéndose cuatro factores de influencia que son, en orden de importancia: el género, la práctica de actividad física por parte de los padres y de los amigos, así como el sobrepeso. La tabla 1 resume los valores estimados para los parámetros del modelo y su nivel de significación, que descarta en todos los casos la influencia nula de las variables consideradas, al 95% de confianza (ya que las significaciones no superan el valor 0,05).

Tabla 1: Estimación de los parámetros del modelo y nivel de significatividad

Variable	Estimación	Significación
X ₁ =Género (0 mujeres y 1 hombres)	1,405	0,000
X ₂ =Actividad física de los padres (0 no y 1 sí)	0,536	0,006
X ₃ =Actividad física de los amigos (0 no y 1 sí)	0,864	0,003
X ₄ =Sobrepeso (0 sí y 1 no)	1,153	0,008
Constante	-2,912	0,000

En consecuencia, la probabilidad de que una persona adolescente sea activa/muy activa vendría dada por $e^Z/(1+e^Z)$, donde $Z = -2,912 + 1,405 \cdot X_1 + 0,536 \cdot X_2 + 0,864 \cdot X_3 + 1,153 \cdot X_4$. Este modelo resultante, clasificaría bien al 69,5% de los casos, pudiendo mejorarse este porcentaje con la incorporación de nuevos factores al estudio.

La inclusión de las 4 variables, en los sucesivos pasos del análisis de regresión logística, supone una mejora del modelo, ya que el valor de los estadísticos de ajuste global se va incrementando, como se observa en la tabla 2 que recoge los valores del coeficiente R² de Nagelkerke.

Tabla 2: Valores del estadístico de ajuste global en cada paso

Paso	R ² de Nagelkerke
1	0,175
2	0,197
3	0,214
4	0,231

Se ha llevado a cabo también un test de ajuste global (pruebas ómnibus) en cada paso, con objeto de contrastar si la mejora del modelo resultante es nula, antes de proceder a incorporar una variable nueva. En particular, considerando el mismo nivel de confianza (95%), en el paso 4 del análisis se ha obtenido que, tanto la incorporación de la cuarta variable (sobrepeso) como el ajuste debido al total de variables incluidas, suponen una mejora del ajuste, ya que se obtienen significaciones respectivas de 0,004 y 0,000.

A modo de conclusión, podemos afirmar que, si bien se ha considerado un número reducido de factores para realizar el análisis de regresión, una de las principales aportaciones del mismo consiste en haber obtenido un modelo que pondera el efecto de distintas variables sobre el nivel de actividad física de los adolescentes. Por otra parte, todos los factores de influencia resultantes, con excepción del género, son modificables y, por tanto, pueden tenerse presentes a la hora de diseñar campañas para promover estilos de vida saludables.

REFERENCIAS

Albright, A.L. y Stern, J.S. (1998) Adipose tissue. Encyclopedia of Sports Medicine and Science. Internet Society for Sport Science.

Caspersen, C.J., Nixon, P. A. y DuRant, R.H. (1998) Physical activity epidemiology applied to children and adolescents. Exercise and Sport Sciences Reviews, 26 341-403.

Cordente Martínez, C.A. (2006) Estudio epidemiológico del nivel de actividad física y de otros parámetros de interés relacionados con la salud bio-psico-social de los alumnos de ESO del Municipio de Madrid. Universidad de Castilla-La Mancha.

Katzmarzyk, P.T. y Janssen I. (2004) The economic costs associated with physical inactivity and obesity in Canada: an update. Canadian Journal of Applied Physiology, 29 90-115.

Simonen R., Levalahti, E., Kaprio, J., Videman, T. y Battie, M. C. (2004) Multivariate genetic analysis of lifetime exercise and environmental factors. Medicine & Science in Sports & Exercise, 36 1559-1566.

ESTIMACIÓN MÍNIMO-CADRÁTICA DE TENDENCIAS ESPACIAIS NON LINEAIS

Rosa M. Crujeiras¹ e Ingrid Van Keilegom¹

¹Dpto. de Estatística e Investigación Operativa. Universidade de Santiago de Compostela.

²Institute de Statistique. Université catholique de Louvain.

1. RESUMO

O obxectivo deste traballo é estudar as propiedades tanto asintóticas como en mostras finitas dun estimador da función de regresión non lineal no caso de que os erros estean espacialmente correlados e a estrutura de dependencia espacial destes sexa descoñecida. A nosa proposta baséase nun método de mínimos cadrados non lineais xeralizados, tendo en conta a estrutura de dependencia e seguindo ideas similares ás de Gallant e Goebel (1976), no caso de series temporais.

O proceso de estimación proposto consiste en tres pasos: (1) estimación por mínimos cadrados dos parámetros da tendencia (función de regresión), ignorando a estrutura de dependencia dos erros; (2) estimación da matriz de covarianzas dos erros, baseada no estimador obtido no primeiro paso (segundo Lahiri *et al.* (2002)); (3) estimación por mínimos cadrados xeralizados para os parámetros da tendencia, tendo en conta a estrutura de dependencia dos erros.

Baixo condicións xerais, dérvase a consistencia do estimador dos parámetros da regresión xunto co sea límite Gaussiano. O comportamento do estimador en mostras finitas ilústrase cun estudo de simulación, no que se consideran diferentes estruturas de correlación e nun caso máis xeral, coa inclusión dunha covariable no modelo. O método tamén se aplica a datos reais.

REFERENCIAS

- Crujeiras, R.M. and Van Keilegom, I. (2009) Least-squares estimation of nonlinear spatial trends. To appear in *Computational Statistics and Data Analysis*, doi:10.1016/j.csda.2009.09.014.
- Gallant, A.R. and Goebel, J.J. (1976) Nonlinear regression with autocorrelated errors. *Journal of the American Statistical Association*, **71**, 961-967.
- Lahiri, S.N., Lee, Y. and Cressie, N. (2002) On asymptotic distribution and asymptotic efficiency of least squares estimators of spatial variogram parameters. *Journal of Statistical Planning and Inference*, **103**, 65-85.

LA ESTADÍSTICA EN EL ESTUDIO DE LOS PAISAJES ROCOSOS (MORFOLOGÍA GRANÍTICA)

Elena de Uña Álvarez¹

¹ Área de Geografía Física. Departamento de Historia, Arte y Geografía. Universidad de Vigo.

RESUMEN

En el estudio de los paisajes rocosos, desde su concepto como complejos de formas, existen niveles de incertidumbre que las aplicaciones de la estadística contribuyen a solventar. Esta comunicación expone sintéticamente y ejemplifica la cuestión para el supuesto de investigación en terrenos graníticos, considerando las formas menores erosivas.

Palabras clave: Estadística, Geomorfología, Granito.

1. PREMISAS

Un “dominio geomorfológico” se entiende tanto en sentido morfológico (estructura) como en sentido dinámico (procesos) referido a la ocupación de un espacio, donde se define por la presencia de formas características (entendiendo que puede haber otras secundarias o excluyentes): expresa un estado de equilibrio entre las variables de control ambientales e intrínsecas y considerados los atributos particulares de una forma o grupo de formas pueden observarse situaciones de convergencia, divergencia, u oscilación en el tiempo (Thornes, 1983). La cuestión del comportamiento de estos sistemas morfológicos (y su explicación) puede ser abordada desde su concepto como sistemas dinámicos, lo que supone la búsqueda de sus transformaciones y de sus posibles trayectorias (Culling, 1987). En este análisis la estadística juega un importante papel como herramienta metodológica.

Asumiendo que la inestabilidad es condición habitual de los sistemas de formas, su tiempo de vida podría definirse integrando los intervalos de eventos formativos (genéticos) y de eventos destructivos (erosivos), ambos de ocurrencia aleatoria, así como los procesos restauradores que conceptualmente se asimilarían a estados estables (Brunsdén, 1996). Se ha propuesto acudir a la ciencia de la complejidad, fundamentada en la percepción de las formas naturales como “sistemas adaptativos complejos” no lineales, estudiados a lo largo de un continuum geográfico (Malanson, 1999). La mera presencia de diversos tipos de formas menores en una masa rocosa puede ser entonces la evidencia de un crecimiento divergente de “pequeñas variaciones iniciales”, al que sigue un desarrollo mediante auto-refuerzo, con la creación de un espacio finito en el que se acelera, ralentiza o finaliza el proceso (Phillips, 2005). El estado actual de estas formas expresa los resultados de una serie de fenómenos interactivos con diversas edades en el contexto de la historia de un afloramiento (Vidal et al, 2004 y 2006; Uña Álvarez, 2005). La aplicación de la estadística es relevante para su definición, clasificación e interpretación.

2. CONDICIONES

La investigación sobre los patrones morfológicos se concreta en el examen de una serie de formas (eventos) relacionadas, en condiciones locales (muestras menores) y supra-locales (muestras mayores) con la finalidad de contribuir tanto a su correcta definición como a su jerarquización en una taxonomía operativa; además, se trata de testar hipótesis y/o generar nuevas líneas de trabajo para el conocimiento de los mecanismos geomórficos (Richards, 1996). La geomorfometría, su campo central, se enfrenta al problema de la abstracción numérica de las formas. La caracterización de las formas tiende a ser cualitativa (y subjetiva), la nomenclatura es múltiple (y polisémica): depende de la experiencia y de la escala que trata el investigador; al tener en cuenta las técnicas estadísticas es posible configurar alternativas para la selección de las muestras adecuadas, el tratamiento de las medidas y la elaboración de

su taxonomía: lograr una definición más precisa del ¿qué hay? y analizar mejor el ¿por qué? a través de diferentes secuencias (Pike, 1995; Mottershead, 2000; Norderg & Turkington, 2004).

El universo muestral corresponde a unidades discretas en los paisajes rocosos (formas), especificadas por estudios previos en términos cualitativos (tamaño/apariencia) como meso y/o microformas. Los criterios de inclusión definen como territorio de referencia para el muestreo terrenos graníticos que representan la variabilidad de los dominios geomorfológicos (marino, continental, fluvial, glaciar...) y que son significativos respecto a los espectros evolutivos (sin dataciones, con dataciones relativas y/o absolutas) presentando condiciones de accesibilidad. La realización del muestreo sigue la pauta de áreas estratificadas (facies litológica, altitud, posición) en itinerarios predefinidos para la selección de casos (Walford, 1995; Borradaile, 2003). El uso de la estadística tiene como finalidad la reducción de los datos primarios (registros de campo) y secundarios (parámetros derivados), la descripción numérica de la forma (índices morfométricos), la clasificación de los estados geomórficos y la interpretación de los resultados (patrones evolutivos) para ser confrontados a diversas hipótesis.

Cuadro 1: Aplicaciones de la Estadística

SECUENCIA	PROPIEDADES / ANÁLISIS
Dimensión (x, y)	Abstracción de la forma: isotropía, anisotropía Distribución y variabilidad escalar
Dimensión (x, y, z)	Distribución uniforme: isometría Distribución no-uniforme: alometría Dimensiones fractales
Interpretación	Diagnóstico de atributos independientes y/o dependientes Orden: estados y jerarquías, claves taxonómicas
Explicación	Relación signatura numérica - proceso - edad Discernimiento de ambigüedad, patrones evolutivos Dinámica de la forma en el paisaje

Basado en Pike (1995), Mottershead (2000), Borradaile (2003)

La cuantificación de las dimensiones morfológicas básicas (variables de anchura, longitud, profundidad) y derivadas (área, volumen) y la descripción numérica de la geometría observada en planta y sección (índices morfométricos) informan sobre la edad relativa de las formas y de la superficie rocosa en que se desarrollan, ya que se asocian a procesos irreversibles. Las técnicas estadísticas exploratorias permiten organizar de forma operativa los datos disponibles y detectar la estructura subyacente, identificando situaciones anómalas como registros de eventos atípicos. Las medidas estadísticas constituyen los límites teóricos del tiempo de vida de las formas en el contexto de una unidad meso/macro del paisaje. La clasificación inicial se elabora por el valor de las frecuencias asociadas a cada estado, en distintas áreas geográficas. Se consideran las relaciones jerárquicas dentro de cada muestra, la estructura interna de los casos por grupos de vecindad, mediante la técnica de análisis de conglomerados (discriminación de tipos de estado susceptibles de ser asociados a eventos diferenciales o a secuencias de desarrollo dominantes/subordinadas). El análisis de correlaciones y el análisis de componentes principales se utilizan habitualmente para estimar el grado de asociación de las variables (extrínsecas/intrínsecas) y las interacciones dominantes en los procesos generativos y/o degradativos (técnicas de regresión).

3. DOMINIOS

En la investigación de las formas en terrenos graníticos, el uso de la estadística ha resultado especialmente útil para el análisis dinámico de diferentes dominios geomorfológicos. En el caso de los circos glaciares (Olyphant, 1981; Evans, 2006) con la finalidad de avanzar en la interpretación de la dinámica de interface roca-hielo. En el de los complejos inselberg-pedimentos (Römer, 2007) para contribuir a la explicación de los procesos geomórficos a largo plazo en el paisaje. En el de las poblaciones de marmitas fluviales (Lorenz et al, 1994; Tinkler & Wohl, 1998; Richardson & Carling, 2005; Uña Álvarez et al, 2009) posibilitando la obtención de evidencias sobre la dinámica geomorfológica de los cauces de drenaje. Otros estudios se orientan con el objetivo prioritario de articular

modelos globales sobre la génesis y evolución de los paisajes graníticos, en diferentes secuencias temporales (Vidal Romaní, 1983; Twidale & Vidal, 2005): partiendo de los registros dimensionales de las formas menores erosivas, se contrastan los resultados con los de las dataciones absolutas para diversas superficies rocosas. Es el caso de las cavidades rocosas denominadas tafoni (Calking & Cailleux, 1962; Martini, 1978; Matsukura & Matsuoka, 1991; Lageat et al, 1994; Baonza, 1999; Campbell, 1999; Uña Álvarez, 2004; Uña Álvarez & Vidal Romaní, 2008) cuyas variables morfométricas poseen una clara relación con los sucesivos eventos de la historia geomorfológica de un macizo. Y de las conocidas con el nombre genérico de gnammas (Vidal Romaní, 1982; Uña Álvarez, 1999, 2002 y 2003; André, 2002; Uña Álvarez & Vidal Romaní, 2000 y 2006; Hall & Phillips, 2006; Domínguez Villar, 2006) que reflejan las huellas de las secuencias polifásicas en la evolución de un afloramiento. Las aplicaciones de la estadística favorecen no solo el tratamiento eficiente de la información geomorfológica sino también la configuración concisa de la comunicación de sus resultados, entendiendo que en este campo existe un tiempo/lugar específico para las mismas.

REFERENCIAS

- André, M.F. (2002) Rates of postglacial rock weathering on glacially scoured outcrops (Abisko-Riksgränsen area, 68°N). *Geografiska Annaler*, 84A (3/4), 139-150.
- Baonza, J. (1999) Varios Tafoni singulares en la Sierra de Guadarrama (Bustarviejo, Madrid). *Cuaternario y Geomorfología*, 13 (1/2), 53-62.
- Borradaile, G.J. (2003) *Statistics of Earth Science*. Berlin, Springer-Verlag.
- Brunsdén, D. (1996) Geomorphological events and landform change. *Zeitschrift für Geomorphologie*, NF 40 (3), 273-288.
- Calkin, P. & Cailleux, A. (1962) A Quantitative Study of Cavernous Weathering (taffonis) and its application to Glacial Chronology in Victoria Valley, Antarctica. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 6, 317-324.
- Campbell, S.W. (1999) Chemical weathering associated with tafoni at Papago Park, central Arizona. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24 (3), 271-278.
- Culling, W.E.H. (1987) Equifinality: Modern approaches to dynamical systems and their potential for geographical thought. *Transactions of the Institute of British Geographers NS*, 12 (1), 57-72.
- Domínguez Villar, D. (2006) Early formation of gnammas (weathering pits) in a recently glaciated area of Torres del Paine, southern Patagonia (Chile). *Geomorphology*, 76, 137-147.
- Evans, I.S. (2006) Allometric development of glacier cirque form: Geological, relief and regional effects on the cirques of Wales. *Geomorphology*, 80, 245-266.
- Hall, A.M. & Phillips, W.M. (2006) Weathering pits as indicators of relative age of granite surfaces in the Cairngorm mountains, Scotland. *Geografiska Annaler*, 88A (2), 135-150.
- Lageat, Y.; Sellier, D.; Twidale, C.R. (1994) Mégaliths et Météorisation des granites en Bretagne littorale, France du Nord-Ouest. *Géographie Physique et Quaternaire*, 48 (1), 107-113.
- Lorenc, M.W.; Muñoz, P.; Saavedra, J. (1994) The Evolution of Potholes in Granite bedrock (W Spain). *Catena*, 22, 265-274.
- Malanson, G.P. (1999) Considering complexity. *Annals of the Association of American Geographers*, 89 (4), 746-753.
- Martini, J.P. (1978) Tafoni Weathering with examples from Tuscany (Italy). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 22, 44-67.

- Matsukura, Y. & Matsuoka, N. (1991) Rates of Tafoni Weathering on uplifted shore platforms in Nojima-Zaki, Boso Peninsula, Japan. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, 51-56.
- Mottershead, D.N. (2000) Identification and mapping of rock weathering surface forms and features. *Zeitschrift für Geomorphologie NF, Suppl. Bd. 120*, 5-22.
- Nordberg, V.G. & Turkington, A.V. (2004) Weathering Geomorphology: Theoretical and methodological themes. *Physical Geography* 25 (5), 418-437.
- Olyphant, G.A. (1981) Allometry and cirque evolution. *Geological Society of America Bulletin*, 92 (9), 679-685.
- Phillips, J.D. (2005) Weathering instability and landscape evolution. *Geomorphology* 67, 255-272.
- Pike, R. (1995) Geomorphometry: Progress, practice and prospect. *Zeitschrift für Geomorphologie NF, Suppl. Bd. 101*, 221-238.
- Richards, K. (1996) Samples and Cases: Generalisation and Explanation in Geomorphology. In L. Rhoads y E. Thorn (eds.) *The scientific nature of Geomorphology*, Wiley & Sons, 171-190.
- Richardson, K. & Carling, P.A. (eds.) (2005) A typology of sculpted forms in open bedrock channels. *The Geological Society of America, Special Paper 392*.
- Römer, W. (2007) Differential weathering and erosion in a inselberg landscape in southern Zimbabwe. *Geomorphology*, 86, 349-368.
- Thornes, J.B. (1983) Evolutionary Geomorphology. *Geography* 68, 225-235.
- Tinkler, K.J. & Wohl, E.E. (eds.) (1998) *Rivers over rock: Fluvial processes in bedrock channels*. Washington, American Geophysical Union, Monograph 107.
- Twidale, C.R. & Vidal Romaní, J.R. (2005) *Landforms and geology of granite terrains*. Amsterdam, Balkema.
- Uña Álvarez, E. de (1999) Evidencias y pruebas significativas sobre la degradación subaérea en formas menores graníticas: Análisis de casos. *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 24, 177-190.
- Uña Álvarez, E. de (2002) Estudio de microformas graníticas tipo gnamma. Fundamentos, variables y aplicación en pías de Ourense y A Coruña (Galicia). *Aportaciones Geográficas en Memoria del Profesor L.M. Yetano Ruiz, Publicaciones de la Universidad de Zaragoza*, 529-537.
- Uña Álvarez, E. de (2003) Microformas tipo pia en paleosuperficies graníticas. Referencias sobre procesos y edad de exposición epigénica en Galicia (NW Macizo Ibérico). *Actas VI Congreso Galego de Estatística e Investigación de Operacións, Publicacións da Universidade de Vigo*, 83-88.
- Uña Álvarez, E. de (2004) Tafoni en rocas graníticas. Primera valoración estadística sobre tasas de desarrollo en el macizo de Ourense (Galicia, NW de la Península Ibérica). *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 29, 265-289.
- Uña Álvarez, E. de (2005) Paisajes graníticos: Claves de la investigación sobre los complejos morfológicos. *Estudios de Historia, Arte y Geografía-Libro Homenaje Prof. D. Fernández Ferro, Publicaciones de la Universidad de Vigo*, 691-707.
- Uña Álvarez, E. de & Vidal Romaní, J.R. (2000) Procesos degradativos en antiguas superficies grabadas sobre granitos: Indicadores de magnitud y patrones de estado. *Geogaceta*, 28, 145-148.
- Uña Álvarez, E. de & Vidal Romaní, J.R. (2006) Trayectorias morfológicas de las pías (vasques, gnammas). *Geomorfología y Territorio - IX Reunión Nacional de Geomorfología, Serie Cursos y Congresos USC*, 171, 795-802.

Uña Álvarez, E. de & Vidal Romaní, J.R. (2008) Some minor features (tafoni, cavernous forms) in the granite terrains of Los Riojanos (Pampa de Achala, Sierra Grande de Córdoba, República Argentina). Geometric and morphologic properties. *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 33, 83-100.

Uña Álvarez, E. de; Vidal Romaní, J.R.; Rodríguez Martínez-Conde, R. (2009) Erosive forms in fluvial systems. *International Conference in Memory Prof. J.B. Thornes ICOD, Murcia, Editum*, 465-468.

Vidal Romaní, J.R. (1982) El papel del agua en la evolución de la pía (vasque, gnamma): Correlación estadística de medidas. *Boletín Auriense*, XII, 83-112.

Vidal Romaní, J.R. (1983) El cuaternario en la provincia de La Coruña. Modelos elásticos para la formación de cavidades. Tesis Doctoral, Publicaciones de la UCM, 2 tomos.

Vidal Romaní, J.R.; Twidale, C.R.; Fernández Mosquera, D.; Uña Álvarez, E. de; Yepes Temiño, J. (2004) Rock of Ages. *Annual Binghamton Geomorphology Symposium (35th) - Weathering and Landscape evolution*, Lexington, University of Kentucky Publications, 31.

Vidal Romaní, J.R.; Uña Álvarez, E. de; Fernández Mosquera, D.; Sanjurjo Sánchez, J. (2006) Proposal of nomenclature for granitic forms. *Geomorfología y Territorio - IX Reunión Nacional de Geomorfología, Serie Cursos y Congresos USC*, 171, 803-814.

Walford, N. (1995) *Geographical Data Analysis*. Chichester, Wiley & Sons.

**USING ENVIRONMENTAL DATA AND NON-PARAMETRIC ADDITIVE REGRESSION
MODELS TO STUDY THE *MERLUCCIUS HUBBSI* COMERCIAL FISHERIES EFFORTS FOR
THE GALICIAN FLEET IN THE SOUTH WEST ATLANTIC**

Rubén Fernández Casal¹, Jesús M. Torres Palenzuela², Tomás Cotos Yañez³; Marta Darriba Estévez²;
Ana Pérez González³.

1 Departamento de Matemáticas. Fac. de Informática. Universidad da Coruña rfcasal@udc.es

2 Departamento de Física Aplicada. Fac. de Ciencias del Mar. Universidad de Vigo jesu@uvigo.es,

3 Departamento de Estadística e Inv. Op. Fac. de CC. Empresariales y Turismo. Campus de Ourense.
Universidad de Vigo

ABSTRACT

The aim of this work involves the use of environmental and fishing parameters in the framework of the project named “Aplicación de teledetección, inteligencia artificial y SIG al estudio de la variabilidad en la distribución de especies comerciales para la flota gallega en el Atlántico Sudoccidental”, financed by the Consellería de Innovación, Industria e Comercio, from Xunta de Galicia, together with historical catches data and non-parametric additive statistical techniques. This allow us to identify the geographical regions with the most favourable conditions for different target species fishing, basing on the environmental state at each moment and on the training in a Geographic Information System (Mapinfo). In this work it is shown the obtained results by studying the catch effort for commercial specie *Merluccius hubbsi* in the South West Atlantic area between the years 1993 to 2006. Non-parametric additive regression models avoid the restrictions of parametric models and moreover allow us to study better the effects of the environmental variables. With this aim of applying these models it has been obtained environmental data from MERCATOR Ocean model and Southern Oscillation Index (SOI) within the aforementioned project as well as the compiled data in the fishing logbooks proceeding from the Fishing Vessel Owners’ Cooperative of the Port of Vigo (ARVI).

Keywords: *Merluccius hubbsi*, generalized additive models

1. INTRODUCTION

The Argentine hake *Merluccius hubbsi* is one of the most important commercial species in the South West Atlantic and target specie for Spanish demersal trawlers operating on the High Seas of the Patagonian Shelf, i.e. on the edge of shelf and slope of 45- 47° S and 41-42° S outside the Argentine EEZ. The fishing grounds around the Falkland Islands have been divided in sub-areas (see Fig 1).

The present paper aims is to identify the geographical regions with the most favourable conditions for the target specie fishing, basing on the environmental variables from MERCATOR Ocean Model and the Southern Oscillation Index (SOI).

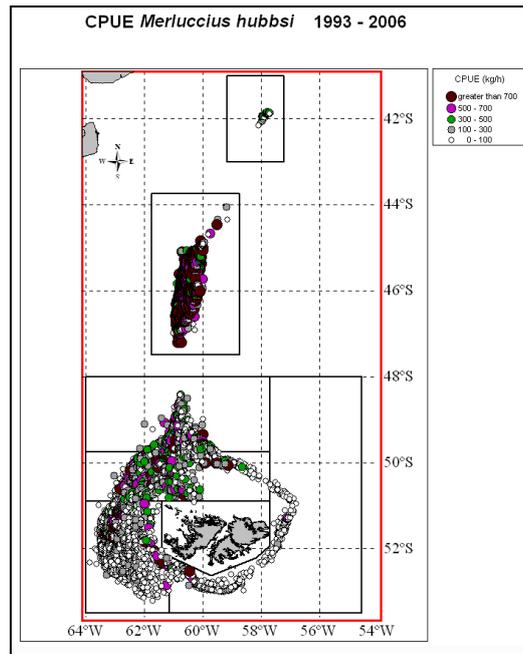


Figure 1: Study area showing the subzones used in this work.

Merluccius hubbsi is subject to traditional trawling and longline fisheries in Chile, Argentina, Uruguay and the Falkland Islands (Csirke, 1987). Argentinean hake inhabit Atlantic waters off South America: the Patagonian and Argentine Shelves between 28° and 54° S (Cohen et al., 1990).

Studies of habitat requirements of exploited marine fish have been driven both by the need to support management actions (e.g. to identify candidate Marine Protected Areas) and the increasing availability and accessibility of suitable tools. These include readily available remotely sensed data on a variety of surface oceanographic parameters, Geographic Information Systems (GIS) and powerful statistical modelling tools such as generalized additive models (GAM) (Hastie and Tibshirani, 1990).

The generalized additive mixed models (GAMM) allow an explicit consideration of spatial autocorrelation, particularly through the development of the “R” programming language (see R-project.org, Pierce et al., 2001, 2002; Valavanis et al., 2008, 2004; Zuur et al., 2007). Within the different non-parametric techniques, generalized additive models are of special importance due to the need for working with flexible multi-variant models that can be adapted to a wide variety of situations. Their main advantages are interpretability and flexibility. If the link function is the identity, the GAM is a nonparametric additive model. The generalized additive mixed models (GAMM) allow an explicit consideration of spatial autocorrelation.

The potential value of GIS in marine fisheries management has been widely recognized and applications have rapidly expanded. Applications of GIS in fisheries have included data management, environmental monitoring, ecosystem studies, stock assessment, forecasting, and fishery management. Spatial statistical analysis and Geographic Information Systems (GIS) technology provide the tools to model species-habitat relationships and their variability and identify essential habitat areas.

2. DATA SOURCES

Fisheries data were collected on board commercial vessels operating in the ATSW area between 1989 and 2006. These vessels are part of the Fishing Vessel Owners’ Cooperative of the Port of Vigo (ARVI).

Data were collected by filling in a form on board, including for each haul the date, the fishing hours, the location (in latitude and longitude) and the total catch (in kilograms) for each species. In a later step all this information was integrated into a database and a GIS, and some extra variables were derived from the previous ones:

- Temporal variables: Year, month, week of the year and Julian day (defined as the number of days elapsed since the 1st of January of the corresponding year).

- Catch per unit effort (CPUE) of single hauls was used as an abundance index for hake from the Fishing Vessel Owners’ Cooperative of the Port of Vigo (ARVI). We used the follow CPUE index:

$$\text{CPUE} = \text{catches (kg)} \times [\text{fishing hours}]$$

The following variables were used in order to predict the CPUE:

- Latitude and longitude: They indicate the location of the fishing hauls, and are related to the spatial variability of the catches in a given instant.
- Daily temperature and salinity data from 1993 to 2006 in the ATSW area were provided by MERCATOR. In summary, the following four variables were obtained from the MERCATOR data set: Depth; Sea Surface Temperature (SST); Sea Bottom Temperature (SBT); Sea Surface Salinity (SSS); Sea Bottom Salinity (SBS).
- Southern Oscillation Index (SOI): It is appreciated an important interannual variability in the catches of different species in the ATSW area.

3. METHODOLOGY

3.1 GIS and statistical analysis

Data from different sources were integrated into a database (MS Access) and GIS (MapInfo). Different software tools were used to perform the statistical analysis and generate graphics, including SPSS 16, MS Excel or R. Fishery and environmental data were processed and incorporated into a GIS (MapInfo) and MS Access database. Links were set-up between the different data sets in the GIS and database to allow data overlay for display and analysis. On the other hand, it was completed an exploratory analysis of the relationships between the CPUE and the environmental variables by using scatterplots and GIS maps.

3.2 Non-parametric additive regression models.

Additive models study the relationship between a response variable and a sum of unknown and smooth functions of the covariables. Let us assume that (X,Y) follows the additive model

$$Y = \alpha + f_1(X_1) + f_2(X_2) + \dots + f_r(X_r) + \varepsilon,$$

where the additive functions $f_i(\bullet)$ are unknown and smooth and the error has mean 0. Given $\mathbf{X} = \mathbf{x}_0$, the theoretical predictor is

$$E\{Y|\mathbf{X} = \mathbf{x}_0\} = \alpha + f_1(x_{01}) + f_2(x_{02}) + \dots + f_r(x_{0r})$$

Although only the unknown one-dimensional additive functions are considered, they could have components of any dimension, including for example, interactions of covariables.

This model extends linear model by eliminating the nonparametric structure, only requiring the addition of the covariables' effects. Furthermore, they preserve the interpretability of the linear models, because the conditional mean of the response variable is a sum of effects of the covariables. This allows to estimate clearly the contributions of the different covariables to the response.

We applied the previous model to the CPUE to obtain the predictions. We define the response as $Y=CPUE$ and covariables-vector $X=(Latitude, Longitude, Julian day, Daily temperature, Salinity, Depth, SST, SBT, SSS and SBS)$.

There are not standard criterias to select the variables included into the model. The selected additive model was constructed using a forward variable selection; at each step we select the mayor adjusted determination coefficient, to arrive at the optimum model. First, we considered one-dimensional components and secondly bi-dimensional components like interactions. Smoothing parameters were selected using generalized-cross-validation. In order to obtain a symmetric distribution of CPUE, a transformation of the variable response is applied.

4. RESULTS AND DISCUSSION

First of all, it was carried out a general descriptive study to the dataset, where meaningful differences on nominal and explanatory variables were observed among the grid zones (Fig 1). For instance, Table 1 shows the Argentine hake total catches per grid zone.

In the regression analysis we took the decision of study each zone separately, taking into account the percentage of catches (Table 1), and that the grid zone (46_S) has the highest number of records. We illustrate the performance of the model in *Merluccius hubbsi* CPUE.

Table 1: Argentine hake total catches per zone.

		Zone							
		42_S	46_S	49_S	MALV	MN	MS	MW	Total
<i>Merluccius Hubbsi</i>	Sum	69	11916287	72807	81	106166	4656	457454	12557520
	% in Zone	0.0%	94.9%	0.6%	0.0%	0.8%	0.0%	3.6%	

The whole fisheries dataset from 1993 to 2006 includes a total of 103711 records. There are catches from 34 vessels of 93 different species. After removing the outliers and records with CPUE lower than 1 kg/h, the resulting dataset includes 13180 records for the Argentine hake.

The square root of CPUE was used in order to approximate a symmetric distribution. Figure 2 shows the histogram of square root of CPUE.

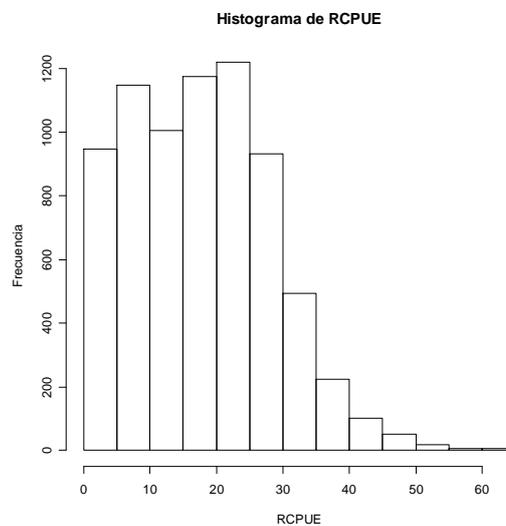


Figure 2: Histogram of square root (CPUE).

To eliminate the temperature seasonal component (Figure 3), we considered the residual of nonparametric estimation (type kernel smoother) as new covariables.

The additive model considered was (in order of inclusion):

$$\sqrt{CPUE} = \alpha + f_1(\text{Julian_Day}) + f_2(\text{Year}) + f_3(\text{Latitude, Longitude}) + f_4(\text{SOI}) + \varepsilon$$

The final fitted model explains a 52.5% of catches variability. In the Figure 4 the estimated additives effects are shown. The approximate significance of all smooth terms was $<2e-16$.

In summary, the GAM results with identity link function reveal strong and consistent additive effects of Julian day, Year, position of longitude and latitude and SOI. Surprisingly, none of the variables: temperature, salinity or depth, were selected by the proposed selection process.

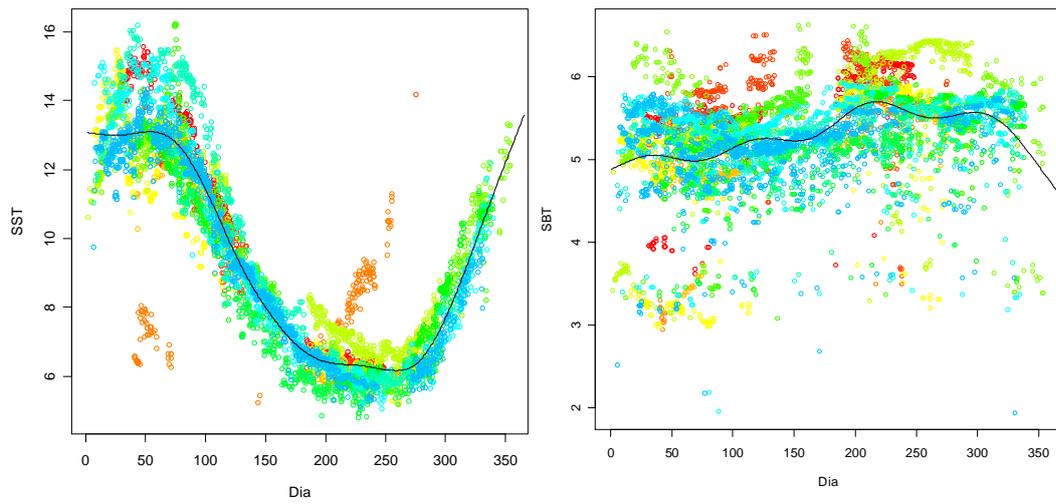


Figure 3: SST (on the left) and SBT (on the right) by Julian day (circles with different colors depending on year) and its nonparametric estimation (solid line).

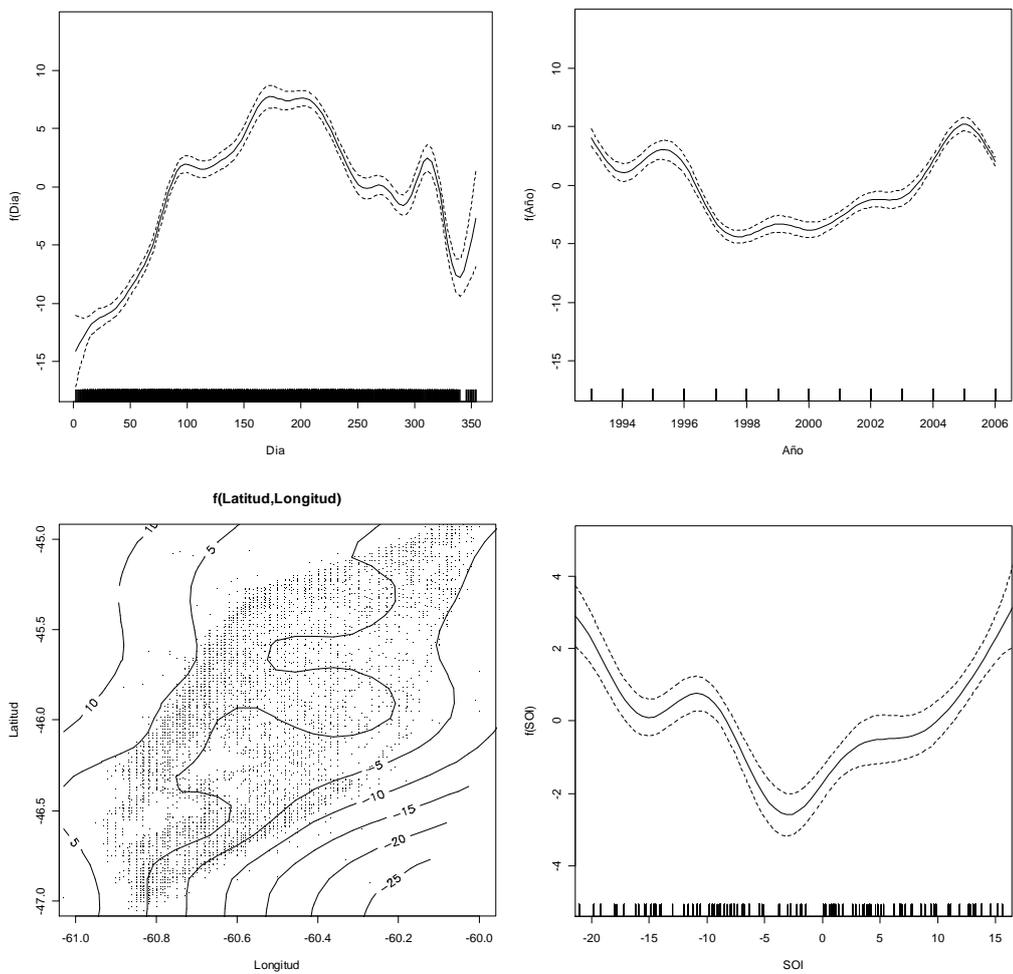


Figure 4: Estimations of explanatory variables effects for square root of *Merluccius hubbsi* CPUE. Top: left panel, Julian Day and right Year, bottom left panel (Latitude, Longitude) and right SOI.

REFERENCES

- Cohen, D., Inada, T., Iwamoto, T. and Scialabba, N. (1990) Gadiform fishes of the world (Order Gadiformes). An annotated and illustrated catalogue of cods, hakes, grenadiers and other gadiform fishes known to date. FAO Fisheries Synopsis No. 125. Vol. 10. FAO, Rome, Italy, 442 pp.
- Csirke J. (1987) Los recursos pesqueros patagónicos y las pesquerías de altura en el Atlántico Sud-occidental. FAO, Rome Doc. Tec. Pesca. 280.
- Hastie, T.J. y Tibshirani, R.J. (1990). Generalized Additive Models. Chapman & Hall.
- Pierce, G. J., Wang J., Zheng, X., Bellido, J. M., Boyle, P. R., Robin, J. P. and Denis, V. (2001). The cephalopod fishery GIS for the northeast Atlantic: development and application. *International Journal of Geographical Information Science*, 15, 763-784.
- Pierce, G. J., Wang, J. and Valavanis, V. (2002) Application of GIS to cephalopod fisheries: workshop report. *Bulletin of Marine Science*, 71, 35-46.
- R Development Core Team (2009). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Valavanis, V. D., Georgakarakos, S., Kapantagakis, A., Palialexis, A. and Katara, I. (2004) A GIS environmental modelling approach to essential fish habitat designation. *Ecological Modelling*, 178, 417-427.
- Valavanis, V. D., Pierce, G. J., Zuur, A. F., Palialexis, A., Saveliev, A., Katara, I. and Wang, J. (2008) Modelling of essential fish habitat based on remote sensing, spatial analysis and GIS. *Hydrobiologia*, 612, 5-20.
- Zuur, A.F., Ieno, E.N. and Smith, G.M. (2007) *Analysing ecological data*. Springer.

IMAXES CLASIFICADAS AUTOMÁTICAMENTE CUNHA FERRAMENTA GRATUÍTA DESENROLADA POR SICUBO S.L.

Pablo G. Rodríguez ¹, Pablo Arias ², Fernando Calle ², e Fernando López ³
{pablogr, jparias, fcalle}@unex.es, jflopez@sicubo.com

¹ Departamento de Ingeniería de Sistemas Informáticos y Telemáticos, Universidad de Extremadura

² Departamento de Matemáticas, Universidad de Extremadura

³ Sicubo S.L., Cáceres

RESUMO

O interese das imaxes dixitais na sociedade actual ten unha importante demanda nos últimos anos. Desta maneira xurdiron novos campos de aplicación neste senso, entre os que destaca a *recuperación de imaxes baseadas no seu contido* (CBIR, *Content-Based Image Retrieval*). Nestes sistemas o obxectivo é a búsqueda e recuperación das imaxes máis semellantes. Nembargantes, imaxes cun gran número de características iguais, poden ser moi diferentes desde o punto de vista do usuario que fai a búsqueda. Estas características que se extraen automaticamente das imaxes é difícil que reflexen o comportamento humano cando está a facer semellanzas ou relacionando imaxes. Esta falta de concordancia entre o que busca o ordenador e a mente do ser humano é o que se chama *vacío semántico*. Neste proceso de búsqueda ten un papel importante a clasificación das imaxes, tanto para a catalogación das mesmas por parte do usuario coma para as tarefas de aprendizaxe neste tipo de sistemas. Qatris Imanager é un sistema comercial gratuito desenrolado pola empresa Sicubo S.L. O método de clasificación implementado na aplicación é supervisado e está baseado na regresión logística bayesiana, o que permite ademais introducir a opinión do usuario na fase de aprendizaxe do sistema. Neste traballo imos plantexar un estudio do comportamento do método proposto cunha base de datos xenérica, nun dominio non-específico, mostrando tanto resultados positivos como negativos, e a partir deles establecer unha discusión que nos permita coñecer millor aspectos relevantes na *búsqueda e recuperación de imaxes baseadas no seu contido*.

Palabras y frases clave: sistemas CBIR (*Content-Based Image Retrieval*), búsqueda e clasificación de imaxes, aprendizaxe, xestión de documentos multimedia.

1. INTRODUCCIÓN: OS SISTEMAS CBIR E A CLASIFICACIÓN DAS IMAXES

Nos últimos anos o interese na sociedade por todo o relacionado ca multimedia creceu enormemente e os aspectos referentes cas imaxes dixitais non son unha excepción. Este crecemento fai que xurdan novos campos de investigación, coma é o caso da *recuperación de imaxes baseadas no seu contido* (CBIR, *Content-Based Image Retrieval*). O obxectivo das técnicas CBIR é a recuperación de información dun xeito automático, traballando cas características extraídas das imaxes que se atopan na base de datos, para dunha forma eficaz (un bo resultado) e eficiente (de forma rápida), atopar as imaxes semellantes a unha dada [Cox et al. 2000]. Estas características a obter poden ser de cor, textura e formas, e ademais poden ser procesadas globalmente ou de xeito local, marcando nas zonas de interese o tipo de características que buscamos [Lew 2001]. Por exemplo, se buscamos imaxes con mar, a parte inferior deberían ser de cor azul ou se falasemos de postas de sol, a parte de enriba sería de tonos anaranxados ou vermellos [Smeulders et al. 2000].

Para buscar as imaxes máis semellantes é necesario aproximar a interpretación que o ordenador fai das características extraídas e de cómo o cerebro humano traballa cando busca semellanzas [Rui et al. 1999]. A esta separación é o que os traballos científicos chaman vacío semántico. Por outro lado, esta interpretación é moi subxetiva e totalmente dependente do usuario final [Zhou and Huang 2003].

Neste traballo partimos dun método de comparación por pares baseado na regresión logística bayesiana [Berger 1985], para a determinación de imaxes semellantes cando dispomos de certa información sobre a semellanza que existe entre algunhas das imaxes da colección. O procedemento está baseado nun método de agregación de preferencias dado por [Arias-Nicolás et al. 2008] para determinar unha función de utilidade aditiva nun grupo de decisores a partir das súas funcións de utilidade individuais. O método é rápido e polo tanto práctico cando se aplica a clasificación das imaxes, xa que é particularmente útil en problemas cun gran número de características e poucas imaxes [Durán et al. 2009].

O método foi implementado en “Qatris IManager”, un potente buscador, editor e clasificador de imaxes da empresa Sicubo, S.L. Esta empresa de base tecnolóxica foi a primeira *spin-off* da Universidad de Extremadura desde o ano 2004 e está ubicada en Cáceres (<http://www.sicubo.com/>) [Durán et al. 2009]. “Qatris IManager”, pode facer consultas atendendo a tres tipos de características: cor, texturas e formas [Choras 2003].

Neste traballo imos plantexar un estudo do comportamento do método proposto cunha base de datos generalista, nun dominio de aplicación amplo, con dez categorías ben diferentes cada unha delas e con poucas relacións entre as mesmas, tal e como trata de caracterizar o cerebro humano, mostrando tanto resultados positivos como negativos. Partindo dos resultados obtidos, tentaremos obter certas reflexións de cómo traballan estes sistemas CBIR e posibles implicacións con este tipo de ferramentas empregadas para un futuro non moi lonxano na forma de operar ca *búsqueda e recuperación de imaxes baseadas no seu contido*.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Como xa se mencionou, “Qatris IManager” é un software comercial e gratuito da empresa Sicubo S.L. (<http://www.sicubo.com/>). Posee un potente *robot* ou *crawler* para “absorber” imaxes en diferentes directorios da web con multitude de opcións e un sistema de axuda para cada un dos pasos necesarios para a configuración do robot. O motor da base de datos foi totalmente desenvolada pola propia empresa. E para facer a indexación utilizouse un árbol-Q para que as búsquedas sexan eficientes [Jurado and Barrena 2002].

Para este traballo creouse unha base de datos de 2.000 imaxes. Na Figura 1 pódese apreciar o variadas que son as imaxes e o difícil que pode resultar establecer un patrón común dentro de cada clase. En total traballamos con dez clases e dentro de cada categoría con 200 imaxes cada unha. A clases foron as seguintes: Animais, Árbores, Atardecidas, Círculos, Coches, Edifícios, Frores, Formas, Persoas, e Texturas.

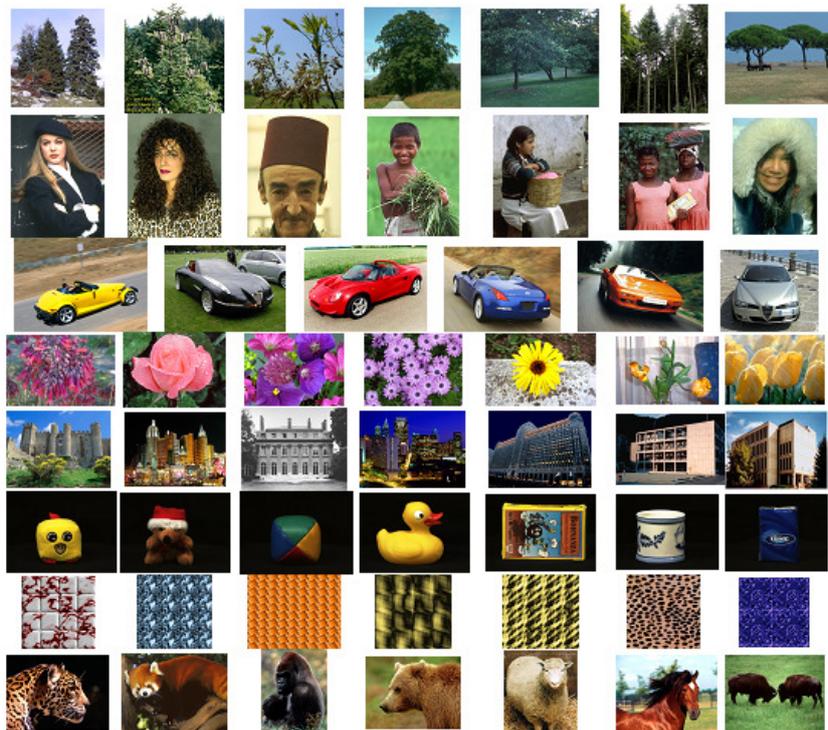


Figura 1: Imaxes utilizadas na base de datos en oito das dez categorías empregadas

2.1. Obtención do vector de características

Cada unha das imaxes é representada por un vector de características de 110 valores. O vector atópase dividido a súa vez en 3 grupos: As 60 primeiras características son de cor, as seguintes 41 son de texturas e finalmente as nove restantes son de formas.

As características de cor están baseadas no modelo HLS (*Hue, Saturation, Luminosity*; matiz, saturación e luminosidade), decantándonos por este modelo debido a que a percepción humana traballa de forma bastante similar a como o fai este modelo de cor. Discretízámola cor en 12 cores no matiz (Hue) e 3 máis correspondentes o branco, gris e negro no eixe da luminosidade (15 cores en total), indicando a porcentaxe de cor que ten cada un [MacDonald and Luo 2002]. Por outro lado, as características da cor tamén utilizámolas para recoller información da súa distribución espacial [Cinque et al. 1999], en particular un baricentro de cada unha das 15 cores discretizadas cas súas coordenadas na imaxe (x, y), engadindo así trinta características máis. Tamén engadiuse a información da desviación estándar para cada baricentro obtido. En total son 60 características de cor.

As características de texturas foron obtidas aplicando dous métodos amplamente coñecidos [Cernadas et al. 2005]. O primeiro deles está baseado na matriz de coocurrencia de niveis de grises de Haralick. Os seus valores foron calculados contabilizando o número de veces que cada par de niveis de grises acontece a unha distancia dada e para tódalas direccións. As características obtidas foron: enerxía, inercia, contraste, momento da diferenza inversa, e o número de non-uniformidade. O segundo método trata de detectar só primitivas de textura lineais e baséase na matriz de ringleiras, onde trata de contar píxeles consecutivos co mesmo nivel de gris. Obtéñense catro matrices, unha para cada dirección analizada (0°, 45°, 90°, e 135°), anotando o número de ringleiras por imaxe. As características obtidas son: énfasis das ringleiras de gran lonxitude, énfasis das ringleiras de lonxitude corta, non-uniformidade dos niveis de grises, non-uniformidade das ringleiras, porcentaxe de ringleiras, ringleiras cortas de nivel de gris baixo, ringleiras cortas de nivel de gris alto, ringleiras largas de nivel de gris baixo, e ringleiras largas de nivel de gris alto. Estas nove características son obtidas catro veces, unha para cada dirección [Reyes et al. 2008].

Para as características de formas as imaxes foron preprocesadas mediante o uso de Contornos Activos para segmentalas e detectar as formas dos contornos presentes nas imaxes [Antequera et al. 2007]. As características de formas baseáronse nos momentos de Hu (primeiro e segundo momento), o centroide (centro de gravidade), ángulo de inercia mínimo, área, perímetro, porcentaxe de área e perímetro, e os eixes maior e menor da elipse que contén o contorno. O método usado explícase en [Caro et al. 2007].

2.2. Método de regresión loxística bayesiana

En “Qatris Imanager” un método de clasificación supervisado eficiente foi implementado, estando baseado na regresión logística baiesiana. Este método destaca pola súa adaptabilidade a distintos tipos de clasificacións e pola súa facilidade para incorporar a opinión do usuario na fase de aprendizaxe do sistema [Arias-Nicolás et al. 2008].

O método necesita entrenamento e unha fase posterior de testeo ou proba. Na primeira fase requírese unha serie de imaxes xa previamente clasificadas para a determinación de patróns que serán utilizados na fase de proba do clasificador correspondente. Unha das ventaxas máis importantes do clasificador de regresión loxístico baiesiano con respecto a outros métodos, e que incorpora de forma sinxela e progresiva nova información nas distintas etapas do proceso de aprendizaxe. O modelo multinomial é unha xeneralización directa da regresión loxística binaria para un número determinado de clases ou categorías [Durán et al. 2009].

2.3. A aprendizaxe e a interfaz de usuario

O sistema aprende das respostas proporcionadas polo decisor e actualiza esta información. Utilizando a metodoloxía baiesiana, temos a distribución a posteriori dos parámetros. Unha vez optimizada ésta, o sistema ofrece o usuario novas imaxes semellantes. O proceso repítese ata que o decisor móstrase conforme co resultado.

A Figura 2 mostra o resultado dunha búsqueda en “Qatris Imanager” e o sinxelo que resulta interaccionar co sistema. Nesta figura podemos observar a interfaz de usuario para unha búsqueda das imaxes máis semellantes.

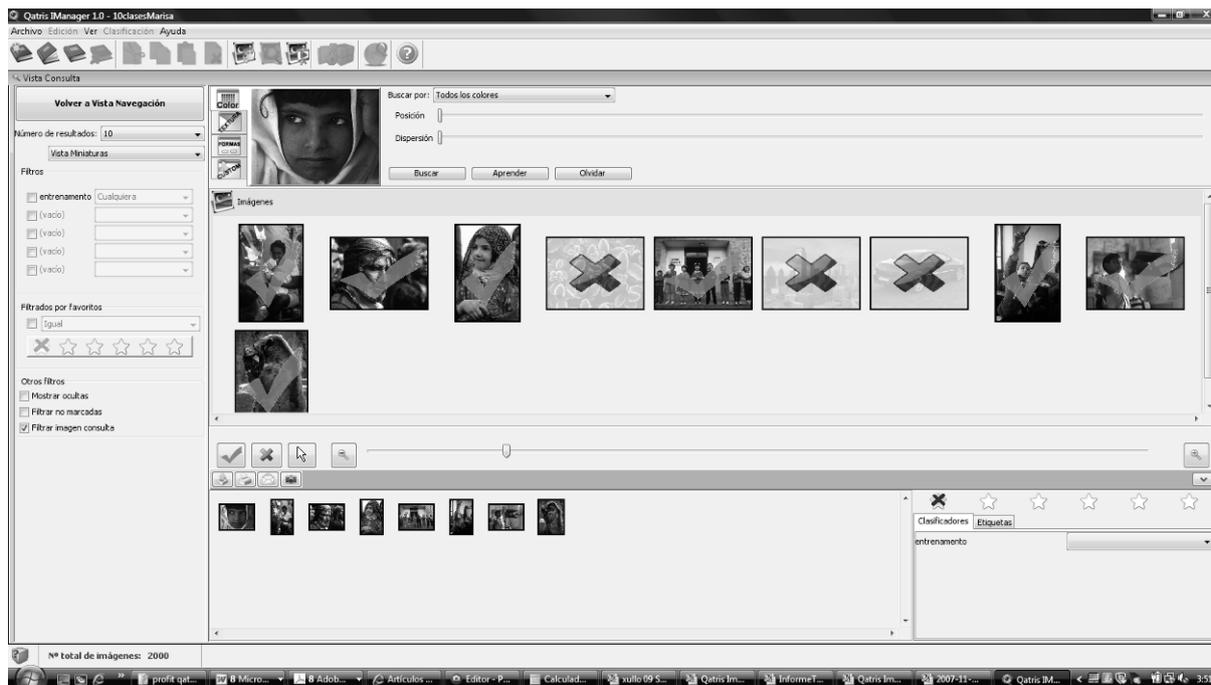


Figura 2. A tarefa de aprendizaxe en “Qatris Imanager”.
Búsqueda das dez imaxes máis semellantes a unha dada.

3. RESULTADOS E DISCUSIÓN

Tal e como xa se comentou, temos dez clases con 200 imáxenes para cada categoría (Animais, Árbores, Atardecidas, Círculos, Coches, Edificios, Frores, Formas, Persoas, e Texturas). As 100 primeiras de cada unha das clases, empréganse para o entreno. Cas outras cen de cada clase agrúpanse nunha carpeta, tódalas imaxes xuntas para tódalas categorías, para poder avaliar o comportamento do clasificador, e dicir vaise a comprobar a qué clases se van a ir vinculando cada unha das imaxes.

Observando as porcentaxes de acerto para cada imaxe na Táboa 1, vemos que o noso clasificador ten un pouco de todo. Deseguido pasamos a comentalos resultados obtidos.

Táboa 1: Resultados porcentuais das imaxes clasificadas correctamente por cada unha das 10 categorías utilizadas na base de datos

CLASES	Animais	Árbores	Atardecidas	Círculos	Coches	Edificios	Frores	Formas	Persoas	Texturas
%	22	87	54	69	89	93	51	99	62	39

No proceso de clasificación cada imaxe a testear, indica a porcentaxe que o noso clasificador na súa primeira opción lle da o sistema ó usuario para que pertenza a unha ou outra clase. No caso concreto da Figura 3 por exemplo, o animal que está a clasificar ten as seguintes porcentaxes de maior a menor: animais 43,161%, frores 34,326%, atardecidas 4,75%, árbores 4,635%, formas 3,567%, coches 3,21%, edificios 2,762%, círculos 2,276%, persoas 0,894% e texturas 0,418%. Neste caso concreto o bo e que o noso clasificador identificou perfectamente a categoría da imaxe, e coma parte negativa é que tamén lle deu unha porcentaxe alta de pertenza a categoría de “Frores” con casi un 35%.

Outro aspecto relevante na nosa clasificación ca base de datos exposta é o feito de que moitas das clasificacións que na Táboa 1 aparecen como malas, desde unha perspectiva positiva habría que ter en conta que en moitos casos a categoría a que en realidade pertencen, ven en segundo o terceiro lugar en canto a porcentaxe de pertenza a esa clase. Isto non aparece reflexado nos porcentaxes de acerto das imaxes de proba.

Dos resultados obtidos, vemos como é lóxico que na clase de “Formas”, soamente comete un erro cunha das imaxes, e as formas neste caso están en segundo lugar; As imaxes desta categoría son sinxelas para o sistema porque todas elas teñen un fondo negro. A categoría dos “Edificios” e a máis sorprendente de forma positiva, xa que hai edificios de moitas formas e fondos diferentes e os resultados son bos (93%). Sorprende tamén a dos

árbores, aínda que pola cor dominante do verde, parece que podemos interpretar estes bos resultados. Por outro lado, moitas das árbores que clasifica mal, son propostas como “Edificios” o ser altos e apuntar hacia o ceo, sobre todo nos casos en que predomina na imaxe o tronco marrón sobre o verde das follas das árbores. Tamén os coches teñen moi bos resultados a pesar da gama ampla de cores e distintas posicións dos mesmos; Neste caso parece que o ter o coche no centro da imaxe, facilita ó sistema a identificación do tipo de obxecto ou imaxe. Tamén sorprende positivamente que acerte na categoría “Persoas” un 62%, cando as imaxes son moi variopintas, con caras, corpo enteiro, grupos de persoas, etc. Posiblemente nas “Atardecidas” e “Frores” o porcentaxe debería ser maior, xa que son imaxes relativamente homoxéneas. E na parte negativa están as “Texturas” e os “Animais”. Nas imaxes de texturas posiblemente necesítanse bases de datos propias con varias subcategorías para que se estudien as súas posibilidades de acerto. E a dos “Animais” era previsible xa que as diferencias dunhas imaxes a outras eran moi grande e igual cas “Texturas” esto traballaría moito millor facendo subcategorías, dentro da clase “Animais”.



Figura 3. Imaxe clasificada con porcentaxes de pretenza a cada categoría en base o clasificador implementado no sistema

4. CONCLUSIONES

En definitiva, os resultados son bos tendo en conta que as categorías cas que se estivo a traballar eran moi variadas e algunha delas realmente complexas, e incluso dentro das propias categorías as imaxes eran moi diversas, sendo difícil extraer un patrón común entre elas. Por outra banda, o comportamento do sistema sería moito millor se estivesemos a traballar con menos clases, tendo en conta así que dez clases é un número importante para un sistema de este tipo. Polo tanto, sinalar que sistemas CBIR que traballan con entornos específicos ou dominios concretos, son moito máis eficientes, nembargantes traballos coma éste, demostran que é posible traballar con entornos máis xenéricos en dominios amplos e con resultados máis que aceptables.

5. LIÑAS FUTURAS

Actualmente Sicubo S.L. está a traballar noutro sistema, denominado “Qatris Docugest”, no que se facilita a xestión de documentos dixitalizados para as PEMES (pequenas e medianas empresas), cun escáner integrado no sistema, que localiza de forma automática campos destes documentos que despois pode clasificar. O propio usuario pode ir comprobando os datos que a base de datos vai “absorvendo” dos documentos que se van dixitalizando na propia pantalla o mesmo tempo que traballa cos seus datos na aplicación. A interfaz tamén permite traballar con asentos contables en *ContaPlus* e ten acceso remoto a través da web (unha aplicación web). Tódalas funcións de clasificación estadística de “Qatris Imanager”, estánse integrando en maior ou menor medida en “Qatris Docugest” para ofrecer un millor servizo, dependendo das necesidades do usuario final.

AGRADECIMENTOS

O noso máis sincero agradecemento a todo o departamento de I+D+i de Sicubo S.L. pola súa inestimable axuda e pola dedicación que fixeron posible a realización de este traballo e sobre todo da ferramenta “Qatris Imanager”. Por outro lado a empresa quere agradecer o CDTI a súa confianza ca concesión dun proxecto NEOTEC (ref. 20050367) no ano 2005. Os autores tamén queren recoñecer o apoio do Ministerio de Ciencia e Innovación e á Unión Europea a través dos Fondos FEDER, mediante a súa financiación cos proxectos de referencias TSI2007-66706-C04-03, TIN2008-06796-C04-03/TSI, TIN2008-03063 e TIN2005-05939. Ademais agradecer á Junta de Extremadura que financiou parte do noso traballo con axudas ó grupo neste ano 2009 (GRU09046). Finalmente, engadir o proxecto rexional financiado tamén pola Junta de Extremadura con referencia PDT08A021, onde estamos a utilizar toda a algoritmia desenrolada neste traballo.

REFERENCIAS

- Antequera, T., Caro, A., Rodríguez, P.G., Perez, T. (2007). Analyzing Monitoring the ripening process of Iberian ham by computer vision on magnetic resonance imaging. *Meat Science*, 76 (3), 561-567.
- Arias-Nicolás, J.P., Martín, J. and Pérez C. (2007). A logistic regression-based pairwise comparison method to aggregate preferences. *Group Decision and Negotiation*, 17 (3), 237-247.
- Berger, J. O. (1985), *Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis*, Springer.
- Caro, A., Rodríguez, P.G., Palacios, R., Antequera T. (2007). Shape-based classification of ham muscles on Magnetic Resonance Imaging. *Lecture Notes in Computer Science (LNCS-4478): Pattern Recognition and Image Analysis*, 4478, 588-595.
- Cernadas, E., Carrion, P., Rodríguez, P.G., Antequera, T., Muriel, E. (2005). Analyzing magnetic resonance imaging of Iberian Loin to predict its sensorial characteristics. *Comput. Vis. Image Underst.* 98, 345-361
- Cinque, L., Levialdi, S., Pellican, A., Olsen, K.A. (1999). Color-Based Image Retrieval Using Spatial-Chromatic Histograms. *IEEE Int. Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS'99)*, Vol.2, 969-973.
- Chorás, R.S. (2003). Content-Based Retrieval Using Color, Texture and Shape Information. *Lecture Notes in Computer Sciences*, 2905, 619-626.
- Cox, I.J., Miller, M.L., Minka, T., Papathornas, T., Yianilos, P. (2000) The Bayesian image retrieval system, PicHunter: theory, implementation and psychophysical experiments. *IEEE Trans. Image Process.*, 9, 20-37.
- Durán, M.L., Rodríguez, P.G., Arias-Nicolás, P., Martín, J., Disdier, C. (2009). A perceptual similarity method by pairwise comparison in a medical case. *Machine Vision and Applications* (aceptada para a súa publicación: DOI 10.1007/s00138-009-0201-3).
- Jurado, E., Barrena, M. (2002). Efficient Similarity Search in Feature Spaces with the Q-tree. 6th East European Conference ADBIS 2002. Bratislava, Slovakia. *Advances in Databases and Information Systems. Lecture Notes on Computer Science* 2435, 177-190.
- Lew, M.S. (2001). *Principles of Visual Information Retrieval*. Springer, Berlin.
- MacDonald, L.W., Luo, M.R. (2002). *Colour Image Science: Exploiting Digital Media*. Wiley.
- Reyes, C., Durán, M.L., Alonso, T., Rodríguez, P.G., Caro, A. (2008). Behaviour of texture features in a CBIR system. *Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI-5271): Hybrid Artificial Intelligence Systems*, 5271, 425-432.
- Rui, Y., Huang, T.S., Chang, S. (1999). Image retrieval: current techniques, promising directions and open issues. *J. Vis. Commun. Image Represent*, 10, 39-62.
- Smeulders, A., Worring, M., Santini, S., Gupta, A., Jain, R. (2000). Content-based image retrieval at the end of the early years. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 22(12), 1349-1380.
- Zhou, X.S., Huang, T.S. (2003). Relevance feedback in image retrieval: a comprehensive review. *Multi Med. Syst.*, 8(6), 536-544.

A ADMINISTRACIÓN PÚBLICA COMO FONTE DE DATOS DA MOBILIDADE LABORAL NA EURORREXIÓN GALICIA-NORTE DE PORTUGAL

Pilar García Soidán¹, Margarita Valcarce Fernández², Marta Fernández Prieto³ e Francisca Fernández Prol³

- 1 Departamento de Estatística e Investigación Operativa. Universidade de Vigo
- 2 Departamento de Didáctica, Organización Escolar e Métodos de Investigación. Universidade de Vigo
- 3 Departamento de Dereito Público Especial, Comunicación Audiovisual e Publicidade. Universidade de Vigo

RESUMO

O estudo do mercado de traballo na Eurorrexión Galicia-Norte de Portugal require a utilización de datos precisos e actualizados. Neste sentido, os distintos organismos da Administración Pública española e portuguesa revélanse como fontes importantes de información, se ben presentan certas limitacións. O obxectivo deste traballo é amosar diversas variables recollidas polos órganos públicos que poden utilizarse como indicadores de referencia para a análise do mercado laboral nas dúas zonas da Eurorrexión involucradas.

Palabras e frases crave: Eurorrexión, indicadores, mercado laboral.

1. INTRODUCCIÓN

A proximidade entre España e Portugal xerou unha realidade social e económica caracterizada polo constante fluxo de persoas, capitais e intereses entre os dous países, especialmente nas rexións situadas a ambos lados da fronteira. Son numerosas as repercusións de tal intercambio permanente, de modo que tanto o ordenamento comunitario como os dereitos internos dos estados implicados dotáronse de numerosas normas na materia. En particular, diversos organismos da Administración Pública española e portuguesa reciben comunicación dos desprazamentos de traballadores ou persoas en busca de emprego entre ambos países, polo que se revelan como fontes importantes de datos para o coñecemento deste contexto e da súa evolución.

O presente estudo ten como obxectivo identificar, a partir da información existente, diversas variables que sirvan como indicadores de referencia para a análise do mercado laboral da Eurorrexión Galicia-Norte de Portugal. O contido que aquí se presenta forma parte dun traballo máis amplo (Fernández Prieto et al, 2009), levado a cabo baixo a supervisión e coordinación da Confederación de Empresarios de Galicia, que inclúe o estudo do marco xurídico no que se desenvolve a mobilidade laboral no territorio da Eurorrexión, así como a descrición e análise dos datos existentes relativos aos indicadores mencionados. En particular, neste estudio farase referencia a dous tipos de variables, restrinxindo a información que proporcionan, cando sexa posible, ás zonas da Eurorrexión implicadas:

Os indicadores que aportan información sobre a mobilidade da poboación en xeral, xa que permiten caracterizar os fluxos de poboación entre España e Portugal, e no sentido inverso.

Os indicadores que se refiren especificamente ao mercado laboral e ao desprazamento de traballadores, relativos á oferta/demanda de emprego e tamén aos traballadores que se desprazan por mor dunha prestación de servizos transnacional ou aqueles que residen nun estado distinto ao de actividade (traballadores transfronteirizos).

2.PRINCIPAIS INDICADORES

Comezando polo estudo da mobilidade da poboación, en xeral, débese ter presente que o principio de libre circulación afecta as persoas que se desprazan para o desenvolvemento dunha actividade laboral pero tamén pode abranguer aos traballadores unha vez rematada a súa actividade ou aos propios familiares que os acompañen. Aínda así, considerouse de interese recoller estas variables, referidas ao número total de cidadáns que se desprazan dun estado ao outro, pola vinculación da mobilidade poboacional ao aspecto económico, xa que o dereito a residencia vai depender a súa vez de que a persoa residente traballe ou dispoña de rendas alternativas.

Como fontes de datos destes indicadores destacan dous organismos, que funcionan a nivel nacional en ambos países e desenvolven competencias semellantes, como son o Instituto Nacional de Estatística portugués (INE-P) e o Instituto Nacional de Estadística español (INE-E). O primeiro deles proporciona información sobre as variables recollidas polo Servizo de Estrangeiros e Fronteiras portugués (SEF), namentres que no organismo español trátanse de datos de produción propia (obtidos a través da Oficina do Censo Electoral).

Tamén en España, o Ministerio de Trabajo e Inmigración (MTI), con ámbito de actuación nacional, resulta de interese como fonte de información sobre a mobilidade de persoas cara a España; non obstante, a difusión dos datos axustados a Galicia, procedentes deste organismo ou do INE-E, realízase a Secretaría Xeral de Emigración (SXE), dependente do goberno autonómico galego. A Táboa 1 recolle parte da información obtida, restrinxíndoa o máximo posible ás zonas involucradas na Eurorrexión Galicia-Norte de Portugal.

Táboa 1: Diversos indicadores da mobilidade da poboación na Eurorrexión Galicia-Norte de Portugal

Dirección	Órgano que produce / difunde a información	Indicador	Data da información máis actualizada
Portugal-España	MTI / SXE	Cidadáns portugueses residentes en Galicia	01/01/09
España-Portugal	INE-E / SXE	Cidadáns galegos residentes en Portugal	01/01/09
España-Portugal	SEF / I NE-P	Cidadáns españois residentes no Norte de Portugal	Ano 2007

Centrándonos agora propiamente no estudo da mobilidade laboral nesta Eurorrexión, cabe destacar que cada un dos estados implicados dispón dun órgano específico encargado da análise do comportamento e tendencias do mercado laboral dentro das súas fronteiras, sen restrinxirse necesariamente ás zonas involucradas na Eurorrexión Galicia-Norte de Portugal.

No caso de Portugal o referido organismo recibe o nome de Observatório do Emprego e Formação Profissional, que funciona con competencias a nivel nacional, namentres que en España existen os denominados Observatorios Ocupacionais, que desenvolven o seu labor ao servizo do goberno central e noutros casos dos gobernos autonómicos, entre os que se atopa a Xunta de Galicia. Elaboran informes a partir dos datos que recollen ou dos que lles subministran os servizos públicos de emprego de cada estado, denominados Instituto de Emprego e Formação Profissional (IEFP), en Portugal, e Servicio de Empleo Público Estatal (INEM), en España.

Por outra banda, os órganos encargados da xestión do sistema da Seguridade Social (SS) en cada país dispoñen tamén de datos sobre diversos indicadores da mobilidade laboral, que nalgúns casos coinciden nos dous estados, dada a pertenza de ambos á Unión Europea, e que poderían utilizarse para diferenciar os traballadores transfronteirizos dos transnacionais.

Outra fonte de información, sobre a mobilidade laboral cara a Galicia, viría dada polo Rexistro de empresas que desprazan traballadores a esta comunidade autónoma para a prestación transnacional de servizos, do que dispón a Dirección Xeral de Relacións Laborais (DXRL) da Xunta de Galicia. Na Táboa 2 resúmese información relativa a algunhas das variables indicadoras que proporcionan os referidos organismos.

Táboa 2: Diversos indicadores da mobilidade laboral na Eurorrexión Galicia-Norte de Portugal

Indicador	Poboación	Organismo	Contido da información	Data da información máis actualizada
Demandantes de emprego	Cidadáns portugueses en Galicia	INEM	Total Xénero, Idade	Ano 2008
Demandantes de emprego	Cidadáns españois no Norte de Portugal	IEFP	Total Xénero	Ano 2008
Contratacións de traballadores	Traballadores portugueses en Galicia	INEM	Total Xénero, Idade Sector de traballo	Ano 2008
Contratacións de traballadores	Traballadores españois en Portugal	OEFP	Total Situación na profesión	Ano 2005
Traballadores aos que se lle expediu o formulario E-106	Traballadores tranfronteirizos en ambas direccións	SS	Total	Ano 2008 (non se difunde)
Traballadores aos que se lle expediu o formulario E-101 ou E-102	Traballadores transnacionais en ambas direccións	SS	Total Conta allea/propia Duración media actividade	Ano 2008 (non se difunde)
Traballadores desprazados por empresas rexistradas	Traballadores transnacionais portugueses en Galicia	DXRL	Total Sector de traballo Duración prevista actividade	Ano 2008 (non se difunde)

No traballo de Fernández Prieto et al (2009) pódese atopar información máis detallada sobre os devanditos indicadores, xunto coa presentación e interpretación dos datos obtidos para os mesmos, ademais da descrición da lexislación vixente relativa á mobilidade laboral e ao mercado de traballo da Eurorrexión.

3. CONCLUSIÓNS

A análise do comportamento e evolución do mercado de traballo na Eurorrexión Galicia-Norte de Portugal require a utilización de datos precisos e actualizados. Neste sentido os distintos organismos da Administración Pública española e portuguesa resultan fontes importantes de información, aínda que deben subliñarse certas limitacións. Por unha parte, cabe destacar que ningún órgano ou servizo público proporciona resultados restrinxidos as dúas zonas da Eurorrexión involucradas, Galicia e o Norte de Portugal; non obstante, si que é accesible información relativa á algunha destas zonas como rexión de entrada ou de saída de poboación. Ademais, a distinta estrutura política pola que se rexe cada país queda patente á hora de localizar fontes de datos que se circunscriban ás rexións de interese. En Portugal, ao tratarse dun sistema centralizado, a información localizada provén de organismos con competencia a nivel nacional, polo que case sempre se refíren ao país no seu conxunto, se ben pode estar disgregada por rexións. No caso de España, a transferencia de competencias ás comunidades autónomas facilita a consecución de datos restrinxidos a cada unha delas, e particularmente a Galicia, xa que esta información é demandada ou producida por organismos dependentes do goberno autonómico galego. Outra restrición destacable nas fontes consultadas é a dependencia da data de actualización da información que difunden, que nalgún caso non supera o ano 2005.

A pesar das limitacións expostas, si é posible a utilización da información obtida para determinar tendencias nos movementos da poboación, así como para caracterizar patróns de comportamento da mobilidade de traballadores na Eurorrexión Galicia-Norte de Portugal.

AGRADECEMENTOS

Este traballo foi coordinado e supervisado pola Confederación de Empresarios de Galicia (CEG) no marco do EURES Transfronteirizo Norte de Portugal-Galicia (EURES-T), e contou coa cooperación da Universidade de Vigo e do propio EURES-T. As autoras agradecen á CEG e á Universidade de Vigo a proposta de elaboración do

mesmo, que forma parte da acción específica denominada “Tendencias do Mercado Laboral”. Esta Acción foi cofinanciada pola Comisión Europea - Dirección Xeral de Emprego, Asuntos Sociais e Igualdade de Oportunidades.

REFERENCIAS

Fernández Prieto, M., Fernández Prol, F., García Soidán, P., e Valcarce Fernández, M. (2009) O mercado laboral da Eurorrexión e a mobilidade de traballadores. Confederación de Empresarios de Galicia. ISBN en tramitación.

Confederación de Empresarios de Galicia: www.ceg.es

Consellería de Traballo (Xunta de Galicia): traballo.xunta.es

EURES Transfronteirizo Norte de Portugal-Galicia: www.eures-norteportugal-galicia.org

Instituto da Segurança Social (Portugal): www1.seg-social.pt

Instituto do Emprego e Formação Profissional (Portugal): www.iefp.pt

Instituto Nacional de Estatística (España): www.ine.es

Instituto Nacional de Estatística (Portugal): www.ine.pt

Instituto Nacional da Seguridade Social (España): www.seg-social.es

Observatório do Emprego e Formação Profissional (Portugal): oefp.iefp.pt

Observatorio Ocupacional (INEM, España): www2.inem.es/ObservatorioOcupacional/web/asp/observatorio.asp

Secretaría Xeral de Emigración (Xunta de Galicia): www.galiciaaberta.com

Unión Europea: europa.eu/index_es.htm

AN APPLICATION OF THE ORTHONORMAL SERIES COVARIANCE TO THE COAL-ASH DATA

Pilar García Soidán¹ and Raquel Menezes²

¹Department of Statistics and Operations Research. University of Vigo (Spain)

²Department of Mathematics for Science and Technology. University of Minho
(Portugal)

ABSTRACT

In this work, we describe an application of the orthonormal series estimator to real data, which will prove its practical use, where the kernel covariance has been taken as the pilot estimator. The observations are 208 measurements of coal-ash from the Robena Mine Property in Pennsylvania.

Keywords and phrases: Covariance, kernel, orthonormal basis, spatial data.

1. INTRODUCTION

Several procedures have been suggested in the literature for estimation of the covariance function. The nonparametric techniques can be used for this purpose, providing us with the empirical or the kernel covariance estimators, as given in Cressie (1993) or in Hall and Patil (1994). Nevertheless, they are not valid for prediction through the kriging techniques, since the positive-definiteness condition typically fails.

This problem can be solved by proceeding in a parametric way (e.g. Christakos 1984), although the model misspecification problem is one of its main drawbacks. An alternative option is that of inverting the Fourier transform of a given estimator as suggested in Hall, Fisher and Hoffman (1994); however, selection of the truncation term is an open issue.

In García-Soidán and Menezes (2009), a valid covariance estimator is proposed, which is built by using the orthonormal series tool. The underlying idea is based on approximating the unknown covariance function by a finite expansion, which involves three issues: selection of a positive-definite orthonormal basis, specification of the truncation point and estimation of the Fourier coefficients. The latter point demands selection of a pilot estimator and the kernel covariance can be applied for this purpose. With regard to the approximation of the truncation point, an optimal option can be obtained by minimizing the corresponding mean integrated squared error.

In the current work, the referred approach is applied to the coal-ash data, given in Gomez and Hazen (1970) and described in Cressie (1993).

2. NUMERICAL STUDY

Next, we will describe a numerical study carried out to illustrate the performance of the orthonormal series estimator, when applied to real data, which will prove its practical use. The observations are measurements of coal-ash from the Robena Mine Property in Pennsylvania, which were collected at 208 locations spatially defining an approximately square grid.

The results of the preliminary analysis of coal-ash data are summarized in Figure 1. The left panel shows the mean and median of data values across columns and the right one displays both location measures per each row.

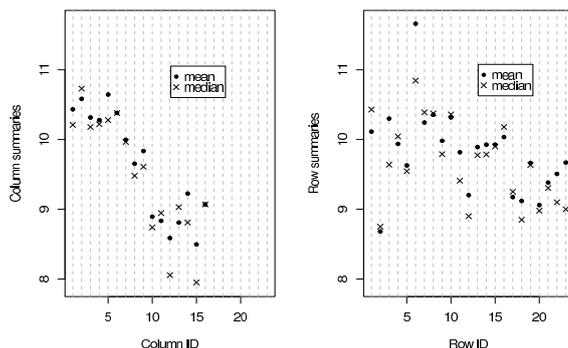


Figure 1: Plots from the original coal-ash data and the residuals.

The above graphs reveal the non-stationarity of the coal-ash data, as a strong linear trend is exhibited in the east-west direction. Consequently, we removed this trend and then worked with the resulting residuals.

Then, the covariance estimates were obtained for the residuals, when considering the northeast-southwest direction. We started by computing the kernel covariance estimator with a bandwidth $h = 2.1$. The orthonormal series approach was applied, by using the bidimensional cosine system on $[0, 10] \times [0, 10]$ and the optimal truncation point was acquired for $m = 31$. We have also obtained the maximum likelihood estimator achieved when adopting a spherical model. Figure 2 compares the resulting covariance estimates for the coal-ash residuals in the northeast-southwest transect.

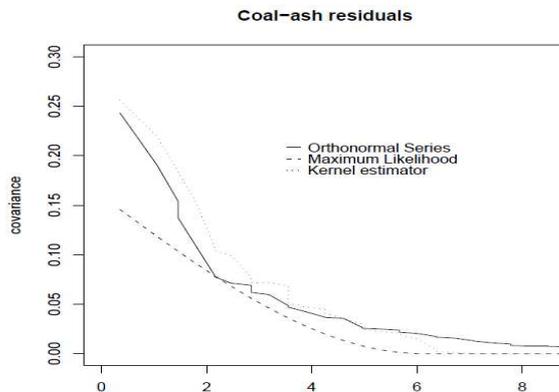


Figure 2: Estimated northeast-southwest covariance of the coal-ash residuals.

We then proceeded with prediction over the observation region by using the ordinary kriging technique. The predicted surface for the residuals was achieved in two distinct ways, with the proposed valid covariance estimator and with the maximum likelihood one. Figure 3 shows the resulting prediction maps, where the use of the orthonormal series covariance seems to offer a more precise prediction on each grid position, when compared with a classic approach such as the maximum likelihood one.

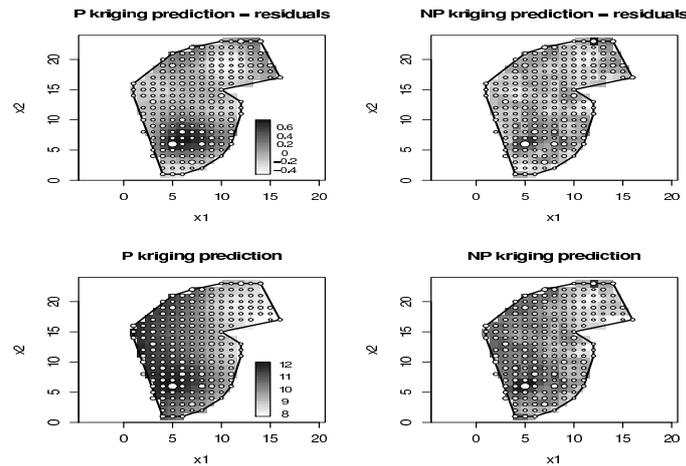


Figure 3: Predicted surfaces for the residuals and the original coal-ash data.

Finally, we include the results achieved when applying the following spatial interpolation methods: nearest neighbor method, inverse distance to a power (with power 2), modified Shepard’s method and the optimal Delaunay triangulation with linear interpolation. Details on these techniques can be found in Li and Heap (2008). Figure 4 shows the interpolated surfaces obtained for the coal-ash data, where the inverse distance method seems to provide the closest results to those obtained from the ordinary kriging predictor with the orthonormal series covariance.

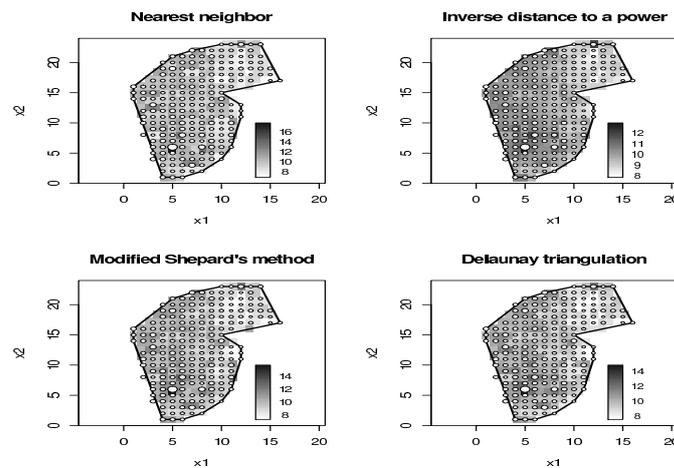


Figure 4: Interpolated surfaces for the original coal-ash data.

REFERENCES

- Christakos, G. (1984) On the problem of permissible covariance and variogram models. *Water Resources Research*, 20, 251-265.
- Cressie, N. (1993) *Statistics for spatial data*. Wiley.
- García-Soidán, P. and Menezes, R. (2007) Valid covariance estimation under stationarity. *Proceedings of the XXX Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa*, Valladolid.
- Gomez, M. and Hazen, K. (1970) Evaluating sulfur and ash distribution in coal seams by statistical response surface regression analysis. U.S. Bureau of Mines Report.
- Hall, P. and Patil, P. (1994) Properties of nonparametric estimators of autocovariance for stationary random fields. *Probability Theory & Related Fields*, 99, 399-424
- Hall, P., Fisher, N.I. and Hoffman, B. (1994) On the nonparametric estimation of covariance functions. *Annals of Statistics*, 22, 2115-2134
- Li, J. and Heap, A.D. (2008) A review of spatial interpolation methods for environmental scientists. *Geoscience Australia*.

Balanced per capita contributions and level structure of cooperation

María Gómez Rúa¹ and Juan J. Vidal Puga²

¹Research Group in Economic Analysis and Departamento de Estatística e Investigación Operativa. Universidade de Vigo.

e-mail: mariarua@uvigo.es

²Research Group in Economic Analysis and Departamento de Estatística e Investigación Operativa. Universidade de Vigo.

e-mail: vidalpuga@uvigo.es

ABSTRACT

We define a new value for games with a level structure and introduce a new property in these kind of games, called *balanced per capita contributions*, related with other properties in the literature. Further, we provide an axiomatic characterization of this value using this new property.

Keywords: level structure, value, balanced *per capita* contributions.

1. INTRODUCTION

In many real situations the agents cooperate in order to get a benefit. These situations can be modelled as a transferable utility (TU, for short) game in which the players divide themselves into groups for the purpose of bargaining. In addition, these situations are modelled as TU games with coalition structures. In many situations, however, a coalition structure does not provide a complete description of the cooperation structure. For instance, consider the members of the European Union Parliament. In this situation, even though they all have the same rights, they do not act independently. The natural cooperation structure will be formed by the parties. However, on a higher level, parties may associate according to their ideology in larger groups, such as the European People's Party (EPP), the European Democrats (ED), the Party of European Socialist (PES), etc. In an even higher level, the EPP and the ED form a larger group, the EPP-ED, and other groups so forth. This example appears in Winter (1989), Calvo et al. (1996) and Vidal-Puga (2005). In situations like this, a more detailed mapping of the cooperation structure is needed. This cooperation description of the players is called a *level structure*. There are several values in the literature, that take into account the level structure. For the particular case of the one single level, Aumann and Drèze (1974) first proposed a value for these kind of games and Owen (1977) defined a new value, the *Owen value*. Both of these values extend the Shapley value (Shapley, (1953b)). In addition, other extensions

are provided by Hamiache (2006) and Kamijo (2007). On the other hand, Levy and McLean (1989) proposed a value that is an extension of the weighted Shapley value (Kalai and Samet (1984)).

Winter (1989) defined a value, the *level structure value*, first suggested by Owen in 1977 which is an extension of the *Owen value* for several levels. Calvo et al. (1996) then provided a characterization of the *level structure value* using the principle of *balanced contributions*. This property states that, for any two coalitions that belong to the same coalition at higher levels, the amount that the players in each coalition would gain or lose by the other coalition's withdrawal from the game should be equal.

Nevertheless, when the coalitions represent groups of different sizes, this symmetry among coalitions may not be always a reasonable requirement for a value. See, for instance, Levy and McLean (1989) or Kalai and Samet (1987) for further reading. The same argument was considered in Vidal-Puga (2006) who defined a value ζ for games with a unique level of cooperation taking into account the asymmetry between the coalitions due to their different sizes.

In this paper we extend the value ζ for games with a level structure. Moreover, we introduce a new property for these kind of games, *balanced per capita contributions*, that is related to another property proposed by Myerson (1980), called λ -*balanced contributions*, and also studied by Hart and Mas-Colell (1989), Sánchez (1997) and Calvo and Santos (2000).

The property of *balanced per capita contributions* states that for any two coalitions that belong to the same coalition at higher levels, the *average* amount that players in each coalition would gain or lose by the other coalition's withdrawal from the game should be equal. The average is taken over the number of single agents in each coalition.

We also provide a characterization of the new value using this property.

A similar axiom was introduced in Herings et al. (2008) in the context of games with a structure of graphs with no cycles. The property they introduced is *component fairness* and states that deleting a link between two players yields for both resulting components the same average change in payoff, where the average is taken over the players in the component. This property is related to the property of *fairness* (Myerson, 1977) that states that deleting a link between two players yields the same change in payoff for both of them.

In a sense, the property of *balanced per capita contributions* is to the property of *balanced contributions* (Myerson, 1980) as the property of *component fairness* (Herings et al., 2008) is to the property of *fairness* (Myerson, 1977).

ACKNOWLEDGEMENTS

Financial support from the Spanish Ministerio de Ciencia y Tecnología and FEDER through grant SEJ2005-07637-C02-01/ECON and the Xunta de Galicia through grants PGIDIT06PXIC300184PN and PGIDIT06PXIB362390PR is gratefully acknowledged.

REFERENCIAS

- Aumann, R. and Drèze, J. (1974) Cooperative games with coalition structure. *International Journal of Game Theory* 3, 217–237.
- Calvo, E., Lasaga, J. and Winter, E. (1996) The principle of balanced contributions and hierarchies of cooperation. *Mathematical Social Sciences* 31, 171-182.
- Calvo, E. and Santos, J.C. (2000) Weighted weak semivalues. *International Journal of Game Theory* 29, 1-9.
- Gómez-Rúa, M. and Vidal-Puga, J. J. (2008) The axiomatic approach to three values in games with coalition structure. MPRA paper number 8904. Available at <http://econpapers.repec.org/paper/pramprapa/8904.htm>
- Hamiache G. (2006) A value for games with coalition structures. *Social Choice and Welfare* 26, 93-105.
- Hart, S. and Kurz, M. (1983) Endogenous formation of coalitions. *Econometrica* 51 (4), 1047-1064.
- Hart, S. and Mas-Colell, A. (1989) Potential, value and consistency. *Econometrica* 57 (3), 589-614.
- Herings, P.J.J., van der Laan, G. and Talman, D. The average tree solution for cycle-free graph games. *Games and Economic Behaviour* 62, 77-92.
- Kalai, E., and Samet, D. (1987) On weighted Shapley values. *International Journal of Game Theory* 16, 205-222.
- Kalai, E., and Samet, D. (1988) Weighted Shapley values. In: A. Roth, ed., *The Shapley value: Essays in honor of L. Shapley* (Cambridge), Cambridge University Press, 83-99.
- Kamijo Y. (2007) A collective value: a new interpretation of a value and a coalition structure. Waseda University. 21 COE-GLOPE Working Paper Series 27.
- Levy, A. and McLean, R.P. (1989) Weighted coalition structure values. *Games and Economic Behavior* 1, 234-249.
- Myerson, R.B. (1977) Graphs and cooperation in games. *Mathematics of Operations Research* 2, 225-229.
- Myerson, R.B. (1980) Conference structures and fair allocation rules. *International Journal of Game Theory* 9, 169-182.
- Owen, G. (1977) Values of games with a priori unions. In: Henn, R., Moeschlin, O. (eds.) *Essays in mathematical economics and game theory* (Berlin) Heidelberg NewYork: Springer, 76-88.
- Pérez-Castrillo, D. and Wettstein, D. (2001) Bidding for the surplus: A non-cooperative approach to the Shapley value. *Journal of Economic Theory* 100, 274-294.
- Sánchez, F. (1997) Balanced contributions axiom in the solution of cooperative games. *Games and Economic Behavior* 20, 161-168.
- Shapley, L. S. (1953a) Additive and Non-Additive Set Functions. Ph.D. Dissertation, Princeton University.
- Shapley, L. S. (1953b) A value for n-person games. In: Huhn, H.W., Tucker, A.W. (eds.) *Contributions to the theory of games II*. *Annals of Mathematics Studies* 28, pp. 307–317. Princeton: Princeton University Press.
- Vidal-Puga, J. J. (2005) Implementation of the levels structure value. *Annals of Operations Research* 137(1), 191-209.

Vidal-Puga, J. J. (2006) The Harsanyi paradox and the "right to talk" in bargaining among coalitions. EconWPA Working paper number 0501005. Available at <http://ideas.repec.org/p/wpa/wuwpga/0501005.html>.

Winter, E. (1989) A value for cooperative games with level structure of cooperation. *International Journal of Game Theory* 18, 227-240.

ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LAS AMENAZAS Y OPORTUNIDADES PERCIBIDAS POR LAS EMPRESAS GALLEGAS ANTES DE LA CRISIS

A. Trinidad González-Portela Garrido¹, Antonio Vaamonde Liste², José Luis Sáez Ocejo³

1 Depto. Organización de Empresas y Márketing, Universidad de Vigo.

2 Depto. Estadística e Investigación Operativa, Universidad de Vigo.

3 Depto. Economía Financiera y Contabilidad, Universidad de Vigo.

RESUMEN

Las empresas gallegas, inmersas en la actual crisis económica de alcance general, han visto materializadas las amenazas que percibían ya en época de bonanza. La situación del sector de actividad en el que las empresas se ubican, la internacionalización y globalización de la economía mundial, la ampliación de la Unión Europea y las nuevas tecnologías son algunos de los factores que tradicionalmente han añadido incertidumbre a las expectativas empresariales. El papel que éstos y otros condicionantes han jugado en la gestación de la crisis debe ser analizado en profundidad, pero esta comunicación pretende tan solo una aproximación a las inquietudes que los diferentes factores de riesgo representaban para los empresarios antes de la crisis, y al modo que su consideración como amenazas o como oportunidades estaba condicionado por el hecho de que la empresa tuviese o no carácter familiar, que hubiera alcanzado un alto grado de innovación tecnológica o que hubiera iniciado o no el camino de la internacionalización. La metodología estadística utilizada incluye técnicas de muestreo probabilístico y pruebas de independencia Ji cuadrado para el estudio de las relaciones existentes entre los distintos factores.

Keywords: menaces and opportunities, economic crisis.

1. FACTORES DE INCERTIDUMBRE EN LAS EXPECTATIVAS DE LA EMPRESA

Se ha tomado una muestra aleatoria de 435 empresas de Galicia, distribuidas de forma dispersa por toda la comunidad autónoma, con diferentes tamaños y pertenecientes a distintos sectores de actividad. Se utiliza un cuestionario estructurado dirigido a los responsables de las empresas, obteniéndose los datos a través de entrevista personal. El error de muestreo para las proporciones es siempre inferior a 0,035 con nivel de confianza 0,90. Se ha verificado que el error de omisión y otros errores asociados al proceso de muestreo son ignorables.

Se consideran factores externos a la empresa, como la situación del sector de actividad, problemática en algunos de ellos como el sector inmobiliario o la construcción, la ampliación de la Unión Europea, que permite ampliar los mercados con un número elevado de clientes potenciales, pero también introduce un aumento significativo de los competidores, así como una reducción de las ayudas comunitarias, el papel del Estado en la economía, en retroceso frente a épocas pasadas, con un predominio cada vez mayor de las Directivas Comunitarias sobre la capacidad de acción de los Estados miembros, el nivel de vida de la población, en claro aumento en el caso de España, y las nuevas tecnologías, que abren muchas posibilidades inexistentes hace tan solo una década, pero obligan también a un proceso de actualización y adaptación no siempre fácil.

Por otra parte se consideran factores internos, que en general influyen de un modo determinante sobre la percepción de amenazas y oportunidades. Se trata del nivel tecnológico de la empresa, medido en dos

grados, el carácter de empresa exportadora o internacionalizada y el hecho de que se trate de una empresa familiar o no.

2. EL GRADO DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

2.1) La situación del sector

	Grado de innovación tecnológica		total
	Baja	Alta	
Amenaza	122 40,4%	53 41,7%	175 40,8%
No afecta	63 20,9%	14 11,0%	77 17,9%
Oportunidad	117 38,7%	60 47,2%	177 41,3%
Total	302	127	429
P= 0,040	100,0%	100,0%	100,0%

TABLA 1.SITUACIÓN DEL SECTOR Y GRADO DE INNOVACIÓN

El valor $P=0,040$ del contraste de independencia Ji cuadrado, nos permite establecer que existe una relación significativa (se suelen utilizar como referencia de comparación los niveles de significación 0,05 o 0,01) entre el grado de innovación tecnológica alcanzado por la empresa y la consideración de la situación de la empresa como amenaza o como oportunidad. Las empresas más tecnológicas consideran una oportunidad (47,2% frente al 38,7%) la situación actual del sector.

2.2) La ampliación de la UE

	Grado de innovación tecnológica		Total
	Baja	Alta	
Amenaza	40 13,2%	28 21,7%	68 15,8%
No afecta	159 52,6%	76 58,9%	235 54,5%
Oportunidad	103 34,1%	25 19,4%	128 29,7%
Total	302	129	431
P= 0,003	100,0%	100,0%	100,0%

TABLA 2.AMPLIACIÓN DE LA UE Y GRADO DE INNOVACIÓN

Las empresas con mayor desarrollo tecnológico consideran una amenaza la ampliación, mientras que las menos tecnológicas tienden a considerarla una oportunidad. Probablemente los nuevos competidores derivados de la ampliación pueden utilizar medios tecnológicos avanzados, y aquellas empresas que ya los utilizan perciben claramente la amenaza.

2.3) El Papel del Estado en la economía

	Grado de innovación tecnológica		Total
	Baja	Alta	
Amenaza	81 27,1%	37 28,9%	118 27,6%
No afecta	172 57,5%	60 46,9%	232 54,3%
Oportunidad	46 15,4%	31 24,2%	77 18,0%
Total	299 100,0%	128 100,0%	427 100,0%
P= 0,053			

TABLA 3. PAPEL DEL ESTADO EN LA ECONOMÍA Y GRADO DE INNOVACIÓN

Las empresas con bajo grado de innovación tecnológica no ven como amenaza ni como oportunidad el papel del Estado (57,5% frente al 46,9%); ambos extremos aumentan, especialmente la consideración del papel del Estado como oportunidad, entre las empresas más tecnológicas.

2.4) El nivel de vida de la población

	Grado de innovación tecnológica		Total
	Baja	Alta	
Amenaza	97 32,2%	25 19,5%	122 28,4%
No afecta	85 28,2%	35 27,3%	120 28,0%
Oportunidad	119 39,5%	68 53,1%	187 43,6%
Total	301 100,0%	128 100,0%	429 100,0%
P= 0,012			

TABLA 4. NIVEL DE VIDA DE LA POBLACIÓN Y GRADO DE INNOVACIÓN

El nivel de vida de la población es una amenaza para las empresas menos innovadoras y una oportunidad para las más tecnológicas. Las nuevas tecnologías se relacionan claramente con el desarrollo económico y el aumento del nivel de vida, y parece que las empresas que no han alcanzado –por distintas razones– un nivel tecnológico suficiente, son conscientes del desfase y de la necesidad de adaptarse a los nuevos tiempos para dar respuesta a las demandas de una población que exige cada vez más.

2.5) Las nuevas tecnologías

	Grado de innovación tecnológica		Total
	Baja	Alta	
Amenaza	8 2,6%	3 2,3%	11 2,6%
No afecta	55 18,2%	8 6,3%	63 14,6%
Oportunidad	240 79,2%	117 91,4%	357 82,8%
Total	303 100,0%	128 100,0%	431 100,0%
P= 0,006			

TABLA 5. NUEVAS TECNOLOGÍAS Y GRADO DE INNOVACIÓN

En la misma línea, las nuevas tecnologías son una oportunidad que las empresas solo pueden aprovechar incorporando un grado de innovación creciente, aunque todas (frecuencia marginal de oportunidad 82%) parecen tener las ideas claras al respecto.

3. EL NIVEL DE INTERNACIONALIZACIÓN DE LA EMPRESA

3.1) Ampliación de la UE

	Internacionalización		Total
	No internacionales	Internacionales	
Amenaza	49 16,1%	21 16,3%	70 16,2%
No afecta	181 59,5%	54 41,9%	235 54,3%
Oportunidad	74 24,3%	54 41,9%	128 29,6%
Total	304	129	433
P= 0,001	100,0%	100,0%	100,0%

TABLA 6. AMPLIACIÓN DE LA UE E INTERNACIONALIZACIÓN

Aproximadamente una de cada seis empresas considera que la ampliación es una amenaza. Sin embargo para las empresas internacionalizadas la ampliación de la U.E. es una oportunidad (41,9% frente a 24,3%)

3.2) Los tipos de cambio

	Internacionalización		Total	
	No internacionales	Internacionales		
Tipos de cambio	Amenaza	37 12,3%	30 23,4%	67 15,6%
	No afecta	230 76,4%	82 64,1%	312 72,7%
	Oportunidad	34 11,3%	16 12,5%	50 11,7%
	Total	301	128	429
P= 0,01	100,0%	100,0%	100,0%	

TABLA 7. TIPOS DE CAMBIO E INTERNACIONALIZACIÓN

Los tipos de cambio son una amenaza para las empresas internacionalizadas principalmente (23,4% frente a 12,3%). La consideración de oportunidad es similar para ambas.

3.3) El envejecimiento de la población

	Internacionalización		Total
	No internacio nalizadas	Internacio nalizadas	
Amenaza	153 50,3%	63 48,8%	216 49,9%
No afecta	110 36,2%	59 45,7%	169 39,0%
Oportunidad	41 13,5%	7 5,4%	48 11,1%
Total	304 100,0%	129 100,0%	433 100,0%
P= 0,024			

TABLA 8. ENVEJECIMIENTO DE LA POBLACIÓN E INTERNACIONALIZACIÓN

Con respecto al envejecimiento de la población, tanto el 48,8% de las empresas internacionalizadas como el 50,3% de las no internacionalizadas lo consideran una amenaza. Tan solo un 5,4% de las empresas internacionalizadas lo ven como una oportunidad.

3.4) La liberalización de mercados

Liberalización	Internacionalización		Total
	No interna cionalizadas	Interna cionalizadas	
Amenaza	46 15,2%	17 13,2%	63 14,6%
No afecta	155 51,3%	38 29,5%	193 44,8%
Oportunidad	101 33,4%	74 57,4%	175 40,6%
Total	302 100,0%	129 100,0%	431 100,0%
P= 0,000			

TABLA 9. LIBERALIZACIÓN DE MERCADOS E INTERNACIONALIZACIÓN

El proceso de liberalización de los mercados ha provocado que las empresas se planteen su salida al exterior como estrategia ofensiva y defensiva, ante la posibilidad de perder cuota de mercado, al estar inmersas en un entorno competitivo. Observamos en la tabla anterior que la internacionalización es una oportunidad para las empresas que ya han optado por desarrollar su actividad económica en el exterior, y no lo es para las empresas que todavía no lo han hecho (57,4% frente al 33,4%)

3.5) La Deslocalización de la producción

	Internacionalización		Total
	No internacio nalizadas	Internacio nalizadas	
Amenaza	89 29,3%	40 31,0%	129 29,8%
No afecta	177 58,2%	51 39,5%	228 52,7%
Oportunidad	38 12,5%	38 29,5%	76 17,6%
Total	304 100,0%	129 100,0%	433 100,0%
P= 0,000			

TABLA 10. DESLOCALIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN E INTERNACIONALIZACIÓN

Algo similar ocurre con la deslocalización de la producción, que supone una oportunidad para las empresas internacionalizadas (29,5%), y en menor medida para las no internacionalizadas (12,5%), siendo una amenaza para todas ellas por igual, ante el descenso de las barreras de entrada en casi todos los sectores.

4. EL CARÁCTER DE EMPRESA FAMILIAR

4.1) Nivel de vida de la población

	Empresa familiar		Total
	No	Sí	
Amenaza	31 22,5%	87 32,1%	118 28,9%
No afecta	51 37,0%	61 22,5%	112 27,4%
Oportunidad	56 40,6%	123 45,4%	179 43,8%
Total	138 100,0%	271 100,0%	409 100,0%
P= 0,006			

TABLA 11. NIVEL DE VIDA DE LA POBLACIÓN Y EMPRESA FAMILIAR

El 32,1% de las empresas familiares considera una amenaza el aumento del nivel de vida, y el 45,4% una oportunidad. Ambos porcentajes disminuyen en las empresas no familiares, que consideran en mayor proporción que el nivel de vida no les afecta. Del mismo modo opinan las empresas familiares en relación con otros aspectos como la internacionalización de la economía o la deslocalización de la producción: las empresas familiares se ven más implicadas en sentido positivo o negativo por estos procesos que las empresas no familiares.

4.2) La liberalización de mercados

	Empresa familiar		Total
	No	Sí	
Amenaza	15 10,9%	44 16,2%	59 14,4%
No afecta	75 54,7%	112 41,2%	187 45,7%
Oportunidad	47 34,3%	116 42,6%	163 39,9%
Total	137 100,0%	272 100,0%	409 100,0%
P= 0,03			

TABLA 12. LIBERALIZACIÓN DE MERCADOS Y EMPRESA FAMILIAR

El 16,2% de las empresas familiares considera una amenaza la liberalización de mercados, y el 42,6% una oportunidad.

4.3) La Deslocalización de la producción

	Empresa familiar		Total
	No	Sí	
Amenaza	30 21,7%	92 33,7%	122 29,7%
No afecta	86 62,3%	133 48,7%	219 53,3%
Oportunidad	22 15,9%	48 17,6%	70 17,0%
Total	138	273	411
P= 0,021	100,0%	100,0%	100,0%

TABLA 13. DESLOCALIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y EMPRESA FAMILIAR

Para el 62,3% de las empresas no familiares la deslocalización de la producción no es ni una oportunidad ni una amenaza, es decir, es un hecho que no afecta a su nivel de negocio. En cambio al observar la consideración de oportunidad, opinan de forma prácticamente similar tanto las empresas internacionalizadas como las no internacionalizadas (el 17,6% y el 15,9% respectivamente).

5. CONCLUSIONES

Debemos recordar que la supervivencia de cualquier empresa depende, en primera instancia, de su capacidad de adaptación y en segunda, de la intervención y anticipación a las variaciones que se puedan producir en el entorno.

El análisis del entorno externo de la empresa constituye un elemento clave, para la comprensión de la estrategia empresarial, siempre y cuando estas empresas sean sistemas abiertos y como tal, fuertemente influenciados por ese mismo entorno. Numerosos acontecimientos que ocurren en el entorno general de la empresa generan múltiples oportunidades y, a su vez, múltiples amenazas. Por tanto, podemos afirmar que uno de los problemas más serios con los que se encuentran las empresas es el hecho de saber cómo debe su empresa maximizar las oportunidades generadas, y simultáneamente, minimizar las puntuales amenazas existentes en el entorno que les rodea. Según nuestro análisis, son las empresas más tecnológicas las que consideran una oportunidad (47,2% frente al 38,7%) la situación actual del sector. A su vez, las empresas con mayor desarrollo tecnológico consideran una amenaza la ampliación, mientras que las menos tecnológicas tienden a considerarla una oportunidad.

Apreciamos que las empresas más tecnológicas también consideran el papel del Estado como una clara oportunidad.

Destaca el hecho de que el nivel de vida de la población es una amenaza para las empresas menos innovadoras y una oportunidad para las más tecnológicas.

Con respecto a los tipos de cambio, observamos que son una amenaza para las empresas internacionalizadas principalmente (23,4% frente a 12,3%).

En cambio la internacionalización es una oportunidad para las empresas que ya han optado por desarrollar su actividad económica en el exterior y no lo es para las empresas que todavía no lo han hecho (57,4% frente al 33,4%).

Fruto de nuestro análisis, podemos señalar que la deslocalización de la producción supone una oportunidad para las empresas internacionalizadas (29,5%) y en menor medida para las no internacionalizadas (12,5%), siendo una amenaza para todas ellas por igual, ante el descenso de las barreras de entrada en casi todos los sectores.

Finalmente el 32,1% de las empresas familiares considera una amenaza el aumento del nivel de vida, y el 45,4% una oportunidad.

LA SUBCONTRATACIÓN DE SERVICIOS EN LAS EMPRESAS GALLEGAS

A. Trinidad González-Portela Garrido¹, Antonio Vaamonde Liste², Pablo Cabanelas Lorenzo¹

1 Depto. Organización de Empresas y Márketing, Universidad de Vigo.

2 Depto. Estadística e Investigación Operativa, Universidad de Vigo.

RESUMEN

Para tener una percepción real del dinamismo de las empresas y poderlas analizar y valorar de un modo lo más completo y eficaz posible, hay que tener en cuenta el medio en el que se encuentran, considerando además un alto grado de desagregación geográfica.

Estudiar de cerca y a través de amplias entrevistas a empresarios, y recabar opiniones en los diversos campos empresariales es de suma importancia porque nos hace comprender la problemática que convive con el mundo empresarial y permite conocer y poner en práctica mejoras en diferentes aspectos tales como la gestión, la financiación, la comunicación, la información, el transporte, etc., de tal manera que puedan ser utilizadas de un modo eficaz y eficiente.

En esta comunicación se presentan algunos resultados del análisis de una muestra de 398 empresas gallegas respecto a la subcontratación de determinadas actividades. Se estudia la influencia que en esta subcontratación tiene el tamaño de la empresa, el sector de actividad en que se encuentra, y el grado de internacionalización entre otros factores.

Keywords: outsourcing, logistics, internationalization strategy

1. LA EXTERNALIZACIÓN O SUBCONTRATACIÓN DE SERVICIOS

Los resultados de la encuesta realizada muestran la situación actual de la subcontratación de servicios por las empresas de Galicia. En la tabla 1 se observa que las empresas recurren a la ayuda externa en el ámbito de los servicios informáticos (81,1% de las empresas), servicios administrativos y contabilidad (79%), y servicios jurídicos (78,3%), utilizando en menor medida los servicios de apoyo a mercados internacionales (12,4% de las empresas) o servicios de producción (30,6%).

SERVICIOS	%
Distribución/Logística	66,1%
Consultoría en RRHH	41,7%
Servicios de producción	30,6%
Servicios administrativos y de contabilidad	79,0%
Servicios de marketing y venta	37,8%
Servicios jurídicos	78,3%
Servicios informáticos	81,1%
Servicios de apoyo a mercados internacionales	12,4%
Apoyo a la inversión y financiación	53,9%

Tabla 1. Externalización de servicios por las empresas gallegas

2. SUBCONTRATACIÓN DE SERVICIOS Y SECTOR DE ACTIVIDAD

La externalización de algunos servicios por las empresas está claramente relacionada con el sector de actividad. En la tabla 2 se presentan los porcentajes estimados de empresas de cada sector de actividad que subcontratan los diferentes tipos de servicios, junto con el valor P del contraste Ji cuadrado de independencia entre ambas variables (subcontratación/sector): un valor P muy pequeño, menor que el nivel de significación habitual de 0,05 ó 0,01 permite establecer que la subcontratación de ese servicio es distinta entre los sectores. De este modo observamos que los servicios de Distribución/logística son subcontratados escasamente en el sector Primario (agricultura, ganadería, pesca) en relación con los restantes sectores, mientras que los servicios de Producción son subcontratados en mayor medida por los sectores Primario e Industria, y los de Marketing y venta por Comercio y Construcción.

	Sector de actividad					Total	P
	Primario	Industria	Construcción	Comercio	Otros servicios		
Distribución/Logística	29,4%	77,0%	63,6%	76,0%	50,5%	66,1%	,000
Consultoría en RRHH	23,5%	42,9%	47,7%	38,5%	41,4%	41,7%	,387
Servicios de producción	47,1%	42,9%	22,7%	17,3%	33,3%	30,6%	,000
Servicios administ. y de contabilidad	88,2%	69,8%	92,0%	80,8%	75,8%	79,0%	,002
Servicios de marketing y venta	5,9%	28,6%	39,8%	50,0%	40,4%	37,8%	,001
Servicios jurídicos	82,4%	81,0%	83,0%	74,0%	74,7%	78,3%	,454
Servicios informáticos	70,6%	79,4%	85,2%	84,6%	77,8%	81,1%	,406
Serv. apoyo a mercados internacionales	17,6%	18,3%	5,7%	14,4%	8,1%	12,4%	,038
Apoyo a la inversión y financiación	64,7%	54,8%	52,3%	50,0%	56,6%	53,9%	,763

Tabla 2. Externalización de servicios por sectores de actividad

3. SUBCONTRATACIÓN DE SERVICIOS Y EMPRESA FAMILIAR

El carácter de empresa familiar no parece estar relacionado con la externalización de servicios. En todos los casos se obtienen porcentajes similares entre empresas familiares y no familiares, siendo las pequeñas diferencias no significativas estadísticamente, como se puede observar en la tabla 3.

	Empresa familiar		TOTAL	P
	No	Sí		
Distribución/Logística	66,7%	65,1%	65,6%	0,419
Consultoría en RRHH	42,8%	40,7%	41,4%	0,386
Servicios de producción	30,4%	29,1%	29,5%	0,431
Servicios administrativos y de contabilidad	79,7%	80,4%	80,1%	0,486
Servicios de marketing y venta	40,6%	35,6%	37,3%	0,191
Servicios jurídicos	76,1%	78,9%	78,0%	0,297
Servicios informáticos	80,4%	81,1%	80,9%	0,485
Servicios de apoyo a mercados internacionales	8,0%	13,8%	11,9%	0,055
Apoyo a la inversión y financiación	52,2%	53,5%	53,0%	0,443

Tabla 3. Externalización de servicios y empresa familiar

4. SUBCONTRATACIÓN DE SERVICIOS E INTERNACIONALIZACIÓN

Las empresas han emprendido la vía de la internacionalización, buscando en la expansión de mercados la solución a los problemas de competitividad planteados por la apertura de mercados -con la llegada de empresas foráneas-, y tratando de aprovechar las nuevas oportunidades para crecer y sobrevivir. No todas las empresas han optado por esta estrategia, pero es cada vez mayor el número de las que ya lo han hecho o se plantean esta solución a corto y medio plazo. ¿Cómo afecta la internacionalización a la subcontratación de servicios?

En la tabla 4 podemos observar como la internacionalización influye especialmente en los servicios de Distribución/Logística, más necesarios en el comercio internacional, y que a menudo no pueden ser cubiertos satisfactoriamente con los medios propios de la empresa, y en sentido contrario en los Servicios administrativos y de contabilidad, subcontratados en menor medida por las empresas internacionalizadas, quizás porque la mayor complejidad de sus operaciones les obliga a disponer de personal especializado dentro de la empresa. Naturalmente también presentan diferencias notables los Servicios de apoyo a mercados internacionales, cinco veces más utilizados por las empresas internacionalizadas.

	INTERNACIONALIZACIÓN		Total	P
	No interna- cionalizadas	Interna- cionalizadas		
Distribución/Logística	62,3%	75,2%	66,1%	,006
Consultoría en RRHH	41,6%	41,9%	41,7%	,524
Servicios de producción	28,2%	36,4%	30,6%	,057
Servicios administrativos y de contabilidad	82,0%	72,1%	79,0%	,016
Servicios de marketing y venta	38,0%	37,2%	37,8%	,480
Servicios jurídicos	77,7%	79,8%	78,3%	,360
Servicios informáticos	81,3%	80,6%	81,1%	,482
Servicios de apoyo a mercados internacionales	5,9%	27,9%	12,4%	,000
Apoyo a la inversión y financiación	51,5%	59,7%	53,9%	,071

Tabla 4. Externalización de servicios e internacionalización

5. SUBCONTRATACIÓN DE SERVICIOS Y LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

La subcontratación de servicios por las empresas muestra una cierta variabilidad regional. Son especialmente significativas las diferencias en los Servicios de marketing y venta, y Apoyo a la inversión y financiación. Además se observa en la tabla 5 que los porcentajes correspondientes a la provincia de Pontevedra son sistemáticamente mayores que la media, lo que refleja probablemente el mayor dinamismo de las empresas de esta zona.

	Provincia				Total	P
	A Coruña	Lugo	Ourense	Pontevedra		
Distribución/Logística	58,3%	61,2%	68,0%	76,3%	66,1%	,020
Consultoría en RRHH	35,7%	33,7%	44,7%	51,7%	41,7%	,023
Servicios de producción	31,3%	27,6%	24,3%	38,1%	30,6%	,136
Servicios administrativos y de contabilidad	80,9%	75,5%	72,8%	85,6%	79,0%	,092
Servicios de marketing y venta	29,6%	27,6%	40,8%	51,7%	37,8%	,000
Servicios jurídicos	79,1%	76,5%	74,8%	82,2%	78,3%	,562
Servicios informáticos	80,9%	72,4%	79,6%	89,8%	81,1%	,013
Servicios de apoyo a mercados internacionales	8,7%	8,2%	11,7%	20,3%	12,4%	,019
Apoyo a la inversión y financiación	47,0%	58,2%	39,8%	69,5%	53,9%	,000

Tabla 5. Externalización de servicios y localización geográfica

6. SUBCONTRATACIÓN DE SERVICIOS Y TAMAÑO DE LA EMPRESA

Hemos establecido tres grupos de acuerdo con el volumen de facturación de la empresa para establecer el tamaño de la empresa. Hace solamente algunas décadas, los servicios a las empresas eran escasos o inexistentes, centrándose fundamentalmente en servicios contables o jurídicos. Las empresas más pequeñas, con un volumen de operaciones limitado, no veían necesario disponer de un servicio propio que podían subcontratar con un coste menor, mientras que las empresas grandes mostraban una cierta tendencia a cubrir internamente sus necesidades, disponiendo de departamentos propios. La situación actual es la contraria, como se puede observar en la tabla 6. Las empresas con mayor tamaño tienen porcentajes de subcontratación

sistemáticamente mayores que las pequeñas, y esto ocurre para prácticamente todos los servicios analizados con la única excepción de los servicios de contabilidad, que siguen la tendencia contraria. Incluso en aquellos servicios en los cuales las diferencias no son estadísticamente significativas se muestra con claridad esta tendencia creciente.

Muestran mayores diferencias en función del tamaño de la empresa los Servicios de apoyo a mercados internacionales, Distribución/Logística, y Servicios jurídicos, y presentan una diferencia menor los Servicios informáticos.

	Facturación			Total	P
	Hasta 1,5 M€	De 1,5 a 5 M€	Más de 5 M€		
Distribución/Logística	58,1%	71,2%	74,5%	66,1%	0,006
Consultoría en RRHH	37,2%	41,1%	52,1%	41,8%	0,054
Servicios de producción	25,1%	35,6%	35,1%	30,9%	0,071
Servicios administrativos y de contabilidad	90,1%	77,4%	58,5%	79,0%	0,000
Servicios de marketing y venta	34,6%	36,3%	46,8%	37,8%	0,120
Servicios jurídicos	74,3%	76,7%	90,4%	78,7%	0,006
Servicios informáticos	79,1%	82,9%	83,0%	81,2%	0,595
Servicios de apoyo a mercados internacionales	5,2%	15,1%	23,4%	12,5%	0,000
Apoyo a la inversión y financiación	47,6%	56,8%	63,8%	54,3%	0,027

Tabla 6. Externalización de servicios y tamaño de empresa

7. CONCLUSIONES

La Externalización o Subcontratación de servicios por las empresas se ha convertido en algo habitual, de modo que la mayoría de las empresas recurre hoy a esta solución, especialmente en lo que se refiere a servicios jurídicos, informáticos o contables (con porcentajes próximos al 80% de las empresas). Existen sin embargo diferencias notables entre sectores de actividad, de modo que las empresas del sector primario demandan especialmente servicios de contabilidad o de producción, en la Industria servicios de distribución, y en la Construcción Servicios de consultoría en RRHH; diferencias en función del proceso de internacionalización llevado a cabo por la empresa, que aumenta la demanda de servicios de Distribución/Logística o Servicios de apoyo a mercados internacionales; diferencias en función de la localización geográfica, entre otras razones porque los servicios a las empresas se concentran en las áreas de mayor dinamismo empresarial, y por último diferencias en función del tamaño de la empresa, de modo que las empresas más grandes tienen mayores niveles de externalización de servicios (excepto los servicios contables) que las pequeñas.

SWOT ANALYSIS OF PAKISTAN TEXTILE SUPPLY CHAIN

Deedar Hussain^{†,‡}, Manuel Figueiredo[‡], Fernando Ferreira[‡];

[†] NED University of Engineering and Technology
deedar_gha@hotmail.com

[‡] University of Minho, School of Engineering

ABSTRACT

This study is part of a research project, Contributions for Improving Textile Supply Chain Management in Pakistan, which is focused on reduction of lead times and costs. SCM is an interdisciplinary field that emphasizes cross-functional links and seeks to manage those links to enhance a company's competitive advantage. Textile supply chains are driven by big brands and retailers. These are segmented into high and low profit steps with retailers and brands keeping high profit steps and mid-chain suppliers and low-cost producers keeping the low profit steps. Pakistan textile industry which has its roots in cotton products has focused on the lower end of this value chain. It has retained an important share of world textile and clothing exports although weaknesses exist at different tiers of the supply chain. The SWOT analysis is conducted to study the status of existing potential and find future directions of the study followed by a statistical study of Pakistan's exports of textile and clothing. Important markets are highlighted and an initial survey of freight travelling time being part of lead times is conducted.

Key words: Supply chain management, textile and clothing industry, transports, lead times;

1. INTRODUCTION

The textiles and clothing sector generated, in 2007, flows of about 583.4 Billion \$US, amounting to almost 4.2% of total world exports [6]. The clothing sector, accounting for about 345.3 Billion \$US, is particularly important to many developing countries where textiles are the main source of export revenue and manufacturing employment.

Over the past 25 years, trade liberalisation and communication innovations have increased the opportunities for retailers and brands to buy their products from producers worldwide. According to recent studies, these retailers and brands have become "global sourcing companies", outsourcing the production of goods they sell to tiers of competing suppliers and producers through complex international networks, or global supply chains.

These supply chains are driven by the big brands and retailers that have tremendous power in determining price, quality, delivery, and labour conditions for suppliers and producers down the chain. They are segmented into high and low profit steps. Retailers and brands keep high profit steps such as innovation, marketing and retailing. Low profit steps, such as sourcing raw materials, production and assembly, finishing and packing, are outsourced to mid-chain suppliers and low-cost producers worldwide. Thus global supply chains have created labour-intensive exports from low-cost locations. The result is an enormous growth in the number of producers, increasing competition among the world's factories at the bottom of the chain.

SCM is an interdisciplinary field that emphasizes cross-functional links and seeks to manage those links to enhance a company's competitive advantage. It involves forecasting, resource allocation, production planning, flow and process management, inventory management, customer delivery, after-sales support and service, and a multitude of other activities and processes familiar and essential to business. Nowadays an ever-increasing number of companies rely on supply chain management as a key competitive weapon. Large and small businesses alike have reported remarkable results, including dramatic reductions in cycle time.

2. OBJECTIVES

Pakistan textile industry has focused on the lower end of the world textile market in the past, and supplied low cost products with good quality, that is why it has attracted the buyers around the world in that market segment. SCM should be the key focus to enhance competitiveness of Pakistani textile industry. In saturated markets, like textiles, the issue of lead times is of great importance and one of the main driving factors for business sustainability and profitability. There are many textile fashion brands which are manufactured in countries like Pakistan. The fashion cycles of these brands are mainly once or twice per year, making it possible, to some extent, for Pakistani suppliers to respond to their lead times. However, world trends in textile and fashion business indicate clearly that lead times are continuously reducing. This created a new and an advanced demand and supply market where each key player collaborates with its suppliers and shares market information and risks. It seems that Pakistani textile industry may not be prepared for this scenario and may have difficulties in meeting lead times and prices of key markets. The current context of these markets frequently creates changing short run orders causing a strong impact on planning. Despite having latest computerised manufacturing machines, Pakistani companies put less emphasis on demand forecasting, production and inventory planning systems. This results on high costs of operation and late deliveries.

Thus, even with state of the art machinery and access to capital, Pakistani textile industry is compelled to manufacture and export non-seasonal and low value textile products where high capital is required to manufacture at extremely low margins. This reduces the overall competitiveness. Textile Supply Chain Management in Pakistan should have two main objectives: reduction of lead times and costs. Obstacles in achieving these objectives include geographical location, imperfect Logistics systems, scarce Production Planning and Inventory Management systems. The long lead times are the result of all this.

3. SWOT ANALYSIS

Textile industry in Pakistan is one of the oldest manufacturing sectors of the country. People are linked with textile manufacturing for more than 5000 thousand years, evident from the findings at Moen-jo-Daro, an archeological site near Larkana, Pakistan. The statue found from this site bear the proof of dyed/printed fabrics worn by the man and this fabric is produced till today and called as ``Ajrak``. It has its roots in cotton fiber production which is the second most important crop of the country and man-made fibers like polyester, acrylic and viscose are produced domestically. The value chain of textile in Pakistan is expanded from cotton, man-made fiber production, ginning, yarn manufacturing by Ring/Rotor Spinning, fabric manufacturing by Weaving/Knitting, coloring of fabric by Dyeing/Printing, finishing of the fabric by various mechanical and chemical finishes and their conversion into apparel and made-ups. In this section we present a SWOT¹ analysis of Pakistan textile value chain and associated sectors.

3.1 STRENGTHS

Average yearly production of cotton between 1990 and 2005 is 10 309 000 bales [1]. It is ranked fourth in cotton producing countries and third in cotton consuming countries of the world [2]. There is domestic production of man-made fibers as polyester, acrylic and viscose.

It is an important industry in Pakistan which captures 46 percent of entire manufacturing sector and 38 percent of industrial employment [4]. Wages are in the lowest side in the world textile industry (\$0.39/hour), although Bangladesh and Vietnam have smaller wages (of \$0.27/hour and \$0.29/hour respectively [3]).

The textile manufacturing side is comparatively strong one and enjoys new technology from Germany, Switzerland, Belgium, UK, Japan, USA and China. The capital intensive side of the textile supply chain is therefore in a strong state.

Clothing remained unattended in past but it is improving since late 1990s. Trainings are being launched by government jointly with foreign consultants to improve the skills of local operators and productivity of the processes.

There is a strong support from government concerning textile and clothing sector which involves technology upgrading, skill development and research.

¹ SWOT Analysis is a strategic planning method used to evaluate the Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats involved in a project.

3.2 WEAKNESSES

The per acre yield of cotton production is low due to improper crop management, attacks of viruses and pests on the crops. Picking of seed cotton, storage and transportation conditions add impurities as the standard practices are not followed, deteriorating product quality. Cotton farmers are not familiar with recent developments in cotton farming and forward marketing. Ginning industry is using outdated technology and untrained labor. Lint cleaners are rarely used which can improve the yield at later stages of yarn manufacturing. Manual methods of open sky drying for seed cotton increase contamination and introduce variations of moisture content.

Limited types of man-made fibers are being produced which are less competitive for quality and cost.

The yarn sector is producing coarser counts and traditional yarns although it has the potential to produce medium, fine counts and fancy yarns. The versatility in yarns can give weaving industry a stronger basis. The storage conditions of cotton lint in the factories are not very good so quality deterioration takes place. In general, power loom sector is organized as cottage industry in the country which is facing problems of yarn and power supplies, finance and many others. Efficient fabric manufacturing technology can be incorporated to upgrade these sectors as organized industry.

In coloring and finishing the use of sophisticated color matching techniques and software are nonexistent which could enhance the responsiveness to customers. Strong relationship between quality suppliers and processing industries is very important for consistency of product quality, yield and costs.

The clothing sector is scattered across the country due to nature, size and investment required to set up such a unit. There is a recent move to establish specific hubs of garment manufacturing by providing special zones for the industry. Fashion clothing attracts maximum profits in the international market. The fashion designers lack familiarity with the international fashion styles and market trends. The industry needs to be linked with the international fashion market.

The industry has not fully understood the importance of social responsibility and workers welfare.

Transportation infrastructure in the country is in the process of development; the only effective means of freight movement is trucking on the roads. These trucks are low capacity and under-power, manufactured within the country. Domestic industries enjoy the lowest freight rates in the world but at par lower services. The average travelling speed in the country is 28-40 km/hr compared to 80-90 km/hr in Europe [5]. The overloading is usual which adds to decrease the commercial running speeds of truck and increase the road deterioration pace. The rail transport accounts for less than 5 percent of freight traffic in the country [5]. Domestic customers do not find it appropriate for transportation of their goods on time and safely. The situation of handling ship-to-shore conditions have improved on the domestic ports but the entry and handling charges are 5-9 times higher than other neighboring ports in the region [5]. The updating of ports is in process and it will take some time to observe the improvements.

The departments of marketing, planning, storage, production, quality control, packaging, purchasing, finance, and others are not linked through computer networking for fast and less expensive communication; the advantages of using ICT are not fully understood yet.

Reworks exist in the system. An effective and well understood inspection and quality control policy is needed at all stages of preparation, production and final inspection.

Inventory management needs more attention in respect of planning, use of sophisticated technology and training of personnel. No periodic monitoring of all stocks and their effective categorization exists. Material stores are substandard, record keeping is manual and time consuming, material handling and identification and traceability needs more care. Suppliers are not fixed and practice of supplier's evaluation needs improvement.

The electricity and gas shut downs cause production losses, quality deterioration and cost increase. The usage of energy is inefficient in majority of sectors.

3.3 THREATS TO INDUSTRY

The industry is facing problems because of non competitive behavior of entrepreneurs, short term & inconsistent government policies, rising regional and international competition, increasing costs of energy and low pace of human resource development.

Machine manufacturing is not properly groomed till now and it requires a lot of resources to upgrade the processes with new technology and fulfill their recurring needs. It is producing low technology machinery and certain parts; workshops are associated with manufacturing and repair of the equipment and tools. Without a proper engineering base it will be very difficult to match the future upgrading of the industry.

Various types of chemicals are needed along the textile value chain. Companies of multinational origin and domestic as well are engaged with the manufacture and trade of these chemicals. Most of the

chemicals are imported in finished forms or sometimes as basic raw material which causes an increase in import bills.

Local industries are working without quality management systems and standards; these are required to be formalized.

3.4 OPPORTUNITIES

There are many related areas to existing manufacturing set up which can be explored and added as arteries, such as non woven, clothing and made-ups for health service industry and technical textiles. Production and usage of petroleum based fibers can extend the scope of textile industry into new areas of versatile and high value applications.

Denim area is strong and products meet the quality standards of many international brands for their retail chains of lower end market. There is need to upgrade these products as high valued. There is although tough competition ahead from leading suppliers of denim which are considered as high quality producers. The culture is rich and has a long history of textiles manufacturing. The cultural trends can be mixed with international fashion to give the world new flavors. There is a need of exploring the creativity of designers and familiarizing them with the world fashions. One of the important directions can be collaborations between domestic and international fashion institutes, fashion houses, designers, research institutes and others. A variety of cultural items are produced for domestic use through hand printing, appliqué work, rug making, hand embroidery, handloom weaving, hand knitting and others techniques. The quality and access of these products can be improved for important export markets.

Information and communication technology skills have been upgraded in the country in recent years. These skilled individuals can be attracted towards the textile industry by providing them opportunities in the textile industrial zones. There is a lot of room in this industry for upgrading the computer and information technology skills of the persons. Many applications of ICT lie with the planning of activities and their integration at different levels, sharing and communication of process and product information among different tiers of the process and customers.

There is need of focusing towards research and development in the areas of new products and improved processes. The need for studying the international business trends and role of trade agreements on these are important. This can be achieved by studies of consultants, researchers, government agencies and all available sources.

3.5 SWOT ANALYSIS SUMMARY

We summarize the SWOT analysis in table 1.

Table 1: SWOT Analysis of Pakistan Textile Value Chain and Associated Industries

Textile Value Chain	Strengths (1,2=Poor, 3,4=Medium & 5-8=Strong)
Fiber Production Cotton Farming Ginning MMF Production	5 (Strong) 2 (Poor) 3 (Medium)
Yarn Manufacturing Ring Spinning Rotor Spinning	7 (Strong) 5 (Strong)
Fabric Manufacturing Weaving Knitting Narrow	5 (Strong) 6 (Strong) 4 (Medium)
Fabric Coloration Dyeing Printing	4/5 (Medium to Strong) 6 (Strong)
Fabric Finishing Clothing	4/5 (Medium to Strong) 4 (Medium)
Associated Industries	
ICT and its Application	3 (Medium)
Machine Manufacturing	2 (Poor)
Dyes & Chemical Manufacturing	4 (Medium)

4. ANALYSIS OF PAKISTAN TEXTILE AND CLOTHING EXPORT DESTINATIONS AND RESPECTIVE LEAD TIMES

The statistics of world textile and clothing show that main textile importers are USA, China, EU, Canada, Japan and Mexico. Their combined share in world textile imports is around 60 %, in 2007. For clothing the main importers are EU, USA, Japan and Canada representing around 81 % of world clothing imports in 2007[6].

The statistics of textile and clothing exports of Pakistan, between 2000 and 2007, is summarized in Table 2. The most important market destinations are shown in Figures 1 and 2. These markets have attracted around two third of Pakistan's textile and clothing exports [6] in that period. Based on this statistics an initial survey of travelling times from Pakistan to these destinations and some other important countries has been carried out through shipping lines from Pakistan. The details of this survey are compiled in Table 3 and presented in Figure 3.

Table 2: Textile & Clothing Exports Statistics of Pakistan 2000-2007

Destinations		Textile								Clothing							
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
World	Value*	4532	4525	4790	5811	6125	7087	7469	7371	2144	2136	2228	2710	3026	3604	3907	3806
	Share**	2,9	3,1	3,1	3,4	3,1	3,5	3,4	3,1	-	-	-	1,2	1,2	1,3	1,3	1,1
	Rank***	12th	9th	9th	9th	10th	8th	9th	9th	>15	>15	>15	15th	15th	13th	13th	12th
Canada	Value	100	84	89	97	88	101	104	97	60	70	70	71	70	69	81	82
	Share	2,4	2,2	2,3	2,5	2,1	2,3	2,4	2,1	1,6	1,8	1,7	1,6	1,3	1,2	1,2	1,1
	Rank	7th	7th	7th	7th	7th	6th	6th	6th	14th	13th	13th	14th	15th	14th	12th	12th
USA	Value	945	1057	1161	1251	1478	1704	1902	1700	1049	1102	1060	1200	1322	1447	1628	1696
	Share	6	6,9	6,8	6,8	7,2	7,6	8,1	7,1	1,6	1,7	1,6	1,7	1,7	1,8	2	2
	Rank	7th	6th	6th	6th	6th	6th	5th	6th	21st	21st	22nd	23rd	21st	18th	15th	14th
Mexico	Value	N/A	N/A	38	42	42	51	37	37	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Share	-	-	0,7	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-
	Rank	-	-	8th	8th	8th	7th	12th	12th	-	-	-	-	-	-	-	-
EU	Value	1006	995	1115	1363	1739	1527	1728	2099	867	834	904	1130	1389	1228	1395	1547
	Share	2	2,2	2,4	2,6	2,6	2,3	2,5	2,5	1	1,1	1,1	1,1	1,1	1	1	1
	Rank	7th	7th	5th	5th	5th	5th	5th	5th	15th	15th	14th	12th	11th	12th	12th	11th
China	Value	N/A	N/A	474	460	450	574	702	731	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Share	-	-	3,6	3,2	2,9	3,7	4,3	4,4	-	-	-	-	-	-	-	-
	Rank	-	-	6th	6th	7th	7th	7th	7th	-	-	-	-	-	-	-	-
Japan	Value	152	109	81	76	87	75	71	66	15	16	9	8	8	8	8	9
	Share	3,1	2,3	1,8	1,5	1,6	1,3	1,1	1	0,1	0,1	0,1	-	-	-	-	-
	Rank	8th	8th	10th	10th	10th	10th	10th	11th	20th	20th	26th	29th	29th	27th	28th	26th

* Million of \$US

** Pakistani share in region imports

*** Rank in regions import suppliers

Table 3: Travelling Times from Karachi Port, Pakistan to Different Destinations in World

Destination	Travelling Time	Destination	Travelling Time	Destination	Travelling Time
United Kingdom	20-22	Norway	32-35	Mexico	40-45
Germany	22-24	Portugal	30-32	Brazil	40-45
France	28-30	America (NY)	22-24	Argentina	30-35
Italy	21-22	Canada	28-30	Vietnam	20-22
South Africa	24-25	Tunisia	29-30	Malaysia	16-17
Algeria	24-25	Saudi Arabia	10-11	Japan	22-25
Egypt	18-20	Australia	30-35	Bangladesh	18-20

5. CONCLUSION AND FUTURE WORK

The SWOT analysis of the textile value chain and associated subsectors rates cotton ginning and machine manufacturing as weakest areas (rated 2-Poor); clothing, man-made fibre production, ICT, dyes and chemical manufacturing as medium (rated 3 or 4); cotton farming, weaving, dyeing, finishing as strong (5); spinning, knitting and printing as strongest areas (6 or 7).

The textile and clothing export statistics show that important markets for Pakistan textile products are EU, USA, China, Canada, Japan and Mexico. Initial surveys reveal that the freight travelling times to South America, Australia, Northern Europe and African countries are higher than other destinations. Although the freight travelling time is only a part of product lead times but this is important for countries like Pakistan which due to their geographical location are distant from the main markets.

An intermodal link between Pakistan and Europe through Iran and Turkey can decrease travelling times and therefore to improve the market response time through lead times reduction.

The project will develop through the following studies:

- Production times;
- Travelling times to more destinations;
- Travelling times to main ports in Pakistan;
- Lead times as a combined effect of travelling times with planning and production times
- Production costs;
- Statistical analysis of lead times and costs;
- Textile and clothing lead times in Portugal;
- Benchmarking of results;
- Development of strategies and recommendations for decreasing lead times and costs in Pakistan;

6. REFERENCES

- [1] Caesar B. Cororaton and David Orden. 2008. Pakistan's Cotton and Textile Economy; *Intersectoral Linkages and Effects on Rural and Urban Poverty*: Page 22
- [2] USDA. 2009. *Cotton: World Markets & Trade 2009*: Page 13
- [3] Jatinder S. Bedi and Caesar B. Cororaton. 2008. Cotton-Textile-Apparel Sector of India; Situation & Challenges Faced: Page 52
- [4] Caesar B. Cororaton, Abdul Salam, Zafar Altaf and David Orden. 2008. Cotton-Textile-Apparel Sectors of Pakistan; Situation and Challenges Faced: Page 52
- [5] Study on State of Domestic Commerce in Pakistan: Study 7; An Overview of Transport sector by IDS, Pages 4,6,21
- [6] *International Trade Statistics 2001,2002,2003,2004,2005,2006,2007 & 2008 by WTO*

Figure 1: Pakistan Textile Exports (Million \$US) 2000-2007

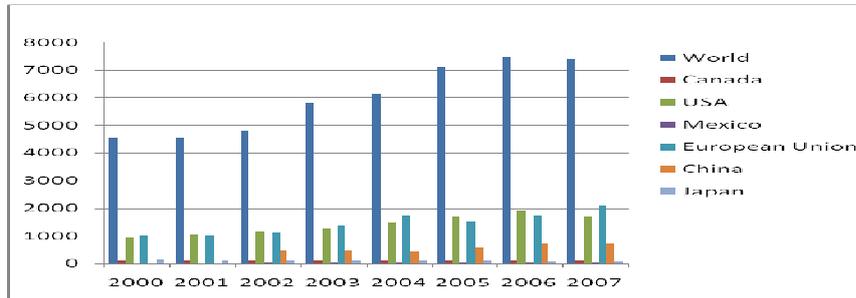


Figure 2: Pakistan Clothing Exports (Million \$US) 2000-2007

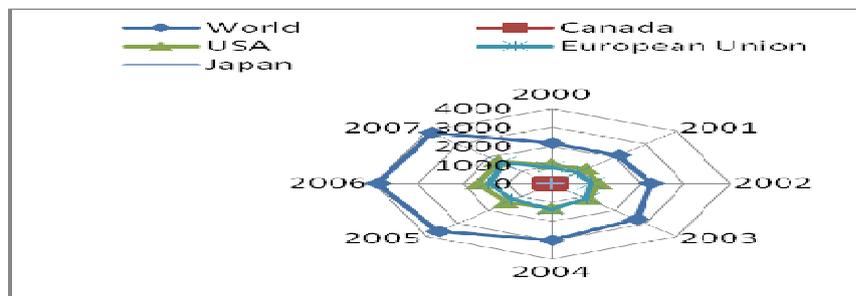
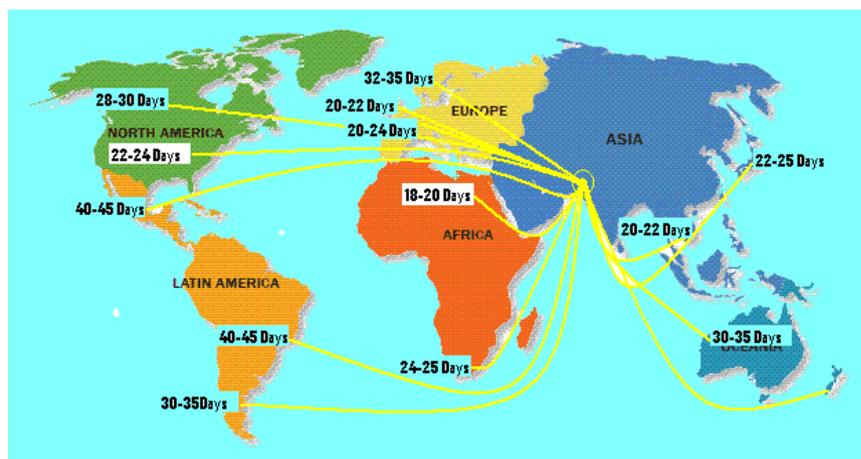


Figure 3: Freight Travelling Times from Karachi Pakistan



COMPARACIÓN DE DOS SELECTORES DE LA VENTANA EN LA ESTIMACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN CONDICIONAL CON CENSURA

M^a Carmen Iglesias Pérez¹

¹Universidad de Vigo, E.U.E.T. Forestal, Pontevedra

RESUMEN

La selección apropiada del parámetro de suavizado o ventana es todavía un problema abierto en la estimación de la función de distribución condicional. En presencia de datos censurados y truncados, Iglesias Pérez (2003, 2007) propone un criterio basado en ideas de validación cruzada (CV) para la selección de la ventana del estimador límite-producto condicional que resulta razonable en términos de aproximación al MISE mínimo, en contextos i.i.d., de censura y de censura junto con truncamiento. En este trabajo se realiza un estudio de simulación para comparar el selector CV anteriormente mencionado con un selector basado en la propuesta *plug-in* de Dabrowska (1992) para el caso de datos censurados.

Palabras e frases clave: Censura, Kaplan-Meier condicional, parámetro ventana, validación cruzada, selector *plug-in*.

1. INTRODUCCIÓN

En escenarios donde las observaciones no son i.i.d. debido a problemas de pérdida de información tales como censura, truncamiento, sesgo longitudinal, etc., el uso de los pesos núcleo de Nadaraya-Watson en la estimación de la función de distribución condicional resulta muy conveniente. No obstante, perdura el problema de la selección apropiada del parámetro de suavizado o ventana.

En presencia de datos censurados y truncados, Iglesias Pérez (2003) propone un criterio basado en ideas de validación cruzada (CV) para la selección de la ventana del estimador límite-producto condicional (Kaplan-Meier condicional cuando solo hay censura). El estudio de simulación de Iglesias Pérez (2007) muestra que el método propuesto resulta razonable en términos de aproximación al MISE mínimo, en contextos i.i.d., de censura y de censura junto con truncamiento. Asimismo se destaca la flexibilidad del criterio CV propuesto para adaptarse a distintos escenarios de pérdida de información ligados al muestreo de tiempos de duración.

En este trabajo se realiza un estudio de simulación para comparar el selector CV anteriormente mencionado con un selector basado en la propuesta *plug-in* de Dabrowska (1992) para el caso de datos censurados.

2. SELECCIÓN DE LA VENTANA

Consideramos el modelo de censura aleatoria por la derecha con covariables, en el cuál se dispone de una muestra observada $\{(X_i, Z_i, \delta_i)\}_{i=1}^n$ i.i.d. según (X, Z, δ) , donde Y es el tiempo de duración, C la variable censura, $Z = \min\{Y, C\}$ el tiempo observado y $\delta = 1\{Y \leq C\}$ la variable indicadora de que se observó el tiempo de interés. También se asume que la censura no afecta a la covariable X y que Y y C son independientes condicionalmente dado X .

El estimador clásico de la función de distribución condicional en este contexto es el estimador límite producto condicional, también llamado Kaplan-Meier condicional, estudiado, entre otros, por Beran(1981), Dabrowska (1989), González Manteiga y Cadarso Suárez (1994) o Van Keilegom y Veraverbeke (1997). Viene dado por:

$$\hat{F}_h(y | x) = 1 - \prod_{i=1}^n \left(1 - \frac{1_{\{Z_i \leq y, \delta_i = 1\}} B_{hi}(x)}{1 - \sum_{j=1}^n 1_{\{Z_j < Z_i\}} B_{hj}(x)} \right) \quad (1)$$

siendo los $B_{hi}(x)$ los pesos de la estimación no paramétrica. En este trabajo asumiremos pesos de Nadaraya-Watson dados por

$$B_{hi}(x) = \frac{\frac{1}{nh} K\left(\frac{x-X_i}{h}\right)}{\frac{1}{nh} \sum_{j=1}^n K\left(\frac{x-X_j}{h}\right)}, \quad i = 1, \dots, n$$

siendo K una función de tipo núcleo. (En las simulaciones se utiliza el núcleo de Epanechnikov).

Para la selección de h , se consideran los dos criterios siguientes:

1. Un criterio CV que consiste en elegir el h (h_{CV}) resultante de minimizar la función

$$CV_\rho(h) = \sum_{i=1}^n w_{hi}(x) \int \left[1\{Y_i \leq y\} - \hat{F}_{h,-i}(y | x) \right]^2 \rho(y) dy \quad (2)$$

donde $w_{hi}(x) = \frac{\delta_i B_{hi}(x)}{1 - \sum_{j=1}^n 1_{\{Z_j < Z_i\}} B_{hj}(x)} \left(1 - \hat{F}_h(Z_i^- | x) \right)$ denota el salto del estimador (1) en Z_i , $\hat{F}_{h,-i}(y | x)$ es el estimador límite producto condicional construido a partir de los datos muestrales sin la terna (X_i, Z_i, δ_i) y ρ es una función de ponderación que elimina los efectos de estimación en las colas.

Este criterio (2) resulta un caso particular del propuesto en Iglesias Pérez (2003), para el caso de no truncamiento, y su comportamiento se muestra en el estudio de simulación de Iglesias Pérez (2007), parte del cual se recupera en este trabajo.

2. Dabrowska (1992) propone utilizar como parámetro ventana el h resultante de minimizar el error cuadrático medio asintótico ($AMSE$) del estimador (1), dado por

$$\begin{aligned} AMSE(h) &= AVar\left(\hat{F}_h(y | x)\right) + \left(ASesgo\left(\hat{F}_h(y | x)\right)\right)^2 \\ &= \frac{1}{nh} \sigma^2(y | x) + h^4 b^2(y | x) \end{aligned}$$

donde

$$\sigma^2(y | x) = \frac{(1 - F(y | x))^2}{f_X(x)} \left(\int K^2(u) du \right) \left(\int_0^y \frac{dH_1(s | x)}{[1 - H(s | x)]^2} \right),$$

$$b(y | x) = \frac{1 - F(y | x)}{2} \left(\int u^2 K(u) du \right) \left[\left(\int_0^y \frac{\ddot{H}(s | x) dH_1(s | x)}{[1 - H(s | x)]^2} + \int_0^y \frac{d\ddot{H}_1(s | x)}{1 - H(s | x)} \right) + \frac{2f'_X(x)}{f_X(x)} \left(\int_0^y \frac{\dot{H}(s | x) dH_1(s | x)}{[1 - H(s | x)]^2} + \int_0^y \frac{d\dot{H}_1(s | x)}{1 - H(s | x)} \right) \right]$$

y $\dot{H}(y | x) = \frac{\partial}{\partial x} H(y | x)$, $\ddot{H}(y | x) = \frac{\partial^2}{\partial x^2} H(y | x)$, $\dot{H}_1(y | x) = \frac{\partial}{\partial x} H_1(y | x)$ y $\ddot{H}_1(y | x) = \frac{\partial^2}{\partial x^2} H_1(y | x)$. Según este criterio, la ventana óptima es

$$h_{AMSE} = \left(\frac{\sigma^2(y | x)}{4b^2(y | x)} \right)^{1/5} n^{-1/5}.$$

la cual depende de x y de y . Para evitar la dependencia de y en este trabajo se propone estudiar el comportamiento de una ventana global respecto a y , aquella que minimiza el error cuadrático medio asintótico integrado

$$\begin{aligned} IAMSE_\rho(h) &= \int AMSE(h) \rho(y) dy \\ &= \frac{1}{nh} \int \sigma^2(y | x) \rho(y) dy + h^4 \int b^2(y | x) \rho(y) dy, \end{aligned}$$

donde ρ es una función de ponderación que elimina los efectos de estimación en las colas. La expresión de esta ventana global es

$$h_{IAMSE_\rho} = \left(\frac{\int \sigma^2(y | x) \rho(y) dy}{4 \int b^2(y | x) \rho(y) dy} \right)^{1/5} n^{-1/5}, \quad (3)$$

En la aplicación a datos reales, la ventana h_{IAMSE_ρ} depende de funciones desconocidas ($H(y | x)$, $H_1(y | x)$ y sus derivadas) las cuales deben ser estimadas. Sustituyendo esas funciones desconocidas por estimadores consistentes se obtiene un estimador *plug-in* de la ventana h_{IAMSE_ρ} . Sin embargo en este estudio de simulación trabajaremos con las funciones teóricas, de modo que los resultados obtenidos han de verse como los mejores que podría conseguir cualquier estimador *plug-in* de h_{IAMSE_ρ} en situaciones reales (en el sentido de que se estarían estimando exactamente las funciones desconocidas que aparecen en la expresión de la ventana h_{IAMSE_ρ}).

3. SIMULACIONES

En este apartado se realiza un estudio de simulación sobre el comportamiento de la ventana h_{IAMSE_ρ} definida en (3) y se comparan estos resultados con los obtenidos en Iglesias Pérez (2007) para la ventana h_{CV} del criterio (2). Para poder llevar a cabo la comparación se utiliza el siguiente modelo teórico (Van Keilegom, Akritas y Veraverbeke (2001)):

$X \in U(0, 1)$; $F(y | x) = 1 - e^{-\frac{y}{a_0 + a_1x + a_2x^2}}$, $y > 0$; $G(y | x) = 1 - e^{-\frac{y}{b_0 + b_1x + b_2x^2}}$, $y > 0$ (las distribuciones condicionadas a $X = x$ de Y y C son exponenciales). Además, $x = 0.5$, $b_0 = 5$, $b_1 = 2$ y $b_2 = 8$ y $a_0 = 1$, $a_1 = -5$ y $a_2 = 16.67$ (25% de censura), 38 (50% de censura) y 102 (75% de censura).

El comportamiento de la ventana h_{IAMSE_ρ} se estudia en términos del error $MISE$ que se comete al estimar usando dicha ventana. Para ello en primer lugar hemos calculado la ventana h_{IAMSE_ρ} de acuerdo a la expresión (3), tomando $x = 0.5$, $\rho(y) = 1 \{y \in [F^{-1}(0.05 | x), F^{-1}(0.95 | x)]\}$ y sustituyendo en las expresiones de $\sigma^2(y | x)$ y $b(y | x)$ las funciones que aparecen por las funciones teóricas del modelo. Además K es el núcleo de Epanechnikov.

Una vez obtenido el valor de h_{IAMSE_ρ} hemos generado $M = 5000$ muestras $\{(X_i, Z_i, \delta_i)\}_{i=1}^n$ de tamaños $n = 50$ y $n = 100$ del modelo teórico, y calculado los 5000 valores del error cuadrático integrado, ISE , cometido usando la ventana h_{IAMSE} en las distintas muestras. El promedio de esos errores aproxima el valor del $MISE$:

$$MISE(h_{IAMSE_\rho}) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \int [\hat{F}_{h_{IAMSE}}^m(y | x) - F_x(y | x)]^2 \rho(y) dy,$$

donde $\hat{F}_{h_{IAMSE}}^m(y | x)$ es el estimador (1) basado en la muestra m -ésima ($m = 1, \dots, M$) de tamaño n .

La tabla 1 muestra, para $n = 50$ y $n = 100$, la ventana h_{IAMSE_ρ} y el error $MISE$ que con ella se comete.

Tabla 1: Ventanas h_{IAMSE} y error $MISE_{h_{IAMSE}}$

$x = 0.5$	$n = 50$		$n = 100$	
% censura	h_{IAMSE}	$MISE_{h_{IAMSE}}$	h_{IAMSE}	$MISE_{h_{IAMSE}}$
25%	0.13	0.1658	0.12	0.1045
50%	0.19	0.7142	0.17	0.3941
75%	0.38	5.1902	0.33	3.8588

Además, debido al objetivo comparativo de este trabajo, se presentan los resultados de las simulaciones de Iglesias Pérez (2007) relativos al presente modelo teórico.

Específicamente, la tabla 2 muestra la ventana que minimiza el $MISE$, aproximado por Montecarlo ($M = 1000$), así como el mínimo alcanzado. Para estudiar el comportamiento del criterio $CV_\rho(h)$ dado en (2) se generaron $B = 1000$ muestras de tamaños $n = 50$ y $n = 100$ y se calcularon los 1000 valores de h_{CV}^B que minimizaban el $CV_\rho^B(h)$ construido con cada una de las B muestras. Así se consiguió una aproximación de la distribución del estimador de la ventana que minimizaba el $CV_\rho(h)$, de la cual la tabla 3 muestra su media, desviación típica (D.T.) y el valor del $MISE$ alcanzado en la ventana media ($MISE_{CV}$).

Tabla 2: Ventanas $MISE$ y error mínimo alcanzado.

$x = 0.5$	$n = 50$	$n = 100$
% censura	h_{MISE} (min $MISE$)	h_{MISE} (min $MISE$)
25%	0.38 (0.0897)	0.30 (0.0606)
50%	0.50 (0.3701)	0.40 (0.2278)
75%	1.00 (4.1457)	0.56 (3.0042)

Tabla 3: Ventanas CV y error $MISE$ en la ventana media.

$x = 0.5$	$n = 50$			$n = 100$		
% censura	Media h_{CV}	D.T. h_{CV}	$MISE_{CV}$	Media h_{CV}	D.T. h_{CV}	$MISE_{CV}$
25%	0.33	0.15	0.0909	0.31	0.14	0.0609
50%	0.40	0.20	0.3871	0.36	0.17	0.2302
75%	0.43	0.28	4.8681	0.44	0.25	3.2443

3. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Comparando los resultados de la tabla 1 con los de la tabla 2 observamos que la ventana h_{IAMSE_ρ} presenta valores bastante por debajo de la ventana h_{MISE_ρ} , a la vez que comete errores superiores a los alcanzados usando la ventana h_{MISE_ρ} , lo cual se observa de forma más acusada para $n = 50$ que para $n = 100$. Por tanto, podemos decir que una propuesta *plug-in* basada en la ventana h_{IAMSE_ρ} no va a ser un buen selector del parámetro de suavizado para el estimador Kaplan-Meier condicional en términos del error $MISE$, al menos para tamaños muestrales pequeños o medios. En estas situaciones el selector CV constituye una propuesta más razonable, tal como muestran los resultados de la tabla 3. En el caso de tamaños muestrales grandes habría que estudiar la variabilidad de una estimación *plug-in* de h_{IAMSE_ρ} basada en datos reales y compararla con la obtenida para las ventanas CV , para decidirse por uno de los dos selectores.

Todos los resultados obtenidos en el estudio de la ventana h_{MISE_ρ} muestran coherencia en el sentido de que la ventana disminuye al aumentar el tamaño muestral y aumenta al elevarse el porcentaje de censura. Asimismo, el error $MISE$ disminuye al aumentar n y aumenta con el porcentaje de censura.

4. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece la financiación del Proyecto MTM2008-03129 del Ministerio de Ciencia e Innovación y también del Proyecto PGIDIT07PXIB300191PR de la Xunta de Galicia.

REFERENCIAS

Beran, R. (1981) Nonparametric regression with randomly censored data. Technical report. Univ. California, Berkeley.

- Dabrowska, D. (1989) Uniform consistency of the kernel conditional Kaplan-Meier estimate. *Ann. Statist.* 17, 1157-1167.
- Dabrowska, D. (1992) Variable bandwidth conditional Kaplan-Meier estimate. *Scand. J. Statist.* 19, 351-361.
- González Manteiga, W. and Cadarso Suárez, C. (1994) Asymptotic properties of a generalized Kaplan-Meier estimator with some applications. *Nonparametric Statist.* 4, 65-78.
- Iglesias Pérez, M.C. (2003) Estimación de la función de distribución condicional en presencia de censura y truncamiento: Una aplicación al estudio de la mortalidad en pacientes diabéticos. *Estadística Española.* 45, 275-301.
- Iglesias Pérez, M.C. (2007) Selección de la ventana en estimación de la distribución condicional. Libro de Actas del XXX Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa (Valladolid).
- Van Keilegom, I. and Veraverbeke, N. (1997) Estimation and bootstrap with censored data in fixed design nonparametric regression. *Ann. Inst. Statist. Math.* 49, 467-491.
- Van Keilegom, I., Akritas, M.G. and Veraverbeke, N. (2001) Estimation of the conditional distribution in regression with censored data: a comparative study. *Computational Statistics & Data Analysis.* 35, 487-500.

UNHA PROPOSTA PARA LEVAR A ESTATÍSTICA PÚBLICA ÁS AULAS: A COLABORACIÓN DO IGE CON LA VOZ DE GALICIA NO PROGRAMA PRENSA-ESCUELA

Esther López Vizcaino¹ e Esther Calvo Ocampo¹

¹ Instituto Galego de Estatística

RESUMO

Nesta ponencia descríbese a colaboración que o IGE e La Voz de Galicia manteñen a través do “Programa Prensa Escuela” para levar a estatística pública ás aulas de ESO mediante o traballo cun medio de comunicación. Esta colaboración ten como obxectivo potenciar o coñecemento da estatística entre os estudantes mostrándolles a súa utilidade

Palabras e frases clave: educación matemática, ESO

1. INTRODUCCIÓN

O Instituto Galego de Estatística (IGE) é un organismo autónomo da Xunta de Galicia que ten como misión a de promover o sistema estatístico da Comunidade Autónoma de Galicia. Para o adecuado desenvolvemento desta misión, o IGE considera esencial a progresiva interacción cos usuarios e, en particular, o fomento da difusión da utilidade da estatística entre o alumnado, de xeito que se familiaricen dende novos cos conceptos básicos e se acostumen a analízalos e interpretalos.

La Voz de Galicia, S.A., sociedade editora do xornal “la Voz de Galicia”, realiza unha labor de promoción e difusión de distintos programas de carácter cultural e educativo entre os que destaca o “Programa Prensa-Escuela”, que ten como obxectivo principal promover o uso da prensa como ferramenta didáctica en Centros educativos da Comunidade Autónoma de Galicia, así como facilitar o seu acceso aos medios de comunicación e ás novas tecnoloxías. Dende este punto de vista o “Programa Prensa-Escuela” pon a disposición da comunidade escolar exemplares do xornal “La Voz de Galicia” e do suplemento semanal “la Voz de la Escuela”, así como unidades didácticas que potencian a análise de noticia, aportando recursos para traballar co diario na clase.

Tendo en conta os dous apartados precedentes o IGE e La Voz de Galicia consideraron de sumo interese colaborar, no marco do “Programa Prensa-Escuela”, no desenvolvemento de actividades educativas encamiñadas a promover o uso da prensa como instrumento de formación complementaria do alumnado, de xeito que se potencie o coñecemento da estatística entre os estudantes, axudando a que tomen conciencia da utilidade dos conceptos estatísticos básicos.

2. DESCRIPCIÓN DA COLABORACIÓN

As actividades que se leven a cabo en base a esta colaboración serán de carácter extracurricular e favorecerán o coñecemento da estatística mediante a selección, análise e interpretación de noticias publicadas no xornal La Voz de Galicia que teñan un compoñente estatístico ou mediante a selección, análise e interpretación de datos estatísticos publicados polo IGE que teñan interese periodístico e que sexan empregados de forma habitual polos medios de comunicación.

O “Programa Prensa- Escuela” publicará durante este curso 2009-2010 varias unidades didácticas (leccións sobre unha noticia) onde se aborden noticias relacionadas con conceptos estatísticos, para que os profesores poidan apoiarse nelas e impartir as correspondentes materias. Para este programa a estatística será un dos temas do ano, ó que se recurrirá con intensidade durante os primeiros meses do curso, non só a través das páxinas de

“La Voz en la Escuela”, senón ademais, colgando na web <http://www.prensaescuela.es> un mínimo de 8 unidades didácticas elaboradas polo IGE.

Coa finalidade de potenciar o coñecemento da estatística entre os estudantes e de mostrarlles a súa utilidade, está previsto tratar temas como: poboación, migracións, natalidade, mortalidade, as variacións do IPC, o mercado de traballo, as condicións de vida, o comercio exterior, o crecemento económico e o perfil empresarial galego. Tratarase tamén de estar moi cerca da actualidade e da noticia, dende un punto de vista estatístico.

3. A PRIMEIRA UNIDADE DIDÁCTICA

A primeira das unidades didácticas que xa está publicada en <http://www.prensaescuela.es> está dedicada á estatística poboacional: ¿Cantos e cómo somos?, é decir, á obtención do número e distribución das principais características demográficas da nosa sociedade. Partindo de dúas noticias publicadas por La Voz de Galicia sobre o crecemento demográfico da poboación esta unidade didáctica plantea:

- ❖ Dar a coñecer as fontes de información que ofrecen datos sobre poboación
- ❖ Familiarizarse cos conceptos relacionados coa poboación empregados na estatística pública e que habitualmente aparecen nos medios de comunicación
- ❖ Dar a coñecer as representacións gráficas máis importantes para o estudo do fenómeno da poboación: gráficos de sectores, diagrama de barras e pirámide de poboación

Todo o dito con anterioridade complementase co apoio dunha serie de actividades que requirirán que se poña en práctica as fontes de información, conceptos e ferramentas anteriores.

Un exemplo das actividades que se plantean nesta unidade didáctica é a que se presenta a continuación sobre a poboación estranxeira. A actividade baséase nunha noticia publicada pola Voz de Galicia e exponse a continuación:

La Voz de Galicia. 03/06/2009

Galicia se acerca a los 2.800.000 habitantes y es la tercera comunidad que menos crece

La población extranjera aumenta el número de empadronados en España hasta los 46.661.950 habitantes. Galicia es la segunda autonomía con menos ciudadanos de otros países inscritos.

El total de residentes en Galicia a 1 de enero del 2009 ascendía a 2.794.796, según el avance del padrón municipal que ha publicado hoy el Instituto Nacional de Estadística. Según estos datos, la población gallega ha aumentado en 10.627, aunque es una de las comunidades autónomas en la que menos ha crecido la población.

A nivel nacional, España se acerca a los 47 millones de habitantes, una cifra que está muy relacionada con el incremento del número de extranjeros inscritos en el padrón: 5.598.691 ciudadanos empadronados eran extranjeros, un 12% del total. Esta cifra también explica la razón por la que Galicia se encuentra por debajo en el rango de crecimiento, pues está junto con Extremadura y con el Principado de Asturias, entre las tres autonomías con menos inscritos extranjeros.

A noticia en La Voz de Galicia:

<http://www.lavozdeg Galicia.es/galicia/2009/06/03/00031244022325050579437.htm>

Nesta actividade traballaremos coa noticia “**Galicia se acerca a los 2.800.000 habitantes y es la tercera comunidad que menos crece**”. Trataremos de coñecer as cifras de poboación oficiais da Comunidade Autónoma de Galicia a 1/1/2009 así como as cifras de poboación estranxeira.

O INE, arredor do mes de xuño de cada ano, publica uns datos provisionais da poboación a 1 de xaneiro dese ano. Estes datos provisionais son os que aparecen na noticia e que reflicte que Galicia a 1/1/2009 tiña 2.794.796 habitantes, 10.627 habitantes máis que no ano 2008, o que supón en termos relativos un incremento do 0,38%. Galicia foi unha das comunidades onde menos medrou a poboación no ano 2009. Isto pódese comprobar consultando a web do INE en:

<http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=%2Ft20%2Fe245&file=inebase&L>

¿Contribúe a poboación estranxeira ao crecemento da poboación galega?

Na noticia asegúrase que o crecemento de España vén, en certa medida, condicionado polo crecemento da poboación estranxeira, que no ano 2009 situábase en 5.598.691. Pero, ¿qué ocorre en Galicia?

En Galicia, tal e como se observa na táboa 3 que se expón a continuación, temos un total de 106.129 estranxeiros no ano 2009, o que supón un 3,8% da poboación total, moi lonxe do 12% español. Pero...,¿qué ocorreu coa evolución da poboación estranxeira en Galicia nos últimos anos??

Táboa 1. Poboación galega segundo nacionalidade

	Total	Española	Estranxeira
1998	2.724.544	2.704.851	19.693
1999	2.730.337	2.708.550	21.787
2000	2.731.900	2.706.298	25.602
2001	2.732.926	2.699.868	33.058
2002	2.737.370	2.694.908	42.462
2003	2.751.094	2.697.286	53.808
2004	2.750.985	2.692.598	58.387
2005	2.762.198	2.692.835	69.363
2006	2.767.524	2.693.768	73.756
2007	2.772.533	2.691.091	81.442
2008	2.784.169	2.688.601	95.568
2009	2.794.796	2.688.667	106.129

Fonte: INE. Padrón municipal de habitantes

[http://www.ige.eu/igebdt/esq.jsp?ruta=verTabla.jsp?OP=1&B=1&M=&COD=54&R=0\[all\]&C=2\[all\]&F=1:0:9915:12&S=](http://www.ige.eu/igebdt/esq.jsp?ruta=verTabla.jsp?OP=1&B=1&M=&COD=54&R=0[all]&C=2[all]&F=1:0:9915:12&S=)

[http://www.ige.eu/igebdt/esq.jsp?paxina=002001&c=0201001002&ruta=verPpalesResultados.jsp?OP=1&B=1&M=&COD=1371&R=1%5Ball%5D&C=0%5Ball%5D&F=T\[1:0\];9912:12&S=](http://www.ige.eu/igebdt/esq.jsp?paxina=002001&c=0201001002&ruta=verPpalesResultados.jsp?OP=1&B=1&M=&COD=1371&R=1%5Ball%5D&C=0%5Ball%5D&F=T[1:0];9912:12&S=)

Observamos que o crecemento da poboación estranxeira en Galicia foi continuado dende o ano 1998, contribuíndo moi positivamente ao crecemento da poboación galega nos últimos anos.

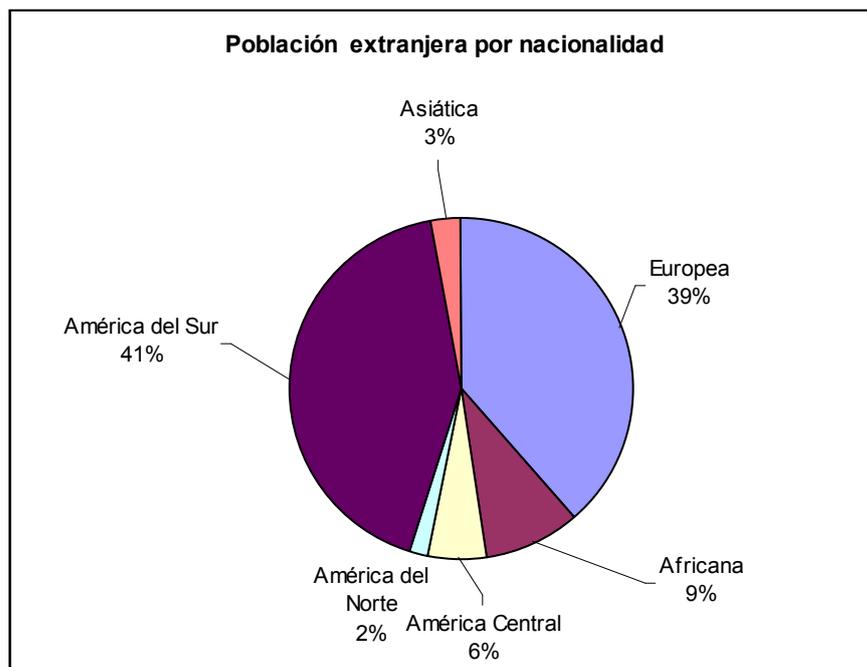
¿Cales son as nacionalidades predominantes da poboación estranxeira en Galicia?

Para acceder aos datos de poboación estranxeira segundo nacionalidade podes pinchar no seguinte enlace:

[http://www.ige.eu/igebdt/esq.jsp?ruta=verTabla.jsp?OP=1&B=1&M=&COD=1371&R=2\[3\]:1\[0:1:13:15:18:22:29\]&C=0\[0\];9912\[all\]&F=&S=](http://www.ige.eu/igebdt/esq.jsp?ruta=verTabla.jsp?OP=1&B=1&M=&COD=1371&R=2[3]:1[0:1:13:15:18:22:29]&C=0[0];9912[all]&F=&S=)

Pódese observar que a nacionalidade máis predominante é a de América del Sur. No ano 2009 houbo 43.028 residentes en Galicia con esa nacionalidade, o que supón aproximadamente o 41% do total de estranxeiros. Representaremos os porcentaxes das diferentes nacionalidades nun gráfico de sectores.

Gráfico 1 Poboación estranxeira que reside en Galicia segundo a súa nacionalidade no ano 2008



Fonte: INE. Padrón Municipal de habitantes

Comentario da situación de túa provincia.

- ❖ *Para o ano 2009, ¿qué porcentaxe de poboación estranxeira hai na túa provincia? Cales son as nacionalidades máis importantes?. Representao nun gráfico adecuado*
- ❖ *¿Contribuíu positivamente a chegada de estranxeiros ao crecemento da túa provincia?*

✚ Na páxina do IGE poderás atopar a información para contestar ás preguntas que se expón sobre a túa provincia nos seguintes enlaces:

[http://www.ige.eu/igebdt/esq.jsp?ruta=verTabla.jsp?OP=1&B=1&M=&COD=1371&R=2\[3\];1\[0:1:13:15:18:22:29\]&C=0\[0\]:9912\[all\]&F=&S=](http://www.ige.eu/igebdt/esq.jsp?ruta=verTabla.jsp?OP=1&B=1&M=&COD=1371&R=2[3];1[0:1:13:15:18:22:29]&C=0[0]:9912[all]&F=&S=)

[http://www.ige.eu/igebdt/esq.jsp?ruta=verTabla.jsp?OP=1&B=1&M=&COD=54&R=0\[all\]&C=9915\[12:15:27:32:36\];2\[all\]&F=1:0&S](http://www.ige.eu/igebdt/esq.jsp?ruta=verTabla.jsp?OP=1&B=1&M=&COD=54&R=0[all]&C=9915[12:15:27:32:36];2[all]&F=1:0&S)

REFERENCIAS

IGE. Portal educativo do IGE: <http://www.ige.eu/educacion>

Díaz Doutón, R.e López Vizcaíno, E, (2007). A estatística pública ó servizo da educación: o proxecto do portal educativo do Instituto Galego de Estatística. VIII Congreso Galego de Estatística e Investigación de Operacións, Santiago de Compostela.

La Voz de Galicia. Programa Prensa Escuela : <http://www.prensaescuela.es>

ESTIMACIÓN LOCAL DE VARIABLES LABORALES. UNA APLICACIÓN A LAS COMARCAS DE GALICIA.

Lopez Vizcaino, M^a Esther¹, Sánchez Fernández, Patricio² y Vaamonde Liste, Antonio³

1 Instituto Galego de Estatística – IGE (email: esther.lopez@ige.eu)

2 Universidade de Vigo (email: patricio@uvigo.es)

3 Universidade de Vigo (email: vaamonde@uvigo.es)

RESUMEN

El mercado laboral refleja la realidad socioeconómica de un territorio. Por este motivo, las variables laborales constituyen un aspecto transversal de cualquier análisis económico al constituir objeto de interés información relativa al número de ocupados, el número de parados o la tasa de paro.

Esta información, que debe ser suministrada por los responsables públicos en materia de empleo, adolece de una limitación motivada por su falta de desagregación territorial. De hecho, esta circunstancia hace imposible descender más allá del ámbito provincial en determinadas ocasiones.

Conscientes de la conveniencia de disponer de datos a nivel municipal, metropolitano o comarcal, el presente trabajo realiza una propuesta en este sentido aplicadas, en este caso, a comarcas gallegas. Para ello se propone el uso de la técnica estadística de estimación en áreas pequeñas con el objetivo de realizar estimaciones de variables laborales.

Palabras clave: mercado laboral, estimación variables, áreas pequeñas, comarcas, Galicia

1. INTRODUCCIÓN

A la hora de realizar un estudio socioeconómico a nivel territorial es necesario abordar, con carácter previo, una serie de ámbitos de los distintos sectores de actividad. Éstos son los denominados en la literatura especializada como factores transversales puesto que inciden de manera global en los distintos sectores. De hecho, se configuran tradicionalmente como herramientas muy apropiadas para realizar análisis sectoriales en el ámbito del estudio económico. Entre estas cuestiones destaca, por su creciente relevancia, la referente a la dinámica del empleo y el mercado de trabajo del territorio a estudiar. Se trata, entre otros aspectos, de observar la relación existente entre la oferta y la demanda de trabajo, esto es, la relación entre el número de personas que están dispuestas a trabajar frente a la cantidad de puestos de trabajo ofertados. Así, de la existencia (o no) de equilibrio en este mercado entre la oferta y la demanda se desprende uno de los rasgos más sintomáticos de cualquier contexto socioeconómico. Esto supone que existe un número de personas que, deseando trabajar, no son capaces de encontrar empleo. Ésta situación se conoce como desempleo.

Por este motivo, las variables laborales y, concretamente aspectos tales como el número de ocupados, el número de parados o la tasa de paro, constituyen una información necesaria que debe estar al alcance del investigador. Esta información debe ser suministrada por las autoridades públicas responsables en materia de empleo. Sin embargo, pese a que la situación ha mejorado en los últimos tiempos, una limitación de estos datos viene dada por su falta de desagregación territorial que, en ocasiones, hace imposible descender más allá del ámbito provincial. Conscientes de esta necesidad y, a modo de propuesta, el propósito de esta comunicación consiste en proponer estimaciones de variables relacionadas con el mercado laboral local a un nivel inferior al provincial. Para ello se empleará la metodología estadística de estimación en áreas pequeñas, la cual será aplicada a la estimación de los ocupados, parados y tasas de paro en las comarcas gallegas.

2. VARIABLES

Las variables laborales que se pretendía estimar fueron las siguientes: número de parados, ocupados y la tasa de paro de las comarcas gallegas. Para este propósito se utilizó como fuente de información los microdatos de la Encuesta de población activa (EPA) proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística (INE) desde el primer trimestre del 2006 hasta el cuarto trimestre del 2008.

Asimismo, para las variables auxiliares que entraron a formar parte de los modelos empleado, se utilizaron los datos de parados registrados proporcionados por el Servicio Público de empleo y los datos de población procedentes del Padrón Municipal de Habitantes (INE).

Concretamente, las variables empleadas fueron las siguientes:

- Combinación de grupos de sexo y edad, con 6 valores (Sexoedad), donde la variable edad se categoriza en 3 grupos: 16-24, 25-49 y 50 y más; y la variable sexo en 2.
- Situación registral de parado (*Parado_registrado*), donde la variable sexoedad se cruza con la variable que indica si un individuo está registrado o no como parado en el registro administrativo de solicitantes de empleo del Servicio Público de Empleo

En esta comunicación se ha utilizado con la variable auxiliar *Sexoedad* para el caso de los ocupados y la variable *Parado_registrado* para los parados.

3. METODOLOGÍA

El trabajo realizado se basó en la metodología estadística de estimación en áreas pequeñas para proponer estimaciones de variables laborales a nivel local. Sobre este particular, es necesario señalar que en la literatura (Rao, 2003) existen diferentes estimadores de áreas pequeñas que podemos clasificar atendiendo a diferentes enfoques. Si se utiliza la procedencia de la información utilizada podemos clasificar los estimadores en: estimadores directos, estimadores indirectos y estimadores basados en el modelo. Estos estimadores se clasifican en dos grandes tipos, (dependiendo de la disponibilidad de información auxiliar): Modelo tipo área y modelo tipo individuo.

Los métodos tradicionales de estimación indirecta están basados en modelos implícitos que proporcionan un enlace para las áreas relacionadas a través de la información suplementaria. La estimación utilizada en este trabajo utiliza un modelo explícito capaz de capturar y utilizar información que de otra manera quedaría diluida. Un modelo explícito es útil en la estimación en áreas pequeñas porque da a los usuarios una idea del proceso de generación de los datos y de cómo las diferentes fuentes de información son incorporadas. En particular, se introducirán los modelos lineales mixtos que tienen en cuenta los efectos aleatorios que explican la variabilidad entre áreas que no ha podido explicarse con las variables auxiliares (Jiang y Lahiri, 2006). Además los parámetros de las áreas pequeñas, como la media o los totales, pueden expresarse como combinación lineal de estos efectos.

Asimismo, al ser la EPA una encuesta trimestral, la disponibilidad de series de tiempo permite un incremento significativo de la muestra total del dominio en estudio. Esto debería llevar a una mejora en el poder predictivo de los estimadores, asumiendo, que la muestra de periodos pasados tiene propiedades similares al año en el que estamos haciendo la estimación. La existencia de autocorrelación temporal en los datos y la incorporación de esta información en la estructura de los modelos debería producir un incremento en el poder predictivo, tal y como se muestra en otros trabajos previos (Saei y Chambers, 2003).

En este caso se empleará un estimador basado en un modelo de tipo área, pues la información auxiliar (paro registrado o población), sólo está disponible a nivel de municipios. La expresión del modelo utilizado es

$$y_{dt} = X_{dt}\beta + u_{dt} + e_{dt} \quad (3.1)$$

$$d = 1, \dots, D$$

$$t = 1, \dots, T$$

donde y_{dt} denota el estimador directo de la variable objetivo, en este caso el número de ocupados y de parados; X_{dt} representa la matriz de valores poblacionales de las variables auxiliares empleadas en el estudio; d denota las áreas, en este caso comarcas; t denota el tiempo, u_{dt} es el efecto aleatorio de área que sigue un proceso independiente $AR(1)$ para cada $d=1, \dots, D$ y e_{dt} es el término aleatorio de los errores. Los vectores aleatorios u_{dt} y e_{dt} se asumen que son realizaciones independientes de una normal multivariante de media 0 y matriz de

varianzas covarianzas $\sigma_u^2 \Omega_1$ y $\sigma^2 W$, respectivamente (Saei y Chambers (2003)). El objetivo es la estimación/predicción de una combinación lineal de la variable objetivo y , $\theta = ay$. W es una matriz diagonal cuyos elementos son función de ndt , el tamaño muestral de un área d para el tiempo t .

$$W = \begin{bmatrix} n_{11}^{-1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & n_{12}^{-1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & . & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & . & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & n_{dT}^{-1} \end{bmatrix}$$

La matriz Ω_1 es:

$$\Omega_1 = \left(\frac{1}{1-\rho^2} \right) I_D \begin{bmatrix} 1 & \rho & . & . & \rho^{T-1} \\ \rho & 1 & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & \rho \\ \rho^{T-1} & . & . & \rho & 1 \end{bmatrix}$$

Donde ρ es el parámetro de correlación.

El modelo 3.1 se puede escribir en forma de matriz: $Y = X\beta + Zu + e$ (3.2)

La matriz de varianzas covarianzas de Y es $\sigma^2 (\Omega + ZWZ^t) = \sigma^2 \Sigma$ donde $\Omega = \varphi \Omega_1$, $\varphi = \frac{\sigma_u^2}{\sigma^2}$

La matriz a se puede particionar en $a = [a_s, a_r]$. El parámetro de interés que queremos estimar se puede escribir en:

$$\theta = a_s y_s + a_r y_r \quad (3.3)$$

El primer término de 3.3 depende solo de los valores muestrales que son conocidos después de ser observados. El segundo término es desconocido ya que depende de los valores no muestrales. Por lo tanto el valor predicho de θ se obtiene, entonces, reemplazando y_r por su valor predicho.

Sea la $E(y_r|u) = X_r \beta + Z_r u$. El predictor de y_r es entonces $\hat{\eta}_r = X_r \hat{\beta} + Z_r \hat{u}$ donde las estimaciones de $\hat{\beta}$ y \hat{u} se obtienen ajustando el modelo lineal mixto correspondiente para los valores muestrales:

$$Y_s = X_s \beta + Z_s u_s + e_s \quad (3.4)$$

con la covarianza de y_s dada por $\sigma^2 \Sigma_s$

De aquí se obtiene el valor predicho:

$$\hat{\theta} = a_s y_s + a_r \hat{y}_r = a_s y_s + a_r \hat{\eta}_r = a_s y_s + a_r (X_r \hat{\beta} + Z_r \hat{u}) \quad (3.5)$$

El modelo propuesto en 3.1 caracteriza la variación entre áreas y la variación a lo largo del tiempo en los valores de y . El propósito es predecir cualquier combinación lineal de y , θ , empleando los valores muestrales y_s . Si las componentes de la varianza en el modelo 3.4 son conocidas, el método BLUP (Best Linear Unbiased Predictor) nos ofrece un predictor de θ que es una función lineal insesgada de los valores muestrales y_s y tiene la varianza mínima entre los predictores lineales insesgados de θ . El método requiere que la covarianza entre la variable aleatoria observada y_s y la variable aleatoria no observable u sea conocida. Bajo el modelo 3.4 la covarianza entre y_s e u es $\sigma^2 Z_s^t \Omega$.

En este caso, siguiendo a Henderson (1963), el BLUP de η_r es :

$$\tilde{\eta}_r = X_r \hat{\beta} + Z_r \hat{u}$$

donde

$$\hat{\beta} = (X_s^t \Sigma_s^{-1} X_s)^{-1} X_s^t \Sigma_s^{-1} y_s$$

$$\hat{u} = \Omega Z_s^t \Sigma_s^{-1} (y_s - X_s \hat{\beta})$$

En los desarrollos anteriores se asume que las componentes de la varianza son conocidas lo que habitualmente no es cierto en la práctica. Es necesario, entonces, estimar los parámetros de la covarianza a través de los datos muestrales. Tendremos entonces el predictor lineal insesgado empírico o más conocido con sus siglas en inglés por estimador EBLUP.

Los dos métodos que habitualmente se utilizan para estimar las componentes de la varianza son el método de máxima verosimilitud (ML) y el de máxima verosimilitud restringida (REML). Kackar y Harville (1981) demostraron que la estimación de la varianza por los métodos ML y REML son una traslación invariante. En este trabajo se utiliza el método ML para la estimación de los componentes de la varianza.

3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos proporcionan estimaciones de las tasas de paro para las comarcas gallegas. De este modo se dispone de información para la comarca como nivel territorial superior al municipio lo cual permite superar algunas de las limitaciones inherentes al ayuntamiento¹ entre las que destaca la gran heterogeneidad que existe a la hora de realizar análisis económicos y sociales entre municipios.

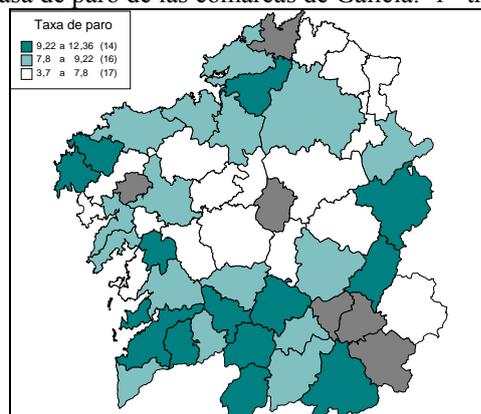
El periodo temporal de referencia se extiende durante el trienio 2006-2008, a lo largo del cual, como es habitual en los estudios en materia laboral, se exponen los resultados trimestrales. Esto permite disponer de un total de 12 estimaciones para cada comarca lo que facilita un seguimiento de su evolución temporal. Así mismo, este análisis longitudinal permite complementar el inevitable estudio comparativo en términos comarcales que identifica, para cada uno de los periodos, las comarcas con mayores y con menores niveles de paro.

Por lo que se refiere a los niveles de parados para cada una de las comarcas, los resultados muestran, salvo determinadas excepciones, un notable crecimiento a lo largo del periodo. En concreto, destacan las comarcas de Baixo Miño, Muros, y O Salnés con tasas de variación del número de parados superiores al 25% en el período considerado.

Con independencia de la variación experimentada resulta también de interés realizar una comparación entre las distintas comarcas. En este caso se observa una cierta estabilidad en lo que se refiere a las comarcas con más y menos paro. Este hecho resulta especialmente significativo para el caso de las zonas donde el paro presenta niveles más bajos puesto que para todos los trimestres la relación de estas comarcas se mantiene relativamente estable. Así, destacan comarcas como Meira, Deza, Mariña Central, Mariña Oriental, Chantada y Valdeorras que son siempre emplazadas en los lugares más bajos de la clasificación. Algo semejante ocurre para las comarcas con mayores niveles de paro, si bien aquí la relación se reduce, pudiendo sólo citar los casos de Verín, Terra de Soneira, Vigo, Baixa Limia y Caldas.

Los mapas recogidos a continuación² reflejan la situación de las comarcas a comienzo y a final del trienio, esto es, en el primer trimestre del año 2006 (Mapa 1) y en el cuarto trimestre de 2008 (Mapa 2). En términos generales se puede comprobar como, frente a la concentración de comarcas con mayores tasas de paro en el sur de la Comunidad a comienzos del periodo, éstas se desplazan a la franja occidental tres años después. Por su parte las comarcas con menores tasas se concentran principalmente en la zona central, sobre todo en el primer caso.

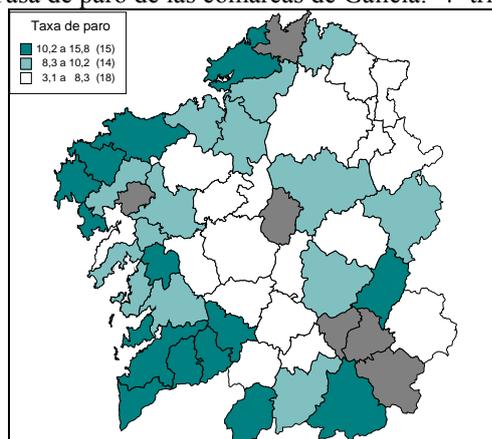
Mapa 1: Tasa de paro de las comarcas de Galicia. 1^{er} trimestre 2006.



¹ Tal y como se pone de manifiesto por los autores consecuencia de trabajos previos tales como el recogido en Iglesias et al. (2000).

² Para las seis comarcas que aparecen en gris no se ha hecho estimación, debido al tamaño nulo de muestra para alguno de los trimestres considerados en el estudio

Mapa 2: Tasa de paro de las comarcas de Galicia. 4º trimestre 2008.



Con respecto a las comarcas con más paro, también fácilmente se observa la evolución positiva en términos relativos de algunas comarcas puesto que en los primeros trimestres se encontraban dentro del grupo de comarcas con paro más alto para descender considerablemente esta posición. El caso más significativo es el de Terra de Celanova que en el primer trimestre se encontraba en las primeras posiciones para, en dos años, cambiar drásticamente esta situación. En sentido contrario, esto es, aquellas comarcas que han evolucionado negativamente cabe citar a la de Ferrol. Igualmente se dan situaciones particulares a lo largo de trienio estudiado, como es el caso de Quiroga que, de tener la tasa de paro más elevada de Galicia pasó a tener niveles medio-bajos en trimestres centrales para finalizar el año 2008 de nuevo en niveles muy elevados.

No obstante, la evolución a lo largo del trienio puede ocultar situaciones particulares para cada uno de los años. Así, con probabilidad el caso más destacado sea el ya señalado de la comarca de Quiroga que desde el cuarto trimestre del 2006 al cuarto trimestre del 2008 experimentó un aumento en su tasa de paro de 5,4 puntos. Ello se contrapone con la disminución mostrada desde el primer trimestre del 2006 al primer trimestre del 2007, que también fue la más notable de todas las comarcas al alcanzar 5 puntos porcentuales.

La evolución anual de la tasa de paro permite comprobar la gran diferencia entre los distintos años puesto que, mientras en el año 2007 hay 16 comarcas que experimentan reducciones en su tasa de paro anual (la disminución máxima es de 1,2 puntos), la situación se vuelve muy distinta en 2008. De hecho, se da la circunstancia de que únicamente 8 disminuyen en su nivel, con una disminución máxima de 7 décimas.

Si se hace un ejercicio de comparación con las tasas provinciales y gallegas nos permite deducir cuales son aquellas comarcas que en términos medios se encuentran en una situación mejor que la gallega o provincial y viceversa. Así, si se analizan los datos del 4º trimestre del 2008 se observa que la provincia de Pontevedra cuenta con la tasa de paro más elevada de todas las provincias gallegas (12%), pero sin embargo cuenta con comarcas como Deza, O Salnés y Taboira-Terra de Montes que tienen tasas de paro inferiores al 10%.

Tabla 1: Tasa de paro para Galicia y las provincias en el 4º trimestre del 2008

	Tasa de paro
A Coruña	9,4
Lugo	6,6
Ourense	6,6
Pontevedra	12,0
Galicia	9,7

Si se observan los datos de las tasas de paro para el 4º trimestre del 2008 para las comarcas que contienen a las 7 grandes ciudades gallegas nos permite concluir que todas ellas, excepto Ourense y Lugo, tienen unas tasas de paro similares o superiores a la gallega tal y como se puede observar en la siguiente tabla, lo que da una idea de la mayor actividad económica de las grandes comarcas de las provincias de A Coruña y Pontevedra, volviendo a aparecer, como en otros estudios la dicotomía entre la Galicia costera y la Galicia interior

Tabla 2: Tasa de paro para Galicia y 7 grandes comarcas gallegas en el 4º trimestre del 2008

	Tasa de paro
A Coruña	9,1
Ferrol	12,3
Santiago	9,7
Lugo	8,3
Ourense	7,2
Pontevedra	10,2
Vigo	12,7
Galicia	9,7

4. CONCLUSIONES

La metodología empleada permite establecer diferencias que van más allá de las discrepancias provinciales establecidas con los resultados oficiales de la encuesta. Así, por ejemplo, Pontevedra es la provincia con la tasa de paro más alta de Galicia para el 4º trimestre del 2008. Sin embargo, en su seno tiene comarcas que cuentan con tasas de paro bajas, como es el caso de la comarca del Deza, o la comarca de Tabairós-Terra de Montes. En las otras provincias se presentan casos similares que nos llevan a establecer la dicotomía entre la Galicia interior más agrícola y la Galicia costera, dicotomía presente, también, en otros estudios - Iglesias y otros (2000).

Así, podemos concluir que en la mayor parte de las comarcas con menor tasa de paro hay una fuerte presencia de población ocupada en la agricultura. Las comarcas con menor tasa de paro (Meira, Deza, Sarria, Terra Chá, A Fonsagrada, Chantada...), todas ellas comarcas del interior, cuentan con una población ocupada en la agricultura superior al 22% según datos del Censo de Población y Viviendas del año 2001. La excepción a este hecho (como en otros estudios – Iglesias y otros (2000)- lo configuran las comarcas del norte lucense (La Mariña), pues cuentan con tasas de paro bajas, son comarcas costeras y, sin embargo, todas ellas tienen un porcentaje inferior al 20% en población ocupada en la agricultura.

Debe destacarse, también, con respecto al modelo empleado en este estudio, que los modelos a nivel de unidad no siempre se pueden aplicar porque las variables auxiliares a este nivel pueden no estar disponibles, como es el caso que nos ocupa. El modelo a nivel de área empleado en este trabajo sólo necesita valores agregados de las variables auxiliares (paro registrado y población) y por tanto es más aplicable en la práctica. De todos modos, hay que ser conscientes que la capacidad predictiva del modelo dependerá de la buena elección de las variables auxiliares, por tanto este paso se configura como uno de los elementos esenciales a la hora de configurar un buen modelo predictivo.

REFERENCIAS

- Ghosh, M., Rao, J.N.K. (1994). Small Area Estimation: An Appraisal. *Statistical Science*, vol 9, nº 1, 55-93
- Henderson (1963). "Selection index and expected genetic advance" in *Statistical Genetics and Plant Breeding* (W. D. Hanson and H. T. Robinson, eds.), 141-163. National Academy of Sciences and National Research Council Publication nº 982, Washington, D.C.
- Iglesias Patiño, C.L.; López Vizcaino, M.E., Sánchez Fernández, P. (2000). "Dimensionalidade da capacidade económica das comarcas galegas" en *Revista Galega de Economía*. Diciembre 2000. Vol. 9. Nº 2, pp. 67-90.
- Jiang, J., Lahiri, P. (2006). "Mixed model prediction and small area estimation" en *TEST*, Sociedad de Estadística e Investigación Operativa. Vol. 15, Nº 1, pp.1-96.
- López, R (2000). "Estimaciones para áreas pequeñas" en *Estadística española*. Vol 42, núm. 146, pp. 291-338.
- Rao, J.N.K. (2003). *Small Area Estimation*. Wiley Series in Survey Methodology.
- Saei, A., Chambers, R., (2003). *Small area estimation under linear and generalized linear mixed models with time and area effects*. S3RI Methodology Working Paper M03/15. Southampton Statistical Sciences Research Institute, University of Southampton.
- Vaamonde, A., Luaces, R. (2005). "Estimación en áreas pequeñas. Aplicación a la estimación de la tasa de paro en las provincias españolas" en *Revista de Investigación Operacional*, Vol. 26, No. 2, 2005.

LA CRISIS DE EMPLEO EN VIGO. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Ricardo Luaces Pazos¹, Antonio Vaamonde Liste¹, Patricio Sánchez Bello¹ y Patricio Sánchez Fernández²

1 Depto Estadística e I.O. Universidad de Vigo

2 Depto Economía Financiera y Contabilidad, Universidad de Vigo

RESUMEN

Aunque la actual crisis económica es general, y tiene múltiples efectos sobre los diferentes aspectos económico-sociales, existe un consenso razonable en que –al menos en lo que se refiere a España- el incremento del paro es su manifestación más preocupante. En esta comunicación se presentan algunos resultados del estudio, para la zona de influencia de Vigo, de la evolución reciente del paro y el empleo, valorando la influencia directa de la crisis, los anuncios –brotes verdes- de recuperación que ya empiezan a apreciarse, y otros aspectos de interés. Se aplican técnicas estadísticas básicas de análisis de series temporales.

keywords: unemployment, economic crisis, time series analysis

1. INTRODUCCIÓN

Se estudia el empleo y el paro en la zona de influencia de Vigo, con el objetivo de analizar la evolución reciente de las magnitudes macroeconómicas relacionadas con el problema del desempleo. Se utiliza el paro registrado como principal medida del desempleo en lugar del paro obtenido mediante la Encuesta de Población Activa (EPA), a pesar de que este último indicador es el generalmente aceptado como válido en el contexto de la Unión Europea, fundamentalmente por dos razones: su disponibilidad inmediata (una o dos semanas después de finalizar el mes frente a aproximadamente tres meses en el caso de la EPA), y su periodicidad mensual (en lugar de trimestral), que permite un análisis temporal más detallado. Se ha comprobado la alta correlación entre paro registrado y paro EPA, lo que justifica la similitud y equivalencia práctica de ambas medidas en la zona estudiada para medir la evolución del desempleo.

2. PARO REGISTRADO

En la gráfica siguiente se muestra la evolución del paro registrado en Vigo durante los últimos cinco años. La clara estacionalidad de la serie es la primera característica de interés, con valores sistemáticamente más altos de la cifra de parados en invierno (enero-febrero) y más bajos en verano (junio, julio). Más allá de la estacionalidad se puede observar también una tendencia decreciente que se rompe bruscamente a partir de los primeros meses de 2008 para iniciar una escalada sin precedentes en la historia reciente, con un aumento de aproximadamente 7000 parados, más del 30% en términos relativos, en un solo año.

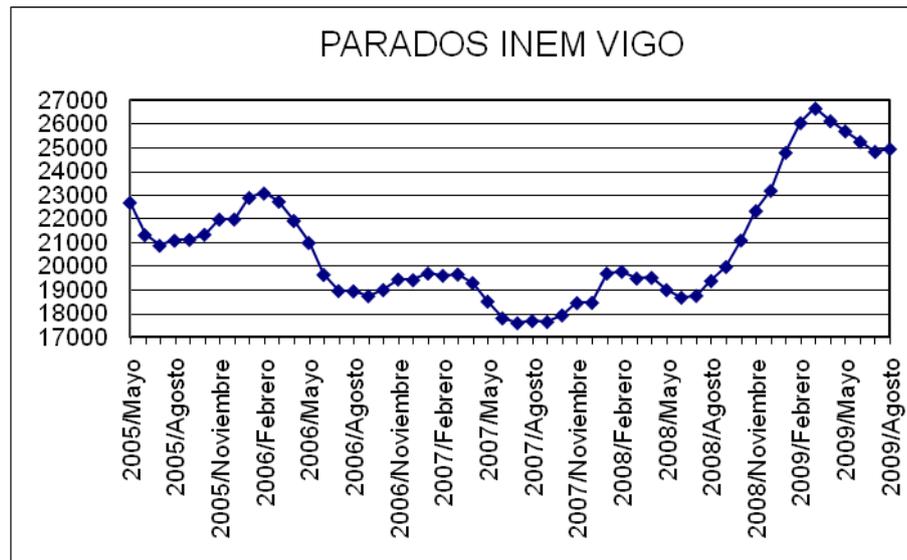


Figura 1: Paro Registrado en Vigo

Para eliminar la estacionalidad, que impide ver con claridad el efecto neto de la crisis, se ha optado por el método de la variación interanual, que compara cada período con el mismo mes del año anterior. La serie resultante se muestra en el gráfico siguiente (figura 2), en el que se puede observar como los incrementos interanuales evolucionan de modo razonablemente estable o predecible: las series de paro suelen tener una considerable inercia temporal.

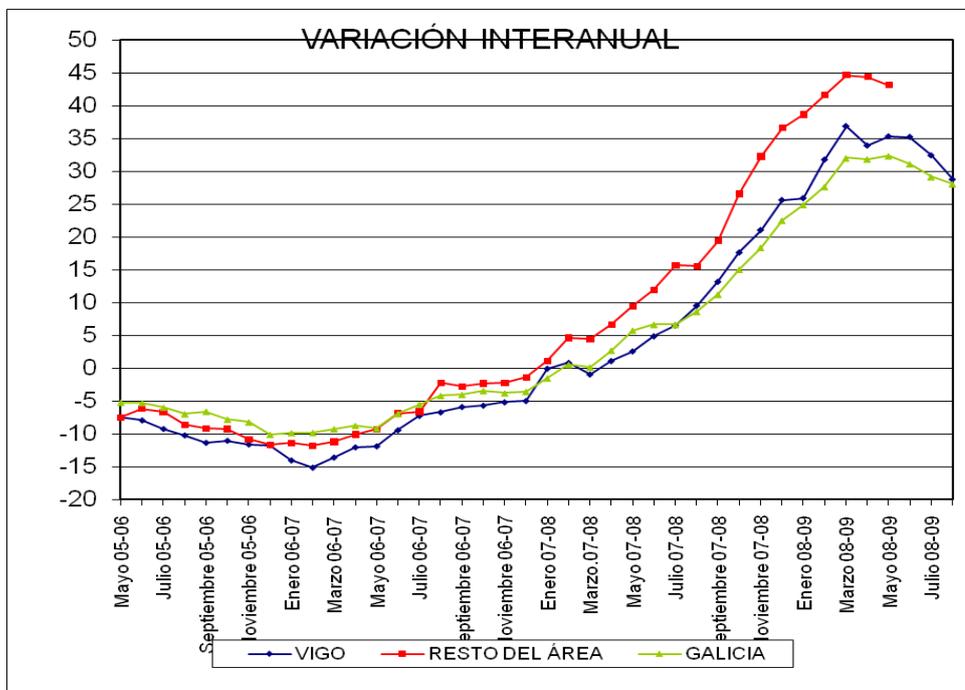


Figura 2: Variación interanual del Paro Registrado

En el tramo inicial, entre 2005 y 2008, los incrementos interanuales son negativos, lo que corresponde a una tendencia decreciente del paro. Sin embargo ya se observa desde principios de 2007 un ritmo de reducción del número de trabajadores en paro que se aproxima paulatinamente a cero. Se trata del anuncio de la crisis que vendrá después. Desde los primeros meses de 2008 la tasa interanual empieza a ser positiva, el paro está creciendo, y sube gradualmente hasta el 35% (45% de incremento interanual en el resto del área de influencia de Vigo, línea roja). A partir de este momento empieza a decrecer de forma clara.

La disminución sostenida de la tasa de incremento interanual permite aventurar que seguirá siendo así durante algún tiempo. El paro sigue creciendo en Vigo, pero lo hace a una tasa cada vez menor, anunciando de este modo un principio de recuperación. La duración de esta recuperación parece larga, a la luz del pequeño ritmo de decrecimiento de la tasa interanual. Quizás se prolongue durante uno o dos años hasta alcanzar de nuevo tasas negativas, es decir hasta que el paro empiece a disminuir.

3. EVOLUCIÓN DE LA OCUPACIÓN

Es necesario analizar, junto con el empleo, la ocupación; para ello hemos estudiado la evolución del empleo a través de las altas en la Seguridad Social en la zona de influencia de Vigo. Se trata de datos con periodicidad mensual, disponibles pocos días después de finalizar cada mes, y –dada la obligatoriedad del registro de contratos de trabajo en la Seguridad Social- de gran fiabilidad para la medida de la ocupación, con los inconvenientes de excluir a los funcionarios y duplicar/multiplicar a los trabajadores que tienen más de un empleo. A pesar de estas limitaciones, es una fuente de gran utilidad para medir la evolución de la ocupación, muy sensible a los cambios a corto plazo a diferencia de la Encuesta de Población Activa (EPA), instrumento por excelencia para la medida de la ocupación y el paro.

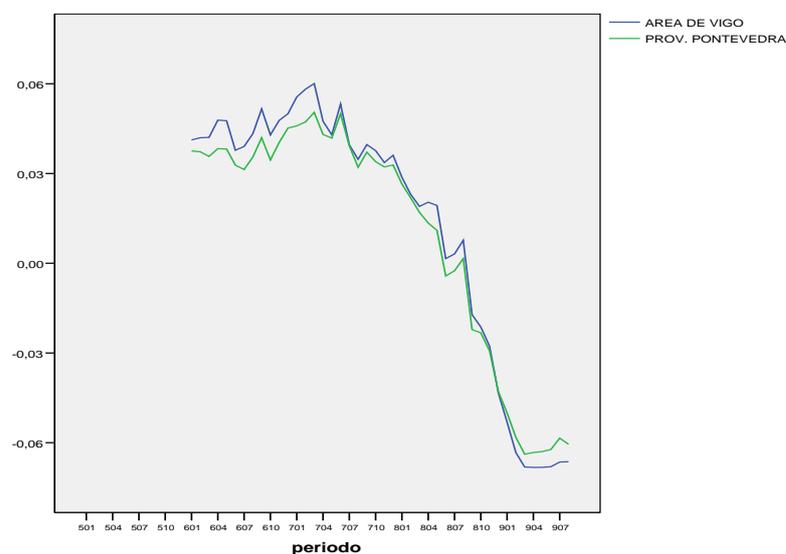


Figura 3: Variación interanual de las altas en la Seguridad Social

En la figura 3 se muestra la evolución de la tasa interanual de variación de las altas en la Seguridad Social en el área de influencia de Vigo, comparada en esta ocasión con el total de la provincia de Pontevedra desde el año 2005 hasta agosto de 2009. Como se puede comprobar, las tasas se situaban hasta el año 2007 entre el 3% y el 6%, indicando un crecimiento muy positivo del empleo, sostenido en el tiempo. A

partir de mediados de 2007, anticipando la crisis que llegó un año más tarde, se produce una disminución clara de las tasas de crecimiento interanual, que se convierten en negativas –la ocupación crecía hasta entonces- a partir del primer trimestre de 2008. Durante un año la caída de las tasas es muy acentuada, alcanzando valores próximos al 6% de disminución anual de la ocupación en abril de 2009. Durante los últimos seis meses se frena la caída, estabilizándose las tasas interanuales en valores próximos a este 6%, con indicios de reducción. Esta evolución se corresponde puntualmente con la mostrada por el paro registrado. Parecen existir por lo tanto algunas muestras de recuperación, aunque las tasas negativas en la evolución interanual de la ocupación auguran pérdidas de empleo durante un período probablemente superior a un año.

4. CONCLUSIONES

El análisis del paro en Vigo permite apreciar razonablemente el efecto de la crisis económica sobre la ocupación y el empleo y seguir su evolución; la metodología estadística utilizada, de fácil aplicación, permite observar estos efectos y anticipar la recuperación económica en municipios o comarcas, siendo de este modo un instrumento eficaz para el diseño de actuaciones correctoras a nivel local.

P3STATE.MSM: SOFTWARE FOR THE ANALYSIS OF MULTI-STATE SURVIVAL DATA

Luís Meira-Machado¹ and Javier Roca-Pardiñas²

¹ University of Minho, Portugal

² University of Vigo, Spain

ABSTRACT

In longitudinal studies of disease, patients can experience several events across a follow-up period. Analysis of such studies can be successfully performed by multi-state models. In the multi-state framework, issues of interest include the study of the relationship between covariates and disease evolution, estimation of transition probabilities, and survival rates. This paper introduces **p3state.msm**, a software application for R which performs inference in an illness-death model. It describes the capabilities of the program for estimating semi-parametric regression models and for implementing nonparametric estimators for transition probabilities. Moreover, the methods can also be used in progressive three-state models. In such a model, estimators for other quantities, such as the bivariate distribution function (for sequentially ordered events), are also given.

Key words: Kaplan-Meier estimator; Markov process; Multi-state Model; Proportional Hazards Model.

1. INTRODUCTION

In many medical studies, patients may experience several events. Analysis in such studies is often performed using multi-state models (Andersen et al., 1993; Meira-Machado et al., 2009). These models are very useful for describing event-history data, affording a better understanding of the disease process, and leading to a better knowledge of the evolution of the disease over time. Issues of interest include the estimation of transition probabilities, survival rates or assessing the effects of individual risk factors.

Although the mortality model for survival analysis can be considered the simplest multi-state model, the scope of multi-state models provides a rich framework for handling complex situations that involve more than two states and a number of possible transitions among them. The most common models in literature include: the progressive three-state model and the illness-death model, also known as the disability model (Figure 1). These models can be used to study the effect of binary time-dependent covariates, such as the appearance of "recurrence" in a breast cancer study (Cadarsó et al., 2009), "bleeding episodes" in patients with liver cirrhosis (Andersen et al., 2000), or "transplantation" in heart diseases (Meira-Machado et al., 2008).

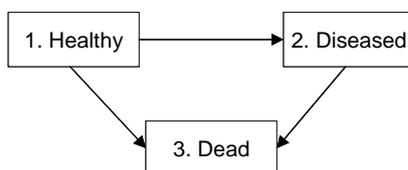


Figure 1: Illness-death model.

Despite its potential, multi-state modeling is not used by practitioners as frequently as other survival analysis techniques. It is our belief that lack of knowledge of available software and non-implementation of the new methodologies in user-friendly software are probably responsible for this neglect. This paper describes the R-based **p3state.msm** package's capabilities for analyzing survival data from an illness-death model. It extends existing semi-parametric regression capabilities included in many statistical software programs, such as R, S-PLUS, SAS, etc. Moreover, **p3state.msm** enables several quantities of interest to be estimated, such as transition probabilities, bivariate distribution function, etc. In addition, the current version of **p3state.msm** can

also be used to draw inferences in the progressive three-state model. This software can be used to fit the time-dependent Cox regression model (TDCM) as well as semi-parametric Cox proportional hazard regression models (Cox, 1972) to all permitted transitions, by decoupling the whole process into various survival models (Cox Markov Model/CMM and Cox semi-Markov Model/CSMM; Andersen, Esbjerg and Sorensen, 2000). Numerical and graphical output for all methods can be easily obtained.

The software **p3state.msm** focuses on the estimation of transition probabilities for the illness-death model (Meira-Machado et al. 2006). Since the progressive three-state model can be viewed as a particular case of the illness-death model (where no transitions are observed on disease-free mortality transition) the software can also be used in this context. For the progressive three-state model, estimators are also derived for the bivariate distribution function and distribution of the second gap time (de Uña-Álvarez and Meira-Machado, 2008). The idea behind the proposed estimators is using the Kaplan-Meier estimator pertaining to the distribution of the total time to weight the data. The estimators for the transition probabilities can be regarded as an alternative to Aalen-Johansen estimators (Aalen and Johansen, 1978) since they do not rely on the Markov assumption.

One important goal in multi-state modeling is to study the relationships between the different predictors and the outcome. To relate the individual characteristics to the intensity rates through a possibly time-dependent covariate vector, Z , several models have been used in literature. A common simplifying strategy is to decouple the whole process into various survival models, by fitting separate intensities to all permitted transitions using semi-parametric Cox proportional hazard regression models, while making appropriate adjustments to the risk set. These Cox-like models (Markovian and semi-Markovian) can be fitted by means of most of the statistical packages (R, S-plus, SAS, etc.), provided that a counting process notation is used, with each patient being represented by several observations (Meira-Machado et al. 2009). The inference in such models can also be performed using our software.

2. PACKAGE DESCRIPTION

Users can fit the proposed models and methods discussed in the previous section by means of the three functions, namely, `p3state`, `summary.p3state` and `plot.p3state`. Records in the data input file must contain the following variables: `times1`, `delta`, `times2`, `time`, `status`, `covariate1`, `covariate2`, and so on. The structure of the data input is as follows: each individual is represented by one line of data. The variable `times1` represents the observed time in state 1, and `delta` the indicator of transition to state 2 (taking a value of 1 if a transition to state 2 is observed, and a value of 0 otherwise). The variable `times2` represents the observed time in state 2. If no transition into state 2 (`delta=0`) is observed then `time2=0`. The variable `time` is just the observed total time (`times1+times2`) whereas `status` is the final status of the individual (1 if the event of interest, representing state 3, is observed and 0 otherwise). The following variables are the covariates to be studied in the regression models. Note that possible courses for the individual include: **1 → 1** (the individual remains in state 1 until the end of the study; if `delta=0` and `status=0`); **1 → 3** (a direct transition from state 1 into state 3 is observed; if `delta=0` and `status=1`); **1 → 2 → 2** (if `delta=1` and `status=0`); and **1 → 2 → 3** (if `delta=1` and `status=1`).

The object obtained when using the `p3state` function is the only argument required for `summary.p3state` (though, the arguments, "regression", "time1" and "time2" are also required if the results from the regression model and the estimates for the other nonparametric methods are sought). This function prints several numerical results on the screen, i.e., parameter estimates with standard errors for the covariates for TDCM, CMM and CSMM models, transition probabilities estimates, and estimates for the bivariate distribution function and the marginal distribution of the second time (only in the case of the progressive three-state model).

The `plot.p3state` function provides the following graphical output: transition probabilities estimates; bivariate distribution function; and marginal distribution of the second time.

The data set included in **p3state.msm** package is the well-known Stanford Heart Transplant data in a different format. The application to this data set is illustrated in the next section.

3. EXAMPLE OF APPLICATION

Two central questions that arise in multi-state survival data are: what is the relationship between the different covariates and disease evolution; what is the rate (hazard) at which persons in state h move to state j . Both questions can be answered using our software. This will be shown below.

The **p3state.msm** software enables several semi-parametric Cox models to be fitted. The time-dependent Cox model or multi-state Cox-like models (CMM and CSMM) can be constructed with the following input command:

```
R> obj1.p3state<-p3state(heart2,formula=~age+year+surgery)
```

Results are printed on the screen as follows: for the Time-dependent Cox Model (where treat denotes the time-dependent covariate), by using

```
R> summary(obj1.p3state,model="TDCM");
```

or, for multi-state Cox-like models (CMM and CSMM), by simply changing the argument, model, to "CMM" or "CSMM", e.g.,

```
R> summary(obj1.p3state,model="CMM")
```

For illustration purposes we present below the output for the CMM:

```
***** COX MARKOV MODEL *****
***** FROM STATE 1 TO STATE 3 *****
```

n = 103

	coef	exp(coef)	se(coef)	z	Pr(> z)
age	0.0198	1.0200	0.0181	1.0944	0.274
year	-0.2833	0.7533	0.1110	-2.5532	0.011
surgery	-0.2288	0.7955	0.6361	-0.3596	0.719

	exp(coef)	exp(-coef)	lower.95	upper.95
age	1.0200	0.9804	0.9845	1.0568
year	0.7533	1.3275	0.6060	0.9363
surgery	0.7955	1.2570	0.2287	2.7675

Likelihood ratio test= 8.623363 on 3 df, p= 0.03474115

-2*Log-likelihood: 214.9848

```
***** FROM STATE 1 TO STATE 2 *****
```

n = 103

	coef	exp(coef)	se(coef)	z	Pr(> z)
age	0.0311	1.0316	0.0140	2.2255	0.026
year	0.0008	1.0008	0.0695	0.0108	0.991
surgery	0.0473	1.0485	0.3152	0.1502	0.881

	exp(coef)	exp(-coef)	lower.95	upper.95
age	1.0316	0.9694	1.0037	1.0603
year	1.0008	0.9992	0.8733	1.1468
surgery	1.0485	0.9538	0.5652	1.9449

Likelihood ratio test= 5.768582 on 3 df, p= 0.1234284

-2*Log-likelihood: 509.5638

```
***** FROM STATE 2 TO STATE 3 *****
```

n = 69

	coef	exp(coef)	se(coef)	z	Pr(> z)
age	0.0496	1.0508	0.0214	2.3185	0.020
year	-0.0230	0.9772	0.0969	-0.2376	0.812
surgery	-0.8165	0.4420	0.4549	-1.7948	0.073

	exp(coef)	exp(-coef)	lower.95	upper.95
age	1.0508	0.9516	1.0077	1.0958
year	0.9772	1.0233	0.8081	1.1817
surgery	0.4420	2.2625	0.1812	1.0780

Likelihood ratio test= 11.30435 on 3 df, p= 0.01018901

-2*Log-likelihood: 290.1922

Checking the Markov assumption:

Testing if time spent in state 1 (start) is important on transition from state 2 to state 3

	coef	exp(coef)	se(coef)	z	p
start	-0.00939	0.99065	0.00534	-1.7587	0.079

Warning: the p-value is 0.079

The patients' course over time may also be studied through transition probabilities. To obtain these estimates, the following input command must be typed:

```
R> summary(obj1.p3state, time1=20, time2=200)
```

The corresponding numerical output is the following:

Illness-death model

Number of individuals experiencing the intermediate event: 69
 Number of events for direct transition from state 1 to state 3: 30
 Number of individuals remaining in state 1: 4
 Number of events on transition from state 2: 45
 Number of censored observations on transition from state 2: 24

The estimate of the transition probability $P11(20, 200)$ is 0.1040599

The estimate of the transition probability $P12(20, 200)$ is 0.2821365

The estimate of the transition probability $P22(20, 200)$ is 0.3540728

The estimate of the transition probability $P23(20, 200)$ is 0.6459272

The package also provides plots for several functions. The transition probabilities (see Figure 2) can be obtained with:

```
R> plot.p3state(obj1.p3state, plot.trans="all", time1=20)
```

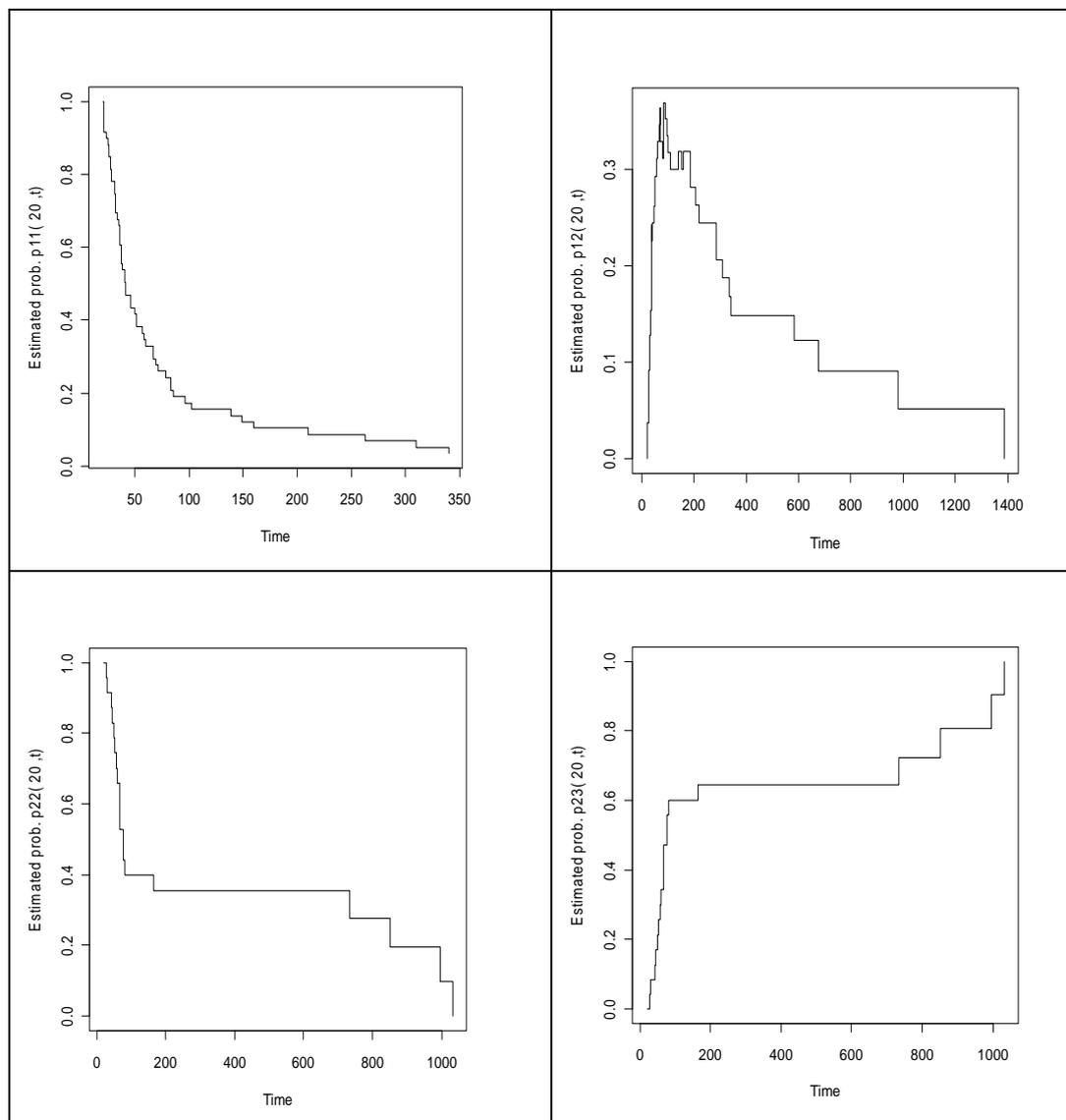


Figure 2: Transition probability estimates with first time equal to 20 days.

For the purposes of illustration, the original data set was restricted to those subjects who underwent the transplant. The aim of this subset is to illustrate the program in a progressive three-state model. Within the scope of the progressive three-state model, it is possible for the same regression models and estimates for the transition probabilities shown above to be obtained.

The outputs for the bivariate distribution function and for the marginal distribution of the second gap time (time since transplantation) are useful displays that greatly understand the patients' course over time. Estimates and plots for these quantities can easily be obtained. The following three input commands provide the corresponding numerical and graphical output (Figures and results not shown):

```
R> obj2.p3state<-p3state(newdata)
R> summary(obj2.p3state,time1=50,time2=300)
R> plot.p3state(obj2.p3state,time1=50,plot.marginal=TRUE,plot.bivariate=TRUE)
```

4. CONCLUSION

This paper discusses implementation in R of some newly developed methods in multi-state models. The **p3state.msm** package uses methods proposed by Meira-Machado et al. 2006 (transition probabilities) and de Uña-Álvarez and Meira-Machado 2008 (bivariate distribution function for the censored gap times in the progressive three-state model). The main novelty of these estimators is that they do not rely on the Markov assumption, typically assumed to hold in a multi-state model. The software also enables the user to easily obtain estimates of regression parameters, assuming that each transition may be specified by a Cox-type model.

REFERENCES

- Aalen O, Johansen S (1978). An empirical transition matrix for nonhomogeneous Markov chains based on censored observations. *Scandinavian Journal of Statistics*, **5**, 141-150.
- Andersen PK, Borgan O, Gill RD, Keiding N (1993). *Statistical Models Based on Counting Processes*. Springer, New York.
- Andersen PK, Esbjerg S, Sorensen TI (2000) Multi-state models for bleeding episodes and mortality in liver cirrhosis. *Statistics in Medicine*, **19**, 587-599.
- Cadarso-Suárez C, Meira-Machado L, Kneib T, Gude F. Flexible hazard ratio curves for continuous predictors in multi-state models: a P-spline approach. *Statistical Modelling (in press)*.
- Cox DR (1972) Regression models and life tables (with discussion). *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, **34**, 187-220.
- de Uña-Álvarez J, Meira-Machado LF (2008) A simple estimator of the bivariate distribution function for censored gap times. *Statistics & Probability Letters*, **78**, 2440-2445.
- Meira-Machado L, de Uña-Álvarez J, Cadarso-Suárez C (2006) Nonparametric estimation of transition probabilities in a non-Markov illness-death model. *Lifetime Data Analysis*, **12**, 325-344.
- Meira-Machado L, Cadarso-Suárez C, de Uña-Álvarez J, Andersen PK (2009) Multi-state models for the analysis of time to event data. *Statistical Methods in Medical Research*, **18**, 195-222.

Estudo de inserción laboral dos titulados no SUG. O acceso ao emprego.

S. Naya¹, M.J. Lombardía¹, B. Fernández de Castro², V. Carreira², J.M. Matías³, P. Faraldo⁴ e R. Crujeiras⁴.

¹Dpto. Matemáticas. Universidade da Coruña.

²Caixa Galicia. ³Dpto. Estatística e Investigación Operativa. Univ. Vigo

⁴Dpto. Estatística e Investigación Operativa. Univ. Santiago de Compostela.

RESUMEN

O obxectivo deste estudo é comprobar o grao de inserción laboral dos titulados polo Sistema Universitario de Galicia (SUG) nos últimos anos: coñecer a opinión dos titulados sobre a súa situación laboral, a realidade da mesma en termos de salario, tipo de contrato ou competencias requiridas e os posibles atrancos cos que se atoparon no proceso de inserción no mercado de traballo. Estes factores estúdanse para o global dos titulados no SUG, e desagreganse por ramas de coñecemento. A finalidade é obter unha visión retrospectiva sobre a Universidade, dende o punto de vista dos titulados. Esta información pode resultar de crucial importancia para que a institución universitaria deseñe as súas estratexias, tanto académicas, no momento de deseño dos novos plans de estudos no marco do EEES, como de xestión de recursos e servizos para o alumnado. Neste traballo expóñense os apartados do traballo relacionados coa busca de emprego.

Palabras clave: Inserción Laboral, titulados universitarios, mercado de traballo.

1. INTRODUCCIÓN

A construción dun Sistema Educativo Superior adecuado aos cambios do século XXI, suscitou a finais dos noventa e nestes principios do novo século numerosos foros, estudos e documentos de traballo onde se plasma a reflexión de expertos e diversos axentes sociais sobre a misión, visión e valores que debe transmitir a Universidade. Na Declaración da Unesco sobre Educación Superior no Século XXI, establécese que a misión da Educación Superior é a formación de profesionais altamente cualificados, que actúen como cidadáns responsables, competentes e comprometidos co desenvolvemento local e social. Para cumprir con esta misión, os pilares sobre os que se sustenta a educación, en todos os seus niveis, defínense como: aprender a coñecer, aprender a facer e aprender a convivir e a ser. É con estas premisas coas que se aborda tanto a actividade tradicional do ensino, a través da transmisión de coñecementos do profesor ao alumno, como a visión práctica do mesmo, mediante a capacitación do estudante para afrontar distintas tarefas, ao tempo que se desenvolve a capacidade de convivencia e comprensión doutras realidades sociais e culturais.

A proxección de todos estes elementos, serviron para configurar no ano 1998, a través da Declaración de Bolonia, o novo Espazo Europeo de Educación Superior (EEES) no que se adopta unha nova estrutura para o ensino universitario e onde se implantan os títulos de Grao e Máster. Esta nova organización non responde simplemente a un cambio estrutural, se non tamén a un cambio metodolóxico e unha actualización da misión da Universidade, tendo en conta a súa importancia no contexto socioeconómico inmediato. Porén, para o desenvolvemento estratéxico dunha institución universitaria deben terse en conta tres eixos principais: docencia, investigación e conexión coa sociedade, non só a través da transferencia tanto de coñecemento como contemplando accións de responsabilidade social.

Dentro do proxecto Trends V (European University Association) a empregabilidade dos titulados considérase como prioridade principal, xunto coa dimensión social da Universidade. Para acadar estes obxectivos, débese asegurar unha mellor profesionalización dos titulados, polo que se fai necesario formar titulados coas competencias adecuadas para inserirse no mercado de traballo de forma satisfactoria. Ademais, o dinamismo e competitividade da que se pretende dotar á sociedade europea a partires da Axenda de Lisboa, ten o seu

fundamento na xeración de coñecemento e na formación de cidadáns con capacidade de emprendemento e innovación.

Tratando de favorecer a participación dos titulados coa súa opinión no deseño das políticas universitarias, o que sen dúbida contribuirá á mellora na empregabilidade das futuras promocións, a Axencia para a Calidade do Sistema Universitario de Galicia (ACSUG) vén levando a cabo unha serie de estudos que contribúen a coñecer a realidade da situación laboral dos titulados no Sistema Universitario de Galicia (SUG). Por unha banda, aportan información sobre as características dos postos de traballo que ocupan os nosos titulados, poñendo de manifesto a capacidade que o mercado de traballo da contorna socioeconómica inmediata posúe para a absorción dos titulados formados no SUG, proporcionando asemade unha medida da cohesión social. Entre outras características analizadas figuran as competencias e coñecementos que os titulados deben posuír para o desempeño efectivo do emprego. O coñecemento das competencias requiridas resulta de grande interese para o deseño dos novos títulos universitarios de Grao e Máster, cuxos programas formativos non se basean só en coñecementos, senón tamén en competencias.

O deseño das novas titulacións en termos de competencias, atopa o seu argumento principal en que nos atopamos inmersos na Sociedade do Coñecemento, onde a aprendizaxe debe entenderse de maneira continuada ao longo da vida, e onde se debe fomentar unha formación integral, potenciando todas as intelixencias dos estudantes.

2. DATOS TÉCNICOS DO ESTUDO

A poboación de interese está constituída polos titulados no Sistema Universitario de Galicia durante o curso académico 2005-2006, continuando na liña dos estudos anteriores levados a cabo pola ACSUG.

Universidade	Poboación	Mostra
A Coruña	3443	1880
Santiago	3937	1987
Vigo	2900	1495
TOTAL	10280	5362

Tabla 1: Titulados no SUG no curso 2005-2006. Tamaños de poboación e mostra

Considéranse as seguintes ramas de coñecemento: Ciencias da Saúde, Ciencias, Enxeñaría e Arquitectura, Ciencias Sociais e Xurídicas (I, II, III e IV) e Artes e Humanidades (I e II). A unidade de mostraxe e a unidade informante son a mesma: cada un dos titulados no SUG durante o curso analizado (2005-2006). A estes accedeuse a través de listaxes proporcionadas por cada unha das universidades.

O deseño da mostra fíxose mediante unha mostraxe estratificada, determinando a mostra por titulación e campus. O tamaño calculouse para a estimación de parámetros de proporción na poboación, cun erro máximo absoluto do 10% en titulación e campus. As enquisas realizáronse mediante entrevista telefónica, fixando un número máximo de 5 chamadas por titulado, escollendo estes de xeito aleatorio. O cuestionario é o mesmo que se utilizou para o PIL 2003-2005, e garda moitas similitudes co do PIL2001-2003, co obxectivo de facer os resultados comparables. O traballo de campo foi realizado por CALLCENTER, Centro de Atención de Llamadas S.A., dende o 5 ata o 30 de maio de 2008.

3. ACCESO AO MERCADO LABORAL

No proceso de inserción laboral dos titulados universitarios, poderíamos distinguir dúas fases principais: o acceso ao emprego e a situación laboral acadada. Para describir o período de busca de emprego (relacionado coa titulación estudada) recóllese a análise das distintas vías de busca utilizadas e da súa efectividade, así coma da vía propiciatoria do primeiro emprego. Tamén se abordan outras cuestións coma poden ser a importancia que os titulados outorgan a certos factores á hora de conseguir un emprego, as dificultades que teñen para conseguir o primeiro posto de traballo, observando o tempo que tardan unha vez rematados os seus estudos, ou os motivos que poden ter para chegar a rexeitar unha oferta laboral.

Os titulados do SUG que buscaron traballo relacionado coa titulación estudada valoran o grao de utilización de distintas vías á hora de buscar emprego. Para cada unha delas, solicitouse unha puntuación entre 1 (Nada) e 5 (Moito). Na Figura 1 obsérvanse as valoracións globais do SUG para as distintas vías. Destacan como as máis

utilizadas Internet e Candidatura espontánea, cunha puntuación de 3,52 e 3,41, respectivamente. Outras que tamén destacan son Familiares/amizades e Resposta a un anuncio de traballo en prensa. As vías menos utilizadas polos titulados do SUG son OSIX (1,19), Pór anuncios (1,24), Consultorías (1,32), e finalmente, Autoemprego (1,37).

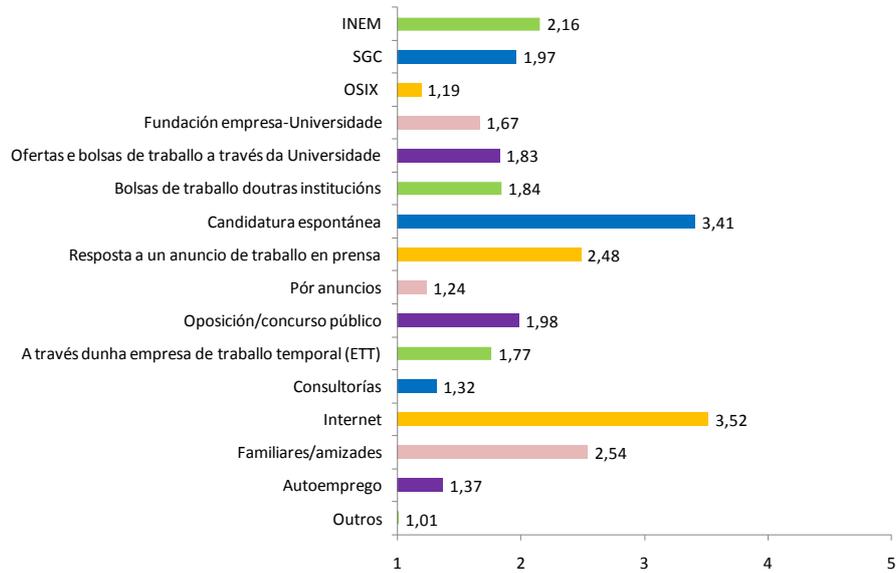


Figura 1: Utilización das vías de busca de emprego. Valoración media dos titulados no SUG que buscaron emprego relacionado coa titulación estudada (1=Nada, 5=Moito).

Despois da análise sobre a utilización das distintas vías á hora de buscar emprego, é interesante coñecer por cal delas chegaron a conseguilo. Para elo, preguntóuselles aos titulados que buscaron emprego relacionado coa titulación estudada cal foi a vía pola que atoparon o seu primeiro emprego (Figura 2).

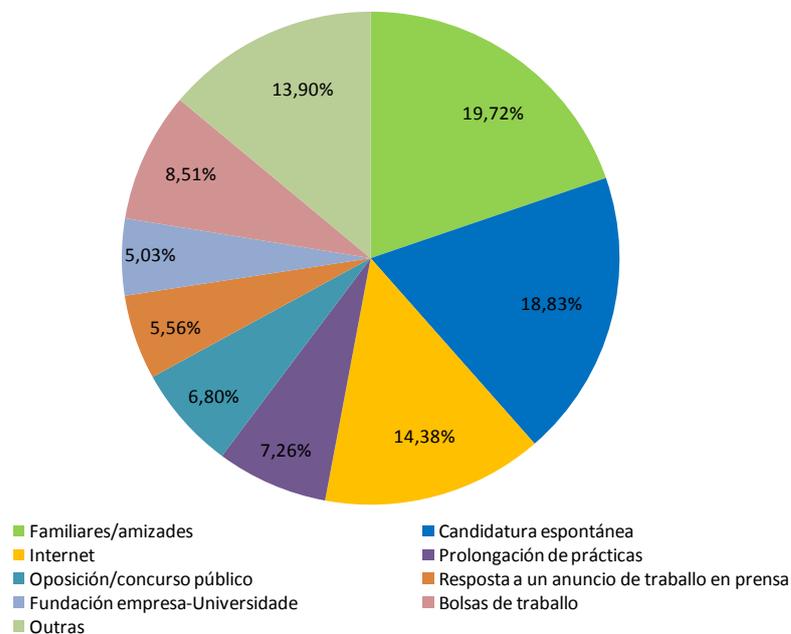


Figura 2: Vía propiciatoria do primeiro emprego dos titulados no SUG.

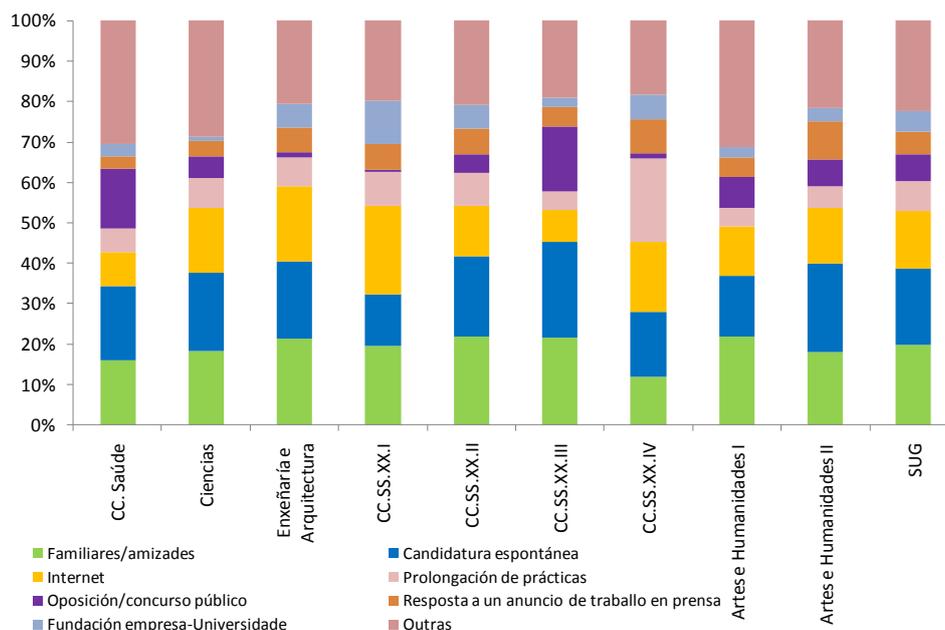


Figura 3: Porcentaxe de primeiros empregos propiciados por cada vía, sobre os titulados que atoparon emprego por algunha delas. Distribución por ramas de coñecemento.

Na Figura 3 pódense observar as diferenzas que existen entre as ramas en relación á vía pola que se atopan os primeiros empregos. Así, temos que para catro das nove ramas, a vía pola que máis primeiros empregos se conseguen é a Candidatura espontánea; para outras tres, Familiares/amizades; os titulados de Ciencias Sociais e Xurídicas I destacan a vía de Internet e; por último, os titulados de Ciencias Sociais e Xurídicas IV consideran que se acadan máis empregos mediante a Prolongación das prácticas. Tamén cabe salientar que as ramas de Ciencias Sociais e Xurídicas III e de Ciencias da Saúde teñen unha porcentaxe de primeiros empregos propiciados por Presentación a oposición/concurso público moi superior ás outras ramas e ao total do SUG, cun 16,25% e un 14,73%, respectivamente, máis acorde ao tipo de emprego ao que se accede dende estas ramas de coñecemento.

4. EFECTIVIDADE DAS VÍAS DE BUSCA DE EMPREGO

Unha vez estudado o grao de utilización das distintas vías de busca de emprego e os titulados que o atoparon por cada unha delas, resulta de interese facer o cruce entre estas dúas análises para ter unha medida de efectividade das vías. Así, se ten un alto grao de utilización pero unha baixa porcentaxe de empregos acadados, diremos que é unha vía pouco efectiva. Pola contra, se mediante unha determinada vía conséguese unha alta porcentaxe de primeiros empregos a pesares de que non é moi usada, dise que é unha vía cunha alta efectividade.

Na Figura 4 represéntase a efectividade das distintas vías de busca de emprego para os titulados do SUG. O eixo horizontal representa a porcentaxe de primeiros empregos, mentres que o eixo vertical dá unha medida da utilización das vías. Desta gráfica conclúese que as vías máis efectivas son Familiares/amizades e Candidatura espontánea, por teren unha alta porcentaxe de empregos e un grao de utilización intermedio. Tamén se observa que para o global do SUG, a vía Internet non é tan efectiva xa que a pesares de que é a máis utilizada, a porcentaxe de primeiros empregos acadados mediante ela é intermedia.

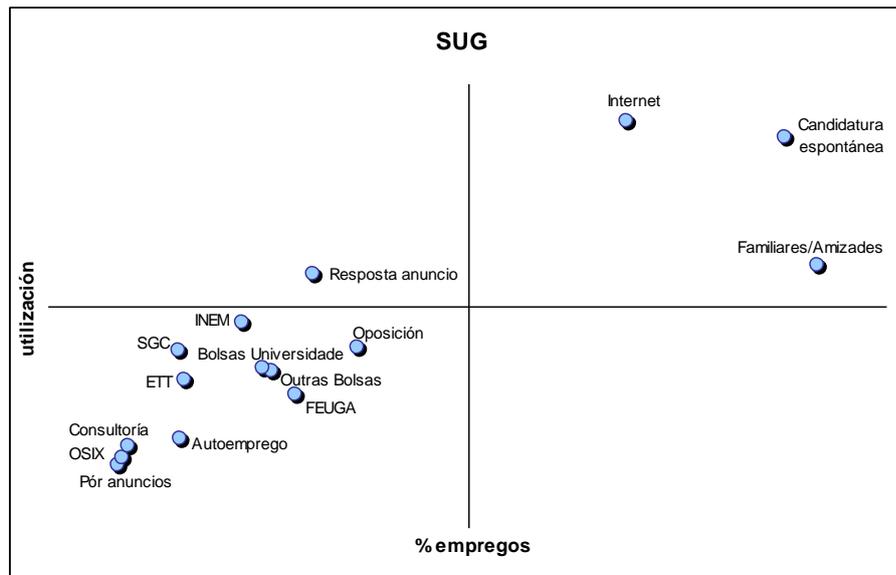


Figura 4. Efectividade das vías de busca de emprego. Resultados para o SUG.

As vías máis efectivas para a maioría das ramas de coñecemento son Familiares/amizades e Candidatura espontánea, pola alta porcentaxe de empregos acadados cun grao de utilización intermedio/alto. Pero, na rama de Ciencias Sociais e Xurídicas I, esta vía acada unha menor porcentaxe de emprego mentres que Internet aumenta a súa efectividade en relación co global do SUG. Nesta rama tamén destaca FEUGA por ter unha maior efectividade en comparación co resto.

5. CONCLUSIONS: PERFIL DUN TITULADO DO SUG

Recopilando os resultados dos distintos puntos analizados no estudo pódese describir o perfil dun titulado tipo do SUG.

- Un titulado do SUG do curso 2005-2006 rematou os estudos nos anos estipulados no plan (45%) ou en dous anos máis (36%), dedicándose ao estudo a tempo completo (64%), e no momento da realización da enquisa non ten rematados estudos de terceiro ou posgrao. Se realizou prácticas externas considéraas moi positivas para a inserción laboral.
- Para atopar emprego utilizou Internet e a candidatura espontánea, aínda que o atopou, en pouco máis de 5 meses, mediante familiares ou amizades. Os tres factores que considera máis valorados á hora de conseguir un emprego son: ter mobilidade xeográfica, ter experiencia laboral relacionada e a actitude durante a entrevista. De rexeitar algunha oferta de traballo, fíxoo pola existencia dunha oferta mellor ou por considerar a oferta económica inadecuada.
- No momento da enquisa estaba traballando, e xa tivera 3 contratos en 2 empresas diferentes. Se continua os seus estudos (32%) afirma querer estar en mellores condicións para atopar emprego ou promoción laboral. En xeral, o titulado do SUG pensa que a situación laboral é acorde ao esforzo realizado na carreira e considérase valorado pola empresa. Considera adecuado o seu nivel retributivo, percibindo un salario medio de 1176 € mensuais.
- A zona xeográfica é sen dúbida o aspecto do traballo co que os titulados están máis satisfeitos, se traballa fora de Galicia é principalmente por ter mellores ofertas no exterior. O que máis valora para o seu posto de traballo é a motivación, a capacidade para a aprendizaxe e a capacidade para resolver problemas.
- Un titulado do SUG repetiría o seu itinerario académico na maior porcentaxe dos casos, é dicir, de volver a comezar, cursaría a mesma titulación na mesma universidade

REFERENCIAS

Proxecto de inserción laboral dos titulados polo Sistema Universitario de Galicia 1996-2001. ACSUG (2004).

Estudo da inserción laboral dos titulados no Sistema Universitario de Galicia 2001-2003. ACSUG (2006).

A demanda de titulados por parte das pemes galegas. ACSUG (2007).

Accedendo ao mercado laboral: un estudo por titulacións 1996-2003. ACSUG (2007).

Estudo da inserción laboral dos titulados no Sistema Universitario de Galicia 2003-2005. ACSUG (2008).

Resumo Executivo: Programa REFLEX. www.aneca.es

Observatorio de inserción laboral de ANECA: <http://www.insercionlaboral.net/>

FUZZY PERFORMANCE MEASURES IN A HIGH UNCERTAINTY CONTEXT

Eusébio Nunes¹ and Sérgio Sousa²

¹University of Minho, Portugal, enunes@dps.uminho.pt

²University of Minho, Portugal, sds@dps.uminho.pt

ABSTRACT

This work studies the use of Performance Measures (PMs) in high uncertainty contexts. It focuses particularly in the Balanced Scorecard because it is the basis of many widely used performance measurement systems (PMSs). The relevance of uncertainty of data is provided with examples of customer performance measures. The Fuzzy Set Theory is used for capturing the uncertainty of the input variables used in PMSs. It also shows how to propagate the uncertainty from elemental PMs to aggregate PMs, throughout the PMS. Simultaneously, allows the setting of fuzzy targets and creates an index that represents the level of fulfilment of each objective associated with each PM.

Keywords: Balanced Scorecard, uncertainty, fuzzy targets, decision making

1. INTRODUCTION

In many different performance evaluation theories, models and methods have been applied in various organizations for last two decades. These approaches include Analytic Hierarchical Process, Delphi Analysis, Data Envelopment Analysis, Balanced Scorecard (BSC), EFQM model, Performance Prism. All these approaches were developed to evaluating organizations on a competitive and uncertainty environment but with a predictable behavior.

The BSC evaluates an organisation according to different perspectives. It defines objectives, derived from organisation's strategy and a comprehensive set of performance indicators. Each performance measure (PM) could be "elementar"- measure representing primary data - or aggregated – derived from elemental or aggregated PMs. Associated with each PM there is a target (and date, among other attributes). When there is a management revision that uses the Performance Measurement System (PMS), each PM is usually associated with a color – green, yellow or red, indicating the proximity of the real value of the PM to the predicted value. If a deviation is noticed actions should be taken to bring that PM back to the predicted values.

Currently, organisations exposed to global competition realised that their external environment is rich in events that increased the uncertainty, resulting in a turbulent environment. To cope with turbulent environments organizations change to become flexible and the PMS must include information about the wider environment. As a result the PMS interacts with the organization and with the external environment.

The uncertainty is a quantitative indication of the quality of the result. It is an unavoidable part of any measurement and it starts to matter when results are close to a specified limit. The uncertainty of PMs results from (i) measurement error that is related to the selected instruments and procedures, (ii) systematic error that is caused by the subjective judgment in capturing linguistic imprecision and conflicting expert opinions, and (iii) parameter unpredictability. The third source of uncertainty is the decision uncertainty. It is encountered by the decision maker when trying to incorporate social issues in the decision making process.

2. MOTIVATION

Each organization has internal and external customers and the PMS must include customers' information. This is a vital component of any BSC and can serve different objectives. According to the Kano Model (www.kanomodel.com) customer needs are continuously evolving. How to know exactly what each customer wants and what he does not want and why? The needs, opinions and expectations of the customers are usually expressed through natural language, using linguistics terms. These terms such as: "very good", "probably so", "not very clear" or "acceptable" have associated vagueness and fuzziness, being much natural to refer to their values using a linguistic label instead a crisp numerical value as frequently is done (Tsaur et al., 2002).

In the traditional formulation of a PMS, most PMs are affected by imprecision and vagueness but they are represented using numerical crisp values. A good decision-making model needs to tolerate vagueness and imprecision because these types of the nonprobabilistic uncertainty are common in decision-making problems (Yu, 2002).

Fuzzy Set Theory and Fuzzy Logic have proved to be a successful in handling imprecise and vague knowledge that characterize this kind of problems, and it has been applied in a variety of fields in the last decades. The understanding of customers' (present and future) needs and the evolution of society is a means of predicting future trends in the near future. So the task of studying Customers and transforming their needs into organizational requirements and contracts must be one vital process of any organization that adds value to the next product/service offered (at least in the design phase).

Measuring customer performance will not improve business unless action is taken over the system. How can CPMs contribute to identify problems and aid decision making? If the uncertainty (fuzziness) of human decision-making is not taken into account, the results can be misleading (Lee et al., 2008). The problem is how to overcome this situation or how to deal with this uncertainty of data.

3. MODELLING FUZZY PERFORMANCE MEASURES AND FUZZY TARGETS

The numerical assessment of fuzzy parameter/data and linguistic variables such as some PMs on customer satisfaction is done by using adequate membership function which determines the degree of membership in each input fuzzy set. The design of a fuzzy model is not trivial and several approaches (Ross, 1995) (Klir et al., 1997) have been proposed to identify the shape of elementar PMs. However, this subject will not be discussed in this work and the most usual solution is to use triangular and/or trapezoidal membership functions. The selection of these functions (see examples in Figure 1) has advantages in terms of their manipulation.

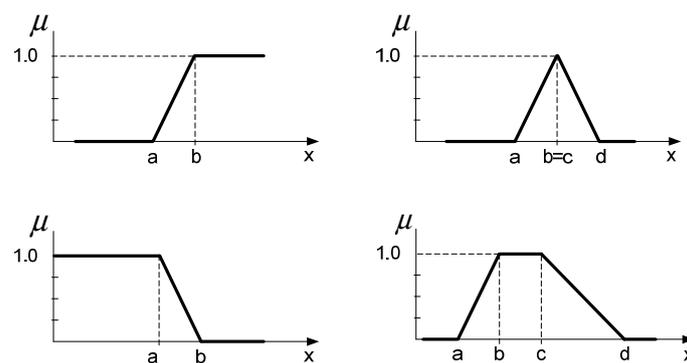


Figure 1: Commonly used membership functions

Let M_{ij} to be an aggregated PM i of a given perspective j from the BSC. This PM is the result of an aggregator operator Θ of elementar PM P_{kj} , each whighted by Ψ_k . Considering the elementar variables P_{kj} and the weights Ψ_{kj} as fuzzy numbers,

$$\tilde{M}_{ij} = \Theta(\tilde{\Psi}_{kj}, \tilde{P}_{kj}) \quad (1)$$

The membership function of the performance measurement, \tilde{M}_{ij} is a surface with the possible values of M_{ij} . Under these circumstances arises the difficulty of interpreting the result. Frequently, a defuzzification is performed of the membership function of the performance measurement to obtain a crisp number. In this operation a lot of information is lost that could be relevant to the decision process. Thus the fuzzy result is richer than the crisp number.

Let \tilde{Z} be the membership function of the acceptable performance level or fuzzy target for the PM \tilde{M}_{ij} . This function represents the acceptance/rejection region of the decision maker. Frequently the decision maker does not have a clear defined boundary between acceptable and unacceptable results. The boundary between these two regions is fuzzy and varies from decision maker to decision maker, depending also from his perception of risk. Thus, there is a subjective assessment of the performance measurement values which can be represented by three different regions: (i) region of complete acceptance; (ii) region of uncertain acceptance; (iii) unacceptable region (Figure 2).

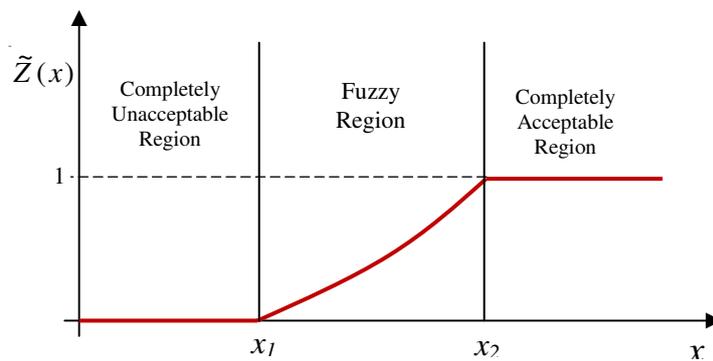


Figure 2: Fuzzy representation of acceptable performance measure

The \tilde{Z} can be represented by a fuzzy membership function:

$$\tilde{Z}(x) = \begin{cases} 0, \rightarrow x \leq x_1 \\ \psi(x) \rightarrow x \in [x_1, x_2] \\ 1 \rightarrow x \geq x_2 \end{cases}$$

where,

\tilde{Z} is the membership function of the acceptable performance level

$\psi(x)$ is the functional relation representing the subjective opinion of the acceptable risk

x_1 is the inferior limit of the acceptable region

x_2 is the superior limit of the not acceptable region

The ability to let the decision maker to choose the limits x_1 and x_2 and the function $\psi(x)$ allows to introduce ambiguity on the risk acceptance of different decision makers. One value of M_{ij} between on the region of doubtful acceptance is considered an Acceptable Value with a membership level α , with $0 < \alpha < 1$. If that value is in the region of complete acceptance or complete unacceptance its value would be $\alpha=1$ or $\alpha=0$, respectively.

Scenario 1

Let the PM, $M_{ij} = X$ and the acceptable value Z , be crisp values, i.e., there is no uncertainty in their values (Figure 3). Assuming that the bigger the value of M_{ij} the better the performance, it can be assessed if the result is acceptable by calculating the difference, $D=Z-X$. If $D \leq 0$, the PM is acceptable while for $D > 0$, the PM is unacceptable, independently of D being a value close or far from Zero.

Scenario 2

In this scenario, to capture the uncertainty of the assessment system, the PM M_{ij} is represented by a fuzzy number $\tilde{M}_{ij} = \tilde{X}$, and the target (or acceptable region) is a crisp value Z (Figure 4).

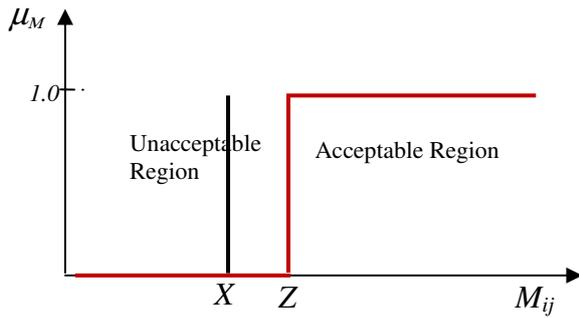


Figure 3: Scenario in which PM and Z are crisp values

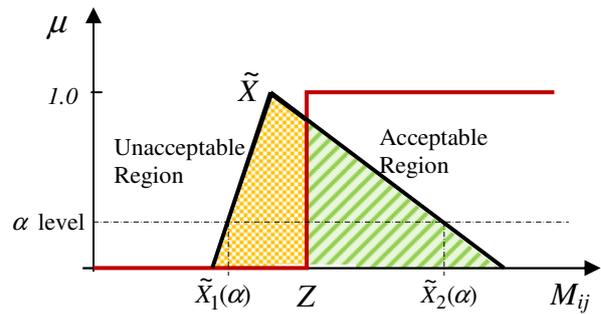


Figure 4: Fuzzy performance measure

As depicted in Figure 4, part of the membership function \tilde{X} on the left side of Z represents the set of unacceptable values of \tilde{M}_{ij} i.e., values of PM below target (failure to comply with objective). The right side of the region of the membership function \tilde{X} on the right side of Z represents the set of acceptable values, i.e., objective fulfilled. Thus, it can be defined an index of satisfaction of objective (IS), similar to the one presented by Shrestha and Duckstein (1998), as:

$$IS = \frac{\int_{\tilde{x}>Z} \mu_{\tilde{x}}(x)dx}{\int_{\tilde{x}} \mu_{\tilde{x}}(x)dx} \tag{2}$$

where:

$\mu_{\tilde{x}}(x)$ is a membership function \tilde{X} of the fuzzy PM \tilde{M}_{ij}

As in Shrestha and Duckstein (1998), the index IS considers the membership function \tilde{X} as a probability density function. According to Figure 4, IS can be obtained by:

$$IS = \frac{\text{Area } \square_{\text{green}}}{\text{Area } \square_{\text{orange}} + \text{Area } \square_{\text{green}}}$$

The following assumptions are considered when using IS :

- The maximum of IS is equal to 1, and that happens for any level of α such as, $\tilde{X}(\alpha) \geq Z \quad \forall \alpha \in [0, 1]$
- The minimum value of IS is equal to 0, and that happens for any level of α , such as $\tilde{X}(\alpha) < Z \quad \forall \alpha \in [0, 1]$
- The IS provides a consistent ranking to assess the degree to which a fuzzy number complies with target. It is a monotonic increasing function.

Scenario 3

Let us consider an environment with high uncertainty: both the PM (M_{ij}) and the target (Z) are fuzzy numbers expressed by $\tilde{M}_{ij} = \tilde{X}$, and \tilde{Z} (see Figure 5).

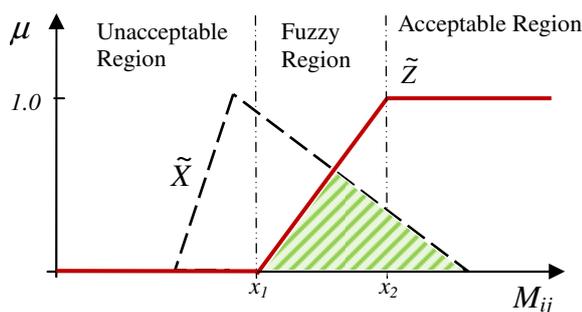


Figure 5: Fuzzy PM and fuzzy target

This scenario requires a comparative analysis between \tilde{X} and \tilde{Z} . The *compliance* (C) of these two membership functions can be calculated as a fuzzy measure of compatibility. There are several measures to quantify the compatibility of two fuzzy numbers (El-Baroudy and Simonovic, 2003). The overlapping area between two membership functions (i.e. a fraction of the total area of the PM) represents the concept of *compliance* better than other compatibility measures such as possibility and necessity. Thus,

$$Compliance = \frac{\text{overlapping area of membership functions of PM and target}}{\text{total area of membership function of PM}} \tag{3}$$

4. NUMERICAL EXAMPLE

Let us consider the customer’s perspective, in the BSC. One PM of interest could be the feedback on customer’s satisfaction quality and the market share. Let

$\tilde{C}1$: Feedback of customer’s satisfaction (fuzzy PM) – value of the customers’ satisfaction ratio calculated through a standard procedure;

$\tilde{C}2$: Estimation of market share (fuzzy PM) – market share for a set of products

\tilde{M} : Aggregated PM (fuzzy PM) based on $\tilde{C}1$ and $\tilde{C}2$ through equation (1)

Considering both PMs triangular (fuzzy) represented by $\tilde{C}1=(0.50, 0.60, 0.70)$ and $\tilde{C}2=(0.15, 0.20, 0.25)$, and the operator Θ from equation (1) is the product and the weights $\Psi_{kj}=1$, the resulting PM is: $\tilde{M} = \tilde{C}1 \times \tilde{C}2$.

Figure 6 shows graphically (a), (b) and (c) the membership functions of $\tilde{C}1$ and $\tilde{C}2$ e \tilde{M} , respectively.

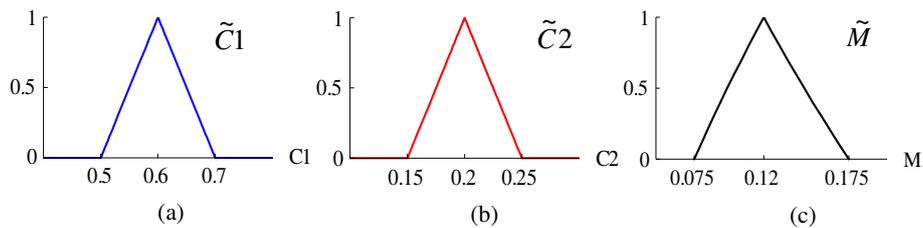


Figure 6: Membership functions of $\tilde{C}1$, $\tilde{C}2$ and \tilde{M}

The fuzzy function \tilde{Z} of the target of the PM \tilde{M} is defined as:

$$\tilde{Z}(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \leq 0.10 \\ (x - 0.10)/0.05, & \text{if } 0.10 < x \leq 0.15 \\ 1, & \text{if } x > 0.15 \end{cases}$$

0.10 e 0.15 are the lower and upper limit of the acceptable and non acceptable region, respectively. Figure 7 shows graphically this function.

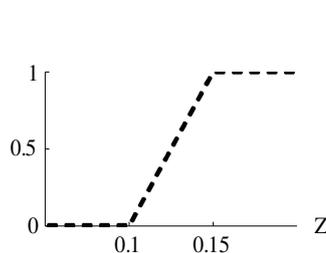


Figure 7: Membership function of \tilde{Z}

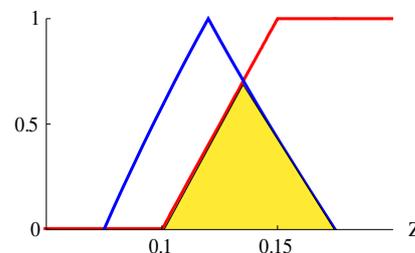


Figure 8: Membership function of \tilde{M} and target value

The comparison between the fuzzy PM \tilde{M} and the fuzzy target, \tilde{Z} , is shown in Figure 8. Using equation (3), the compliance index is determined:

$$C = \frac{\text{Area } \triangle_{\text{yellow}}}{\text{Area } \triangle_{\text{blue}}} = \frac{0.026786}{0.05} = 0.536$$

This index expresses the extent to which the PM \tilde{M} fulfills the target \tilde{Z} .

Figure 9 shows the resultant graphics maintaining the membership function \tilde{M} and changing function \tilde{Z} to \tilde{Z}' and \tilde{Z}'' , considering:

$$\tilde{Z}'(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \leq 0.15 \\ (x - 0.15)/0.05, & \text{if } 0.15 < x \leq 0.20 \\ 1, & \text{if } x > 0.20 \end{cases} \quad \tilde{Z}''(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \leq 0.09 \\ (x - 0.09)/0.03, & \text{if } 0.09 < x \leq 0.12 \\ 1, & \text{if } x > 0.12 \end{cases}$$

If the value of \tilde{M} is below \tilde{Z} (Figure 9a) the value of *Compliance* tend to Zero. If the value of \tilde{M} overlaps with \tilde{Z} (Figure 9b), the value of *Compliance* tend to One. This is confirmed by the values of C(a) and C(b), 0.0595 e 0.85, respectively.

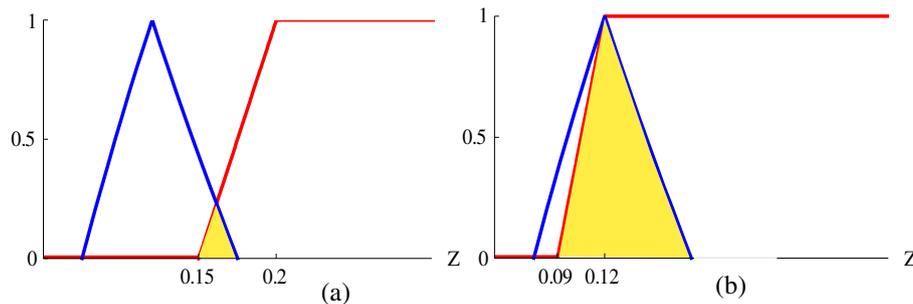


Figure 9: Membership function \tilde{M} and target value: (a) \tilde{Z}' and (b) \tilde{Z}''

5. CONCLUSIONS

Performance measurement in turbulent environments is at the centre of this on-going research. This part of the research presents the findings of this deductive research which will later be tested through case studies, to allow another step of inductive research to support, change or refute the proposed elements for the PMS.

This work shows the relevance of using Fuzzy Set Theory for capturing the vagueness and fuzziness of the input variables used in PMSs. It also shows how to propagate the uncertainty from elemental PMs to aggregate PMs, throughout the PMS. Simultaneously, allows the setting of fuzzy targets to create an index that represents the level of fulfilment of each objective.

REFERENCES

- El-Baroudy, I. and Simonovic, P., "New fuzzy performance indices for reliability analysis of water supply systems", Water Resources Research Report, The University of Western Ontario, Dep. of civil and environmental engineering, 2003.
- Klir, G. J., U. H. St. Clair and B. Yuan (1997), Fuzzy Set Theory: Foundations and Applications, Prentice-Hall Inc., NJ, USA.
- Lee, A., W. Chen, and C. Chang, A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan. Expert Systems with Applications, 2008, 34: pp. 96-107.
- Ross, T. J. (1995) Fuzzy Logic with Engineering Applications, McGraw-Hill, Inc.
- Tsaur, S. H., T. Y. Chang, and C. H. Yen, The evaluation of airline service quality by fuzzy MCDM. Tourism Management, 2002, 23: pp. 107-115.
- Yu, C.S., A GP-AHP method for solving group decision-making fuzzy AHP problems. Computers and Operations Research, 2002, 29: pp.1969-2001.

Impacts of the North Atlantic Oscillation on the Tourist Arrivals to the Balearic Islands

M^a Soledad Otero Giráldez¹, Marcos Álvarez Díaz² y Manuel González Gómez³

1 Universidad de Vigo

2 Universidad de Vigo

3 Universidad de Vigo

ABSTRACT

This paper analyses the relationship between the North Atlantic Oscillation (NAO) and the tourist arrivals to the Balearic Islands from Germany and Great Britain. The sample period for all time series goes from 1980 to 2008. Two alternative methods of analysis are employed. The first one is based on the causality concept developed by Granger (1969). The second perspective is based on the cross correlation function. The results demonstrate the existence of a statistical relationship between the analysed variables.

Keywords: NAO; cross-correlation, granger causality test

1. INTRODUCTION

It is traditionally assumed that international tourism demand is mainly determined by socio-economic factors such as the population and income level in the origin country, relative prices, currency foreign exchange rate and marketing expenditures on promotional activities in the destination country (Lim, 1997; Law and Au, 1999). These factors have been widely used in the majority of the demand studies (see, for example, Uysal and El Roubi, 1998).

Although the economic factors are unquestionably relevant in explaining tourism flows, other kind of variables could be also important. Tourism is a climate-dependent industry, as a lot of tourist activities heavily rely on specific weather conditions (skiing activities, seaside tourism...). Therefore, it seems also reasonable to consider climate and meteorological factors as significant determinants of tourism demand; however, relatively little systematic research has been carried out. The scarce literature on this topic reveals that the most widely-used meteorological variable in determining tourism is temperature (Maddison, 2001). Other

variables are also used such as rainfall, wet days, cloud cover, humidity, sunshine and wind speed (Agnew and Viner, 2006; Agnew and Palutikof, 2006).

One potential key variable to explain Tourism could be the climatic phenomenon observed in the North-Atlantic zone and known as the NAO (the North Atlantic Oscillation). The NAO is one of the most prominent and recurrent pattern of atmospheric variability over the North Atlantic Ocean, and plays an important role in the weather conditions in the North Hemisphere (Hurrell *et al.* 2003). It has a significant impact on the meteorological conditions (temperature, storms, precipitations, wind speed, among others) observed predominantly in the Atlantic zone, and also in the Mediterranean region (Greatbatch, 2000). The phenomenon is formally defined as an anomalous difference in the atmospheric pressure between the subtropical high-pressure belt, around the latitudes of 35°- 40° in the Northern Hemisphere and centered near the Azores, and the subpolar low-pressure belt, centered over Iceland.

The influence of the NAO on the tourism sector has not been studied yet, and this gap must be filled in order to understand better how tourism works. For that reason, the main objective here is to empirically analyze if the NAO has a statistical impact on tourism demand. Specifically, the study is centered on analyzing the impact on the number of tourist arrivals to the Balearic Islands from Germany and Great Britain. The tourism industry in this Spanish region is one of the largest employers and generators of economic growth, accounting directly or indirectly for around 60% of its Gross Domestic Product. In consequence, given tourism's obvious importance to the local economy, studies on tourism demand are considered of great relevance. Additionally, the analysis is focused on tourism arrivals from Germany and United Kingdom because of the predominance of these two nationalities in the Balearic tourism (almost 80% of the tourist arrivals) and, secondly, because for both cases they are time series with enough entries to apply the statistical methods used in this study.

2. EMPIRICAL ANALYSIS

We work with two variables. The NAO Index: We use the index constructed by Hurrell *et al.*, (2003). The other variable object of analysis is the international tourism demand from German and British to the Balearic Islands, which can be adequately approximated by the number of tourist that visit the archipelago.

Two alternative methods of analysis are employed to statistically study the existence of an impact of the NAO on the tourism arrivals to the Balearic archipelago. The first one is based on the causality concept developed by Granger (1969). The second is based on the cross-correlation function (CCF).

We first use the conventional non-parametric Phillips-Perron test (PP), proposed by Phillips and Perron (1988) and the conventional Augmented Dickey-Fuller test (ADF),

proposed by Dickey and Fuller (1981) for testing the unit root test, because only when both series are stationary, the presence of Granger causality relation can then be tested for.

The results, reported in Table 1 and Table 2, show that the tourist arrival is integrated of order one and the NAO is stationary for both countries, Germany and Britain.

Table 1: Phillips - Perron test

Ho: variable has a unit root	t-statistic	t-statistic
	Models with Constant and Trend	Models with Constant)
Nao	-4.445173* (3)	-4.423531* (1)
German arrivals	-2.373036 (3)	-0.296345 (6)
British arrivals	-2.618303 (9)	-1.885406 (11)
Δ German arrivals	-4.380040* (1)	-4.471376* (1)
Δ British arrivals	-5.482706* (4)	-5.226123* (3)

Note: Δ is the first difference operator. Values in parenthesis specify the truncation lag for the Newey-West (Newey and West (1987)). * indicates significance at 5% level. Critical values are based on MacKinnon (1996).

Table 2: Dickey - Fuller test

Ho: variable has a unit root	t-statistic	t-statistic
	Models with Constant and Trend	Models with Constant
NAO	-4.483430* (0)	-4.417141*(0)
German arrivals	-2.177113 (0)	-0.454708 (0)
British arrivals	-3.361824 (1)	-1.933828 (0)
Δ German arrivals	-4.382868* (0)	-4.474004* (0)
Δ British arrivals	-5.053248* (0)	-5.107392* (0)

Note: Δ is the first difference operator Values in parenthesis specify the lag length based on the Schwarz Information. Critical values from Mackinnon (1996). *denotes significance at 5 per cent level.

Since the test show non-stationary for tourist arrival, first-differenced time series were used in order to apply the Granger test. The results of Granger causality test are given by Table 3.

Table 3: Granger Causality Tests

Null Hypothesis	Lags	F-Statistic	P-value
NAO does not Granger Cause German arrivals	4	4.88758	0.0100
NAO does not Granger Cause British arrivals	5	3.44631	0.0367

Note: The lag length is based on the Schwarz Information criterion and on the no correlation serial of the residuals.

We cannot reject the hypothesis that NAO does not cause tourist arrival. This result indicates an unidirectional causality exist between NAO and tourist arrivals to the Balearic Islands. These results are robust to different lag selections¹.

Regarding the use of cross-correlation functions, the first step is to remove the autocorrelation existing in the original series using an autoregressive process. In all cases, the optimum order that minimizes the Akaike Criterion is $p=1$, and the residuals obtained after filtering the original data did not exhibit significant autocorrelations. Therefore, the residual series can be used in the analysis to detect significant cross-correlations not due to co-temporality. Specifically, the residuals of the NAO index were cross-correlated with each one of the residuals of the international tourist arrivals series. Figure 1 and Figure 2 show graphically the sample cross-correlation function for the German and British case, respectively. Moreover, these figures also display the confidence intervals necessary to examine the statistical significance of the cross-correlation coefficients. The intervals are empirically constructed by means of a Montecarlo simulation. To do so, 5000 time series were randomly generated with the same characteristics as a random white noise and with the same standard deviation as the residuals of the NAO index. Then, each one of these artificial variables was cross-correlated with the residual series of tourism arrivals. An empirical distribution of each cross-correlation coefficient for each lag is computed. Using this empirical distribution a confidence interval with a specific significance level is built, in this case the significance is determined at 95%.

Analyzing Figure 2, it can be observed that the NAO index is positively cross-correlated with the German tourist arrivals at lag $\tau = 4$, negatively at lag $\tau = 7$, and no significant cross-correlations are detected at other lags. These results verify the existence of a statistically significant relationship between the NAO phenomenon and

¹ The results using different lags are not reported.

the number of German visitors to the Balearic Islands. On the other hand, the relationship between NAO and tourist arrivals from United Kingdom is not as clear as in the German case. Examining Figure 2, only a slight significance is found for the cross-correlation coefficient at lag $\tau = 2$.

3. CONCLUSIONS

This paper aims to investigate the causal relationship between NAO and the German and British tourist arrivals to the Balearic Islands during the 1980-2008 period, by using the Granger causality test and the cross correlation function. The results present statistical evidence that verifies a connection between a climatic phenomenon and international tourism demand. In particular, it is demonstrated that the North Atlantic Oscillation, one of the most important pattern of atmospheric variability over the North Atlantic Ocean, has a statistical significant effect on the number of tourist arrivals from Germany and United Kingdom to the Balearic Islands. Certainly, there are many interactions between climate and tourism

REFERENCES

- Dickey, D. A and Fuller, W. A. (1981): "The likelihood ratio statistic for autorregressive time series with a unit roots", *Econometrica*, Vol. 49, pp. 1057-1072.
- Granger, C. (1969). "Investigating causal relations by econometric models and cross-Spectral Methods", *Econometrica*, 37, pp. 424-438.
- MacKinnon, J. G. (1996). "Numerical distribution functions for unit root and cointegration test", *Journal of applied econometrics*, 11, pp. 601-618.
- Newey, W. and West, K. (1987): "A simple positive semi-definite, heteroskedasticity and autocorrelation consistent covariant matrix", *Econometrica*, vol. 55, pp.461-472.
- Phillips, P.C.B. and Perron, P. (1988): "Testing for a unit root in Time Series Regression", *Biometrika* 75, pp. 235-346.
- Agnew, M., and Palutikof, J. (2006), "Impacts of short-term climate variability in the UK on demand for domestic and international tourism", *Climate Research*, Vol 21, pp 109-120.
- Agnew, M., and Viner, D. (2001), "Potential impacts of climate change on international tourism" *Tourism and Hospitality Research*, Vol 3, No 1, pp 37-60.
- Greatbatch (2000), "The North Atlantic Oscillation", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 14, 213-242.

Hurrell J., Kushnir Y., Ottersen G. and Visbeck M. (2003), "An Overview of the NAO", *Climatic Significance and Environmental Impact*, Geophysical Monograph 134, 2003, American Geophysical Union.

Law, R., and Au, N. (1999), "A neural network model to forecast Japanese demand for travel to Hong Kong", *Tourism Management*, 20, 1, 89–97.

Lim C. (1999), "A Meta-Analytic Review of International Tourism Demand", *Journal of Travel Research*, 37, 3, 273-289.

Maddison, D. (2001), "In search of warmer climates? The impact of climate change on flows of British tourist", *Climatic Change*, Vol 49, pp 193-208.

Uysal M., and El Roubi M. S. (1999), "Artificial Neural Networks Versus Multiple Regression in Tourism Demand Analysis", *Journal of Travel Research*, Vol 38, pp 111-118.

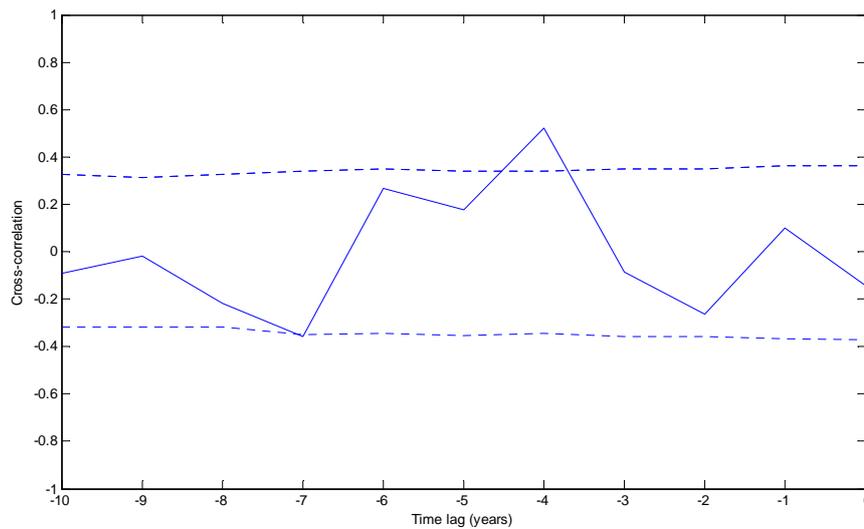


Figure 1. Sample cross-correlation between residuals of the NAO index and the residuals of the German tourist arrivals.

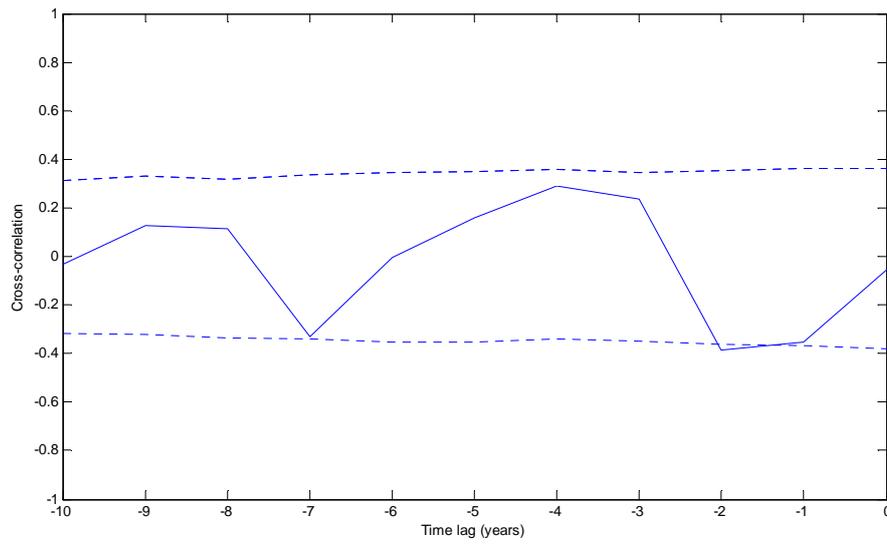


Figure 2. Sample cross-correlation between residuals of the NAO index and the residuals of the UK tourist arrivals.

ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE PIENSO USANDO TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

M. Pérez Fdez¹, M. Reborio Jato¹, J. Glez-Dopazo¹, D. Glez-Peña², R. Pavón Rial², R. Laza Fidalgo²

¹ Grupo, <http://sing.ei.uvigo.es/>

² Dpt. Informática, Universidad de Vigo, Escuela Superior de Ingeniería Informática, Edificio Politécnico, Campus Universitario As Lagoas s/n, 32004, Ourense, España.

RESUMEN

En la actualidad los problemas de planificación y estimación de producción son una cuestión clave en la gestión de las empresas. En este documento se presenta la problemática de una empresa con un gran volumen de negocio que pretende ahorrar costes a la hora del reparto de su mercancía. El problema se ha tratado mediante dos partes diferenciadas, por un lado la estimación de la producción y por otro lado la planificación de distribución de la misma. En este documento se hace un estudio en profundidad de las características del problema, las posibles soluciones a la estimación de producciones totales, una selección de la óptima, y una planificación del consumo y en consecuencia del reparto de esa producción.

Palabras e frases clave: Planificación, estimación, redes neuronales, técnicas de inteligencia artificial, MSP, IBk.

1. INTRODUCCIÓN

Escriba aquí la introducción. O máximo do espazo de todo o documento é de seis páxinas. La información usada para este estudio ha sido proporcionada por la compañía gallega Coren. A grandes rasgos se puede decir que esta información consiste en un conjunto de datos como pueden ser los pedidos de los clientes, la producción de la empresa, cantidad de animales en las granjas y viajes de los camiones de reparto entre los años 2007 y 2008.

1.1 Historia y situación inicial

Los clientes de Coren son granjas (granjas de avicultura, ganaderías, criadoras de cerdo, conejos, etc.). La compañía produce muchos tipos de pienso, y el reparto de estos piensos de forma correcta y en el tiempo establecido, implica grandes inversiones. El problema que motiva el presente documento es que los clientes hacen sus pedidos por teléfono, solicitando la entrega a domicilio de uno o más tipos de pienso. Con todos estos pedidos, el personal de producción debe componer un plan de producción para el día siguiente. Existe la posibilidad de que este pedido sea realizado el mismo día en que se necesita su entrega y que no exista stock del mismo en fábrica. Esta situación implicaría la necesidad de modificar la producción y el plan de distribución, rompiendo la producción actual e incrementando los costes de producción y reparto. Teniendo en cuenta que Coren tiene sete mil clientes aproximadamente y que estos clientes hacen alrededor de unos quinientos cincuenta pedidos diarios y que estas cifras se ven reflejadas en una producción diaria de unas 2.642 Tm de pienso; se puede concluir que el problema tiene un alto impacto económico.

Como otras cooperativas, un gran porcentaje de los clientes de la empresa son asociados, curiosamente estos conforman la mayoría de clientes que solicitan un pedido el mismo día que desean ser servidos. Una problemática asociada a la descrita es que la empresa tiene que retirar las cantidades de pienso restantes tras una crianza, por lo que una mala estimación por parte del cliente llevará asociada una pérdida económica, ya que incrementa los costes de distribución y añade un el problema del reciclaje de este pienso.

1.2 Restricciones del problema

Existen varias restricciones a tener en cuenta para la resolución de este problema. Como se ha dicho anteriormente, el pienso y los animales son los ejes principales. Esta sección describirá detalladamente tanto las características de los lotes (conjunto de aves que llegan juntas a una granja) como de los piensos (conjunto de todos los tipos distintos de alimento que un animal puede comer).

Restricciones de los lotes de aves:

Para cada lote a predecir habrá un “programación” de vida, desde una semana antes de la entrada del lote en la granja hasta su sacrificio (este hito se conoce con siete semanas de antelación). Podemos decir que el período de tiempo que los animales permanecen en la granja es conocido, aunque algunas condiciones, como el peso de los animales pueden cambiar este período en dos o tres días.

Factores de influencia en los envíos de pienso: a) Número de animales en la granja, b) Raza, c) Sexo, d) Índices de mortalidad y consumo, e) Peso y mortalidad real, f) La mortalidad se actualiza semanalmente, g) Número de silos y capacidades de cada uno, h) Estación. El consumo de los animales puede variar en función de la estación del año. El consumo puede ser inferior en verano a causa de las altas temperaturas y puede ser mayor en invierno. Este hecho se ha comprobado experimentalmente aún cuando las granjas están climatizadas; i) Tipo de producción: Incluyendo coccidostato (tendencia a disminuir). Sin coccidostato. Pigmentación. Las aves pueden ser amarillas o blancas; j) Tabla de planes. Puede haber retiradas parciales de aves antes de la salida programada, este hecho cambiará toda la programación restante.

Hay una gran variedad de combinaciones de características de los animales, en la Figura 1 se muestra un diagrama en el que se puede ver la distribución de las características. Las granjas de engorde de avicultura no tienen entregas de piensos medicados. Además las granjas de gallinas (ponedoras, de cría,...) así como porcino, vacuno, bovino, y conejos pueden tener envíos medicalizados que pueden romper la programación. Cada raza va a tener un flujo de consumo distinto. Van a consumir entre tres y cinco tipos distintos de pienso. Del mismo modo, tanto el período de tiempo que un lote permanece en una granja, como la cantidad de animales y datos tratados pueden variar. No se puede olvidar que la compañía está en constante desarrollo.

Restricciones de los piensos

El primer envío de pienso para un lote se realiza entre el día seis y el día uno anteriores a la entrada del lote en la granja. Esta es una cuestión importante a tener en cuenta ya que se debe usar para saber cuando un pedido pertenece a un lote o a otro. Esto se debe a que en los datos disponibles no está almacenado qué pedido pertenece a qué lote, sólo se almacena el cliente destino de cada pedido almacenado. Esto se debe a que los datos son extraídos de una base de datos contable. Hay muchos tipos de pienso, por ejemplo: “Migas Broiler Terminado”, “Harinas Broiler Terminado”, “Granulado Broiler Terminado”, “Migas Label Terminado”, “Migas Label Terminado con coccidostatos”, “Granulado Blanco Terminado”, “Terminado Camperas”, ... Esos son sólo una pequeña parte de los tipos de pienso existente, pero suponen un ejemplo de la variedad de pienso existente. Existen ciertas características del pienso a tener en cuenta:

- Fecha de entrada: el primer envío y el cambio entre dos de los tipos de pienso dependen de esta.
- Fecha de sacrificio (una o más): otros cambios de pienso pueden calcularse en función de esta.
- Índice de consumo: Los índices de consumo se necesitan para calcular las fechas de próximas entregas. Estos índices dependen de varios factores: Raza, sexo, edad del pollo, fechas (diferente consumo verano/invierno), granja/lugar (diferente consumo dependiendo de la localización geográfica).

Los distribuidores de las crías proporcionan ciertos índices:

- Índice de mortalidad: Se necesita para calcular el consumo en función del número de aves que ha entrado menos las aves muertas (menos salidas parciales).
- Capacidad de los silos: Se necesita para calcular cuanto pienso se debe enviar. Puede haber un número de silos por nave o pueden estar compartidos entre varias naves de la misma granja.
- Incompatibilidad de piensos: Algunos piensos no pueden ser mezclados.

El sistema presentado va a integrar toda esta información para obtener una predicción del consumo de pienso, calculando cantidades totales de pienso individualmente. Una vez se hayan calculado estas cantidades se van a dividir en calculando un consumo diario. El sistema presenta una solución que combina un método estadístico (usado para calcular los datos de consumo anteriores, la mortalidad y los tipos de pienso enviados), un método basado en aprendizaje automático (se usan los modelos M5P [1, 2, 3,4] y IBk para calcular las cantidades totales de pienso por tipo) y un algoritmo ad-hoc que planifica pedidos flexibles.

2. PROCESO DE ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE PIENSO

En las últimas décadas se ha estado investigando en el modelado y predicción de diferentes tipos de problemas. Esto se debe a que antes del desarrollo y de la aplicación de herramientas de IA había muchos métodos estadísticos o distintas soluciones creadas en función de las características del problema. Debido a esto existen dos grupos diferenciados (i) métodos estadísticos y (ii) redes de neuronas artificiales.

En este sistema no se ha usado una técnica estadística específica para la solución propuesta, simplemente se ha diseñado un proceso de cálculo que se explicará en secciones posteriores.

En cuanto a las técnicas de IA, tras el análisis de las exhaustivas pruebas se ha optado por las técnicas M5P e IBK. La selección de estas técnicas se justifica en las secciones correspondientes a los resultados, en la que se hacen comparativas con otras técnicas. La técnica M5P será usada para la gran mayoría de los casos, mientras que el algoritmo IBK será usado para aquellos casos en los que M5P no devuelva resultado alguno. Esta carencia del principal algoritmo usado se debe a que M5P es un algoritmo basado en reglas, con campos multivaluados, por lo que necesita que el caso a predecir tenga valores comunes a alguno de los casos conocidos. Debido a que este sistema debe responder ante necesidades reales, hay que tener en cuenta cualquier situación, y es probable que se den nuevos tipos de pienso, razas de animales... en estos casos IBK proporcionará un resultado aceptable y a medida que estos casos aumenten en la base de casos, M5P irá refinando la predicción.

2.1 M5'

El algoritmo principal algoritmo usado durante el proceso de predicción, M5' (o M5P), es una colección de clases basadas en la regresión lineal. La idea original pertenece a R. Quinlan y Yong Wang e implementa tres modelos diferentes, denominados: Regresión Lineal, Árboles de Regresión y Árboles de Modelado.

La regresión lineal produce una función que modela la salida basada en distintos atributos de entrada. Dada una relación lineal entre los atributos de entrada y de salida se puede aplicar tanto a clasificación numérica como a predicción.

Por otra parte los árboles de regresión y modelado son similares ya que producen árboles de decisión con salida numérica para los nodos hoja en lugar de una salida categórica. La única diferencia es la naturaleza de la salida. Un árbol de decisión es una estructura simple donde los nodos no terminales representan comprobaciones de uno o más atributos y los nodos terminales reflejan salidas de decisión. Los árboles de regresión producen un valor medio numérico para la salida mientras que los árboles de modelado producen una ecuación lineal por cada nodo hoja. En nuestro caso, debido a la naturaleza de los datos tratados se va a usar un árbol de modelado con poda, que usa predicciones ligeras.

2.2 IBk

El algoritmo IBk, es el usado en los casos en que M5' no puede realizar predicción alguna (necesidad de predecir un lote con características distintas a todas las contempladas en la base de casos). Es un clasificador basado en los k-vecinos más cercanos. Se usa una función de similitud, descrita en la Ecuación 1.

Donde las instancias se describen por n atributos (características). IBk define $f(x_i, y_i) = (x_i - y_i)^2$ para atributos con valores numéricos y $f(x_i, y_i) = (x_i \neq y_i)$ para atributos simbólicamente valuados y atributos booleanos. Los atributos sin valor se asume que son totalmente distintos al valor presente. Si ambos no existen, entonces $f(x_i, y_i)$ vale 1. IBk es idéntico al tradicional algoritmo de vecinos más cercanos excepto en que normaliza los rangos de los atributos, procesa las instancias de modo incremental, y tiene una política simple para tolerar valores nulos. IBk también puede guardar sólo instancias no clasificadas y emplear un método de recuperación de evidencias "espera y observa" para determinar cual de las instancias guardadas podrían dar buenos resultados durante la clasificación.

3. SOLUCIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PIENSO

El análisis de la base de datos disponible con información económica de la empresa proporciona una idea inicial del proceso completo a seguir para alcanzar el objetivo final. La Figura 1 muestra el diagrama del proceso. Esta definición inicial del proceso muestra tres fases para la resolución del problema.

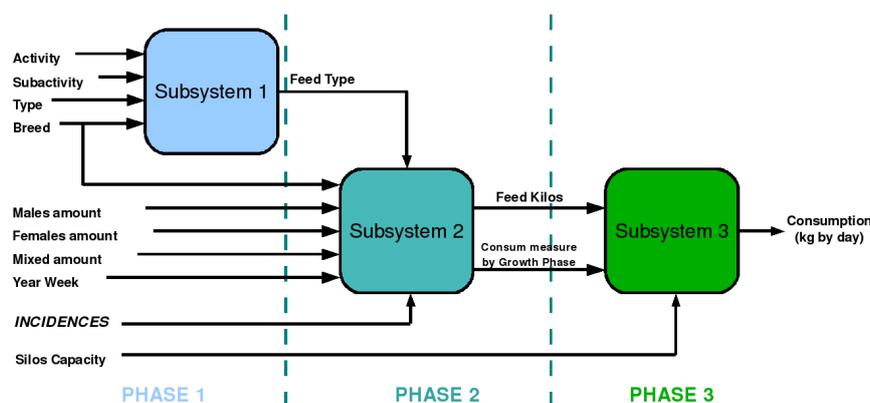


Fig 1. Diagrama del proceso

Cada fase se corresponde con un subsistema que ejecuta una tarea específica:

- Subsistema uno: Determina el tipo de pienso que los animales van a consumir a lo largo de su vida. Un determinado conjunto de animales consume varios tipos de pienso por cada ciclo a lo largo de su vida. Para realizar este cálculo los datos usados son la raza, la actividad, la subactividad y el tipo de los animales. La salida de esta fase son los distintos tipos de pienso consumidos por un lote.
- Subsistema dos: Estimar el consumo total por cada tipo de pienso a lo largo de la vida en la granja y el consumo diario por cada animal en función del consumo total. En este proceso también se necesita calcular la mortalidad de los animales. La salida de subsistema anterior (diferentes tipos de pienso) y la mortalidad son las entradas de este sistema. Además se manejan datos como la raza, cantidad de aves macho, cantidad de hembras, cantidad de aves sin sexar (mixtos) y semana en la que viven. Este subsistema predecirá la variación de consumo por sexo según la semana del año. La salida de esta fase será la cantidad total de pienso que se estima que se va a ser consumida, así como los índices de consumo en función del período de consumo y la media de consumo por cada tipo de pienso.
- Subsistema tres: Este último subsistema va a decidir la producción diaria de pienso, incluyendo el tipo específico y la cantidad. Esta predicción se hace en función de la estimación de consumo diario del los animales activos que existen en la granja así como en los datos reales de la base de datos.

3.1. Subsistema uno: Estableciendo los tipos de pienso

Como se ha dicho anteriormente, el sistema debe procesar muchos tipos distintos de datos reales. Los datos necesarios han sido extraídos de un enorme conjunto de información que incluye datos económicos, de producción y de gestión de una empresa con un gran volumen de negocio. Esto hecho ha supuesto un gran inconveniente a la hora de extraer los datos necesarios. Por ejemplo, uno de los problemas encontrados fue poder encontrar la información que más se ajustase a la realidad en lo que a consumo de los animales se refiere, ya que como se ha mencionado anteriormente, no existe una relación directa entre los lotes de animales y el pienso consumido. Esto sólo se ha podido solucionar tras largas reuniones con gente de la empresa ya que son los únicos que realmente conocen el significado de los datos.

Aunque existía una extensa fuente de datos, estos no podían ser usados directamente, necesitaban un procesado previo. No era posible encontrar una cantidad exacta de pienso consumido al no haber esa relación directa de pienso consumido por animal. La única relación encontrada era la de qué pienso había sido vendido a qué granja, y en consecuencia para qué lote. De este modo podía calcularse el consumo tomando las ventas a cada dueño de cada granja según las fechas de entrada y salida de los animales, teniendo en cuenta siempre, que existe un pedido previo a la entrada del lote en la granja (entre tres y cuatro días antes). Esta técnica presentaba los siguientes problemas:

- Existencia de diferentes períodos de estancia en el mismo lote. Esta restricción se describe en la sección referente a las restricciones del problema. Para obtener una información lo más verídica posible le los pedidos lote a lote se decidió ignorar todos los pedidos pertenecientes a lotes cuyos animales tuviesen salidas separadas antes de la salida oficial.
- Datos económicos. Todo sistema de ventas tiene devoluciones, y estas han sido otro problema a la hora de extraer los datos. El sistema debería distinguir todas las devoluciones e identificar a qué lote pertenecían. Estas pueden darse cuando los animales ya han dejado la granja y otros han ocupado su lugar. La regla creada para evadir ese problema ha sido tomar el primer pedido negativo más cercano posterior a la salida del lote y contabilizarlo como devolución del lote tratado. La automatización de esta solución puede dar lugar a errores, para minimizarlos se ha decidido eliminar todos los lotes sobre los que se detecte alguna devolución que sea posterior a los ocho días siguientes a la salida del lote.
- Eliminación de lotes solapados. Es posible que una misma granja pueda dar cabida a más de un lote de animales al mismo tiempo. Cuando esto ocurre, es imposible averiguar cuanto pienso ha consumido cada lote (debido a que el consumo se obtiene según las ventas a las granjas). El sistema debe eliminar esta información de modo que se reduce el conjunto de datos disponible.
- Las tendencias del consumo varían a lo largo de los años. Esto significa que el mismo número de aves, con las mismas características en la misma granja... bajo las mismas condiciones, pueden consumir cantidades muy diferenciadas del mismo pienso, si hay más de tres años entre sus estadías en la granja. Por lo tanto sólo se toman datos correspondientes a los últimos tres años.
- Datos contables de la compañía. La base de datos que se ha estudiado ha sido creada para almacenar información económica, no para guardar un seguimiento diario del estado de la granja. Esto implica que la extracción de datos es complicada y puede incluir errores. Los filtros usados van a incluir una pequeña corrección de error.
- Filtrado de pedidos inesperados. Como mínimo habrá dos mil aves alojadas en granjas, por lo tanto los pedidos de pienso para estos grupos de animales no pueden ser muy pequeños. Los granjeros pueden hacer pedidos para sus propias crías, esta desviación se ajustará eliminando pedidos de menos de trescientos quilos.

- Como se ha explicado anteriormente, se usan datos pertenecientes a una base de datos real, esto implica que los filtros descritos van a implementarse usando técnicas de bases de datos. La próxima sección explica esto.

Índices de consumo y mortalidad

El algoritmo de planificación va a necesitar información sobre el consumo diario. Esto se extraerá de la base de datos. Una vez aplicados los filtros y creadas las relaciones entre lotes y sus respectivos consumos se debe calcular el índice medio de consumo diario por ave. Dado un lote, el consumo se calcula como sigue:

1. Se toman todos los lotes similares (lotes con las mismas características). Si hay datos suficientes de más de seis lotes de la misma granja, se tomarán esos como similares. Esto se debe a que siempre van a ser más representativos los datos que pertenezcan a la misma granja (ver apartado 1). En caso contrario se tomarán datos de todas las granjas.
2. Para cada lote se calcula:
 - a. Cantidad diaria de animales (animales iniciales – animales muertos).
 - b. Cantidad de pienso pedida para esos animales.
3. Finalmente se calcula el índice de consumo.

Los índices de mortalidad se calculan:

1. Se recuperan todos los lotes similares (mismas características). Si hay datos de más de seis lotes similares en la misma granja, se recuperan sólo los lotes similares de esa granja. Sino, se toman todos los lotes similares (de cualquier granja).
2. Para cada lote se calcula:
 - a. Porcentaje diario de mortalidad.
3. La salida la media del porcentaje diario de mortalidad de cada lote.

Como salida de este sistema se generan varios tipos de información: combinaciones de pienso consumido, distribución de las características de las aves, asociaciones de características-combinaciones, datos de test y entrenamiento lo más adecuados posible e índices de consumo y mortalidad. Este proceso de recuperación será repetido una vez al año. Es así debido a que el proceso dura un mínimo de siete horas, además de que se considera que tras este tiempo es cuando los datos han podido sufrir algún cambio cuantificable. La entrada del primer subsistema son los datos filtrados descritos anteriormente. Una vez que se recuperan los datos se procesarán estadísticamente para obtener las posibles combinaciones de piensos que las aves consumirán. Esta tarea procesa los datos y muestra las posibles combinaciones de tipos de piensos, su orden (que pienso se consume antes de que otro), y un factor de confianza que indica el porcentaje de animales que consumen esta combinación.

Esta información se usará como entrada del siguiente subsistema.

3.2. Subsistema dos: Cálculo de cantidad de pienso por tipo

Una vez se establece los posibles tipos de pienso que un lote de aves puede consumir, es necesario estimar la cantidad total, en este caso, los kilogramos totales. Este sistema tomará las características de los animales, los tipos de pienso, la semana del año y el código de la granja; con estos datos va a hacer un test contra el modelo inteligente, éste debería devolver una cantidad de pienso por cada tipo. La Tabla 1 muestra las características de los datos. Hay que destacar que solamente hay cuatro atributos numéricos, un hecho muy importante a la hora de la selección del método de predicción. M5P es el modelo de aprendizaje usado, que se explica en la sección 2.1. En concreto, el modelo usado es un árbol con poda que usa predicciones suavizadas. Es un modelo arbóreo en lugar de un árbol de regresión lineal. Se usan como mínimo cuatro instancias por hoja. Se usan estos parámetros debido a que son los que proporcionan mejores resultados.

La técnica de inteligencia artificial usada es un sistema basado en reglas aunque hay algunos casos en los que el test no puede devolver un resultado. En el sistema desarrollado no se puede permitir el no mostrar un resultado, por este motivo se ha seleccionado otro modelo, el modelo IBk. Este modelo de aprendizaje se describe en la sección 2.2, en concreto el modelo no usa vecinos ponderados por el inverso de su distancia, el número de vecinos más cercanos para la clasificación es 1. IBK usa el error medio absoluto, las instancias de entrenamiento se eliminan en un modo FIFO y el algoritmo de búsqueda de del vecino más cercano es la distancia euclídea.

Tabla 1. Atributos y tipos del conjunto de datos.

Nombre del atributo	Tipo
Código de la granja	Nominal
Raza	Nominal
Actividad	Nominal

Subactividad	Nominal
Tipo	Nominal
Semana del año	Nominal
Código del artículo	Nominal
Número de aves mixto	Numérico
Número de aves macho	Numérico
Número de aves hembra	Numérico
Cantidad	Numérico
Nombre del atributo	Tipo
Código de la granja	Nominal
Raza	Nominal
Actividad	Nominal
Subactividad	Nominal

Implementación

Para usar estas técnicas de inteligencia artificial se ha manejado la librería de “rapidMiner” [5]. Se ha separado la generación del modelo del test. El modelo va a ser generado una vez al año mientras que el test se aplica con todos los lotes nuevos. Desde el código se cargan las librerías de “rapidMiner” y se ejecuta. Para la generación del modelo se carga un fichero de entrenamiento que se añade al contenedor principal, después se crea un objeto “aprendiz” con la técnica de inteligencia a generar, finalmente se aplica el modelo “escritor” que ha sido creado previamente. Este “escritor” va a generar un fichero que almacena información acerca del modelo. Para la predicción se carga, junto con los parámetros establecidos, el modelo generado anteriormente. Después se añaden a la clase del operador principal tanto el modelo como el conjunto de entrenamiento preformateado. Finalmente se parsean las muestras a predecir para obtener las cantidades totales finales.

Resultados de la predicción

Como se ha explicado anteriormente, los datos usados para el estudio son los recogidos diariamente para las variables enumeradas, durante dos años (2006-2008), con 5112 registros. Basándose en otros estudios se ha decidido usar un proceso de cross-validación. El prototipo usado en este experimento ha sido configurado para predecir cantidades totales de pienso consumido durante toda la vida de un lote.

Se han usado varias técnicas basadas en redes neuronales. En la Tabla 2 se muestra una lista de valores de correlaciones que muestran como el método M5P (0,921) es el que puede devolver una predicción más similar a los datos reales. El Perceptron Multicapa es la peor técnica para este caso. La misma tabla también muestra la correlación cuadrática entre los datos reales y los datos predichos por cada modelo. Una vez más el método M5P alcanza los mejores resultados con un índice de 0,849 de correlación cuadrática. Esto implica que este método va a ser el que mejores resultados proporcione. El método REPTree también produce buenos resultados, mientras que RBF y el Perceptron Multicapa obtienen peores valores.

Tabla 2. Correlación para la predicción.

Método	Correlación	Correlación Cuadrática	MAE	MRE
M5P	0,921	0,849+/- 0,032	5,072.231	1.017
REPTree	0.901	0.848 +/- 0.040	5,698.905	0.641
RBF	0.156	0.028 +/- 0.017	17,798.602	9.007
Perceptrón Multicapa	0,048	0,002 +/- 0.039	56,603.333	9.192

Para los resultados referentes a errores es importante tener en cuenta los datos descritos. Hay una media de 3.000 animales por lote, cada uno de los lotes puede llegar a consumir hasta 100.000 quilos de cada pienso, por lo que un error de 5.000 quilos por cada pienso no tiene porqué considerarse un grave error. Siguiendo esto, M5P una vez más alcanza los mejores resultados según el error absoluto. El perceptrón no consigue buenos resultados.

Si tenemos en cuenta el error relativo la mejor técnica es REPTree, ya que alcanza el índice mínimo de error relativo. RBF y Perceptron Multicapa presentan los peores resultados; una vez más M5P tiene un pequeño error relativo. Se puede concluir que M5P y REPTree tienen los mejores resultados.

La Tabla 3 muestra una comparativa de resultados estadísticos. En esta tabla resulta interesante el skewness estandarizado y la kurtosis estandarizada, que pueden usarse para determinar si las muestras pertenecen a una distribución normal. Si los valores de estos estadísticos están fuera del rango -2 a +2 indica que hay desviaciones con respecto a la normal, lo que puede invalidar los test que comparan las desviaciones estándar. En este caso, todas las muestras tienen estos valores fuera de los rangos normales. Según esto no se pueden hacer comparativas como el F-test.

Tabla 3. Comparativa de resultados de índices estadísticos.

Cantidad	Media	Varianza	Desviación Estándar	Skewness	Kurtosis	Mediana
Real	28980,7	5,63985E8	23748,4	47,094	41,1935	21255,0
M5P	28990,0	5,16356E8	22723,5	44,9643	33,364	22129,0
REPTree	28980,7	5,07904E8	22536,7	40,6224	20,4876	21998,0
RBF	28993,4	3,45568E6	1858,94	-13,2058	-25,6838	30490,0
Perceptron	130428,0	1,14895E8	10718,9	-45,9606	438,319	125574,0

Se pueden comparar los resultados del Perceptron Multicapa con los resultados reales, usando un test de Mann-Whitney (Wilcoxon) W que compara medianas, el rango real de la media de la muestra es 2572,41 y del perceptron es 7648,59; teniendo esto en cuenta W es 2,60257E7 y el p-valor es 0,0. Debido a que el p-valor es menor que 0,05, hay una diferencia estadísticamente significativa entre medianas en el nivel de confianza de 95%.

En el test de Kolmogorov-Smirnov que compara las distribuciones de dos muestras, el estadístico estimado general DN es 0,986693, la muestra estadística K-S es 49,8744 y el valor aproximado de P es 0,0. Este test se desarrolla calculando la máxima distancia entre las distribuciones acumuladas de dos muestras. En este caso, la distancia máxima es 0,98693. De particular interés es el p-valor aproximado para el test 0,0. Ya que el p-valor es menor que 0,05, hay una diferencia estadística entre las dos distribuciones en el nivel de confianza del 95%.

Tabla 4. Comparativa de resultados de índices estadísticos.

Cantidad	Intervalo al 95%	Intervalo al 95% para diferencia de medias.*	p - valor
Real	28980,7	5,63985E8	23748,4
M5P	28990,0	5,16356E8	22723,5
REPTree	28980,7	5,07904E8	22536,7
RBF	28993,4	3,45568E6	1858,94
Perceptron	130428,0	1,14895E8	10718,9

*asumiendo varianzas iguales.

La Tabla 4 muestra una comparativa de los resultados obtenidos al realizar este test, hay que tener en cuenta que los intervalos para diferencia de medias se realizan sobre los métodos probados con respecto a los datos reales. Si se obtiene un p-valor inferior a 0,05 indica que no hay similitud entre las muestras. En este caso eso ocurre para los resultados obtenidos con el perceptron.

Como conclusión se puede decir que la solución propuesta, usando el método M5P, proporciona una estrategia efectiva para la predicción en un entorno en el que no hay demasiadas variables a tener en cuenta y entre las que no existe una relación directa. El modelo aquí presentado se va a usar en la empresa Coren para una mejoría en el desarrollo del negocio.

4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

La buena estimación del consumo total junto con la excelente gestión de los envíos del algoritmo ad-hoc desarrollado han producido una gran reducción de las devoluciones. Además, los repartos al cliente han sido optimizados. Esto implica una gran reducción de costes por parte de la empresa ya que la flota de camiones necesarios ha sido reducida y los viajes para las entregas optimizados.

REFERENCIAS

- Quinlan, J.R. (1986). Induction of decision trees. *Machine Learning*, 1, 81-106.
- Quinlan, J.R. (1987). Generating production rules from decision trees. *Proceedings of the Tenth International Joint Conference on Artificial Intelligence* (pp. 304-307). Milan, Italy: Morgan Kaufmann.
- Quinlan, J.R. (1988). An empirical comparison of genetic and decision-tree classifiers. *Proceedings of the Fifth International Conference on Machine Learning* (pp. 135-141). Ann Arbor, MI: Morgan Kaufmann.
- Quinlan, J.R., Compton, P.J., Horn, K.A., & Lazurus, L. (1986). Inductive knowledge acquisition: A case study. *Proceedings of the Second Australian Conference on Applications of Expert Systems*. Sydney, Australia.
- Quinlan, J.R. "The open-source data mining library ", www.rapidminer.com. Accedido 20/06/2009.

La Distribución del Tamaño de las Ciudades Gallegas

Faustino Prieto¹, José María Sarabia²

¹faustino.prieto@unican.es, Departamento de Economía, Universidad de Cantabria

²sarabiaj@unican.es, Departamento de Economía, Universidad de Cantabria

RESUMEN

La distribución clásica de Pareto y la distribución Pareto Estable Positiva (PPS) describen una regularidad estadística entre el tamaño y el rango de un conjunto de datos. En el presente trabajo se realiza un estudio empírico de la distribución del tamaño de las ciudades gallegas, en cuanto a número de habitantes, y se comprueba la validez de la distribución clásica de Pareto en la cola alta de la distribución y de la distribución PPS en todo el rango de la misma.

Palabras y frases clave: Distribución Pareto, Distribución Pareto Estable Positiva, Distribución PPS, Tamaño de Ciudades

1. INTRODUCCIÓN

La distribución clásica de Pareto y la distribución Pareto Estable Positiva (PPS) describen una regularidad estadística entre el tamaño y el rango de un conjunto de datos. Por un lado, la distribución clásica de Pareto suele cumplirse sólo en la cola alta de la distribución (Newman, 2005), debido a la existencia de un factor de heterogeneidad en la mayoría de los fenómenos de naturaleza estocástica. Por otro lado, la distribución PPS (Sarabia y Prieto, 2009), la cual incluye a la distribución clásica de Pareto como un caso particular, modeliza dicha heterogeneidad subyacente, por lo que su validez puede extenderse a todo el rango de la distribución.

La distribución Pareto Estable Positiva (PPS) se define en términos de función de distribución $F(x) = \Pr(X \leq x)$, de la siguiente forma:

$$F(x) = \begin{cases} 1 - \exp\{-\lambda[\log(x/\sigma)]^\nu\}, & \text{si } x \geq \sigma, \\ 0, & \text{si } x < \sigma, \end{cases} \quad (1)$$

donde $\lambda, \sigma, \nu > 0$, siendo λ y ν parámetros de forma y σ un parámetro de escala. Una variable aleatoria con función de distribución dada por la ecuación (1) se denota como $X \sim PPS(\lambda, \sigma, \nu)$.

La clase definida en la ecuación (1) incluye dos importantes casos particulares: la distribución clásica de Pareto ($\nu = 1$), en cuyo caso $\mathcal{PPS}(\lambda, \sigma, 1) \equiv \mathcal{Pa}(\lambda, \sigma)$; y la ley de Zipf ($\lambda = \nu = 1$).

La distribución PPS ha sido analizada en detalle en Sarabia y Prieto (2009). El origen doble de dicha distribución, pudiéndose obtener mediante la mezcla de la distribución clásica de Pareto con la distribución estable positiva (Feller, 1971) o también mediante una transformación monótona de la distribución Weibull (Balakrishnan y Nevzorov, 2003; Castillo et al, 2005); sus propiedades básicas, como por ejemplo, la admisión de situaciones de cero y unimodalidad, la función de cuantiles, los momentos de orden r respecto del origen, los momentos del logaritmo; las medidas descriptivas basadas en cuantiles; diversos procedimientos que permiten su ajuste, pudiéndose obtener estimadores de momentos, de regresión y de máxima verosimilitud; así como un método sencillo de validación gráfica del modelo; son ampliamente expuestos en dicho trabajo. Indicar que la función densidad de la distribución PPS viene dada por:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\lambda\nu[\log(x/\sigma)]^{\nu-1}}{x} \exp\{-\lambda[\log(x/\sigma)]^\nu\}, & \text{si } x \geq \sigma, \\ 0, & \text{si } x < \sigma, \end{cases} \quad (2)$$

Finalmente, destacar la utilización que en la literatura se hace del denominado gráfico log-log como un método gráfico sencillo para observar la validez del ajuste de las distribuciones indicadas. Dicho método consiste en ordenar de menor a mayor los datos de tamaño, a partir de los cuales se obtiene la función de distribución empírica, y representar en escala logarítmica, el $\text{Log}(\text{tamaño})$ en el eje de abscisas y el $\text{Log}(\text{rango})$ en el eje de ordenadas.

En el presente trabajo se efectúa un estudio empírico de la distribución del tamaño de las ciudades gallegas, en cuanto a número de habitantes, y se proporciona evidencia empírica de la validez de la distribución clásica de Pareto en la cola alta de la distribución, así como de la validez de la distribución PPS como modelo descriptivo del tamaño de las ciudades gallegas en todo el rango de la distribución.

2. ESTUDIO EMPÍRICO DE LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE LAS CIUDADES GALLEGAS

En el presente trabajo, se ha considerado el siguiente conjunto de datos: cifras oficiales de población de los 315 municipios gallegos, desde el año 1999 hasta el año 2008, resultantes de la Revisión del Padrón municipal a 1 de enero de cada año, publicadas por el Instituto Nacional de Estadística (INE). Destacar que hasta el momento no hay acuerdo en la literatura científica sobre la definición de ciudad, por tanto, se adopta la definición dada por Anderson y Ge (2005) de ciudad como entidad local administrativa y jurisdiccional, es decir, el municipio, coincidiendo con el criterio de publicación del INE. El Cuadro 1 muestra la evolución de la población total en Galicia así como la evolución de Negueira de Muñiz y de Vigo, las cuales han sido, en los años analizados, respectivamente la ciudad más pequeña y más grande de Galicia.

Table 1: Información relativa al conjunto de datos utilizado.

Año	Ciudad menos poblada Negueira de Muñiz (habitantes)	Ciudad más poblada Vigo (habitantes)	Población total en Galicia (habitantes)
1999	271	283.670	2.730.337
2000	261	285.526	2.731.900
2001	239	287.282	2.732.926
2002	233	288.324	2.737.370
2003	237	292.566	2.751.094
2004	235	292.059	2.750.985
2005	230	293.725	2.762.198
2006	213	293.255	2.767.524
2007	222	294.772	2.772.533
2008	221	295.703	2.784.169

Para dicho conjunto de datos, y considerando las ciudades gallegas de más de 4.000 habitantes, se ha ajustado en primer lugar la cola alta de la distribución, mediante el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), utilizando como modelo la distribución clásica de Pareto. En el Cuadro 2 se presentan los estimadores MCO obtenidos para cada año, \hat{C}_2 y $\hat{\lambda}$, junto con los correspondientes valores del error estándar de la regresión al cuadrado $\hat{\sigma}^2$, del criterio de información de Akaike (*CIA*), del criterio de información de Schwarz (*CIS*), y del coeficiente ajustado de determinación \bar{R}^2 . Se verifica, con la extraordinaria cercanía a cero de los valores de $\hat{\sigma}^2$, *CIA* y *CIS*, y con la igualmente cercanía a la unidad del valor de \bar{R}^2 , la validez de la distribución clásica de Pareto en la cola alta de la distribución. Dicha validez se puede comprobar gráficamente en la Figura 1, la cual muestra el gráfico log-log para cuatro de los diez años considerados.

Finalmente, con respecto a todo el rango de la distribución, se ha ajustado el conjunto de datos formado por todas las 315 ciudades gallegas en los diez años considerados, mediante el método de máxima verosimilitud, utilizando como modelo la distribución PPS. En el Cuadro 2 se presentan los parámetros estimados $\hat{\lambda}$, $\hat{\sigma}$ y $\hat{\nu}$ para cada año, así como los correspondientes errores estándar estimados para cada parámetro en cada año. Destacar los valores obtenidos de $\hat{\nu}$ distintos a la unidad, lo cual confirma la no validez de la distribución clásica de Pareto en todo el rango de la distribución. En la figura 3, se muestra el gráfico log-log correspondiente a cuatro de los diez años considerados, pudiéndose ver la bondad de ajuste alcanzada con la distribución PPS. Puede observarse en dicha figura dos desviaciones del modelo PPS propuesto. La primera desviación aparece en la cola alta de la distribución y corresponde a las siete ciudades más grandes de Galicia, las cuales ordenadas de mayor a menor población son Vigo, A Coruña, Ourense, Lugo, Santiago de Compostela, Pontevedra y Ferrol. Dichas ciudades tienen más población que lo que la distribución

Table 2: Estimación MCO de la distribución clásica de Pareto. Ciudades gallegas de más de 4.000 habitantes.

Año	\hat{C}_2	$\hat{\lambda}$	$\hat{\sigma}^2$	<i>CIA</i>	<i>CIS</i>	\bar{R}^2
1999	15,0228	1,2014	0,014504	0,014693	0,015287	0,983776
2000	14,9658	1,1952	0,013849	0,014030	0,014597	0,984509
2001	14,9231	1,1904	0,013423	0,013601	0,014156	0,984970
2002	14,8569	1,1831	0,013100	0,013274	0,013818	0,985325
2003	14,7694	1,1732	0,011666	0,011826	0,012319	0,986903
2004	14,7264	1,1685	0,010681	0,010828	0,011282	0,988003
2005	14,6850	1,1634	0,009944	0,010082	0,010506	0,988824
2006	14,6254	1,1566	0,009488	0,009620	0,010025	0,989336
2007	14,5983	1,1533	0,009391	0,009522	0,009925	0,989440
2008	14,5343	1,1459	0,009034	0,009161	0,009548	0,989841

PPS predice de forma teórica. Este hecho empírico ya fue observado por Gabaix (1999) quien lo justificó considerando a las ciudades capitales de una región como objetos particulares, como atípicos, que ejercen un efecto llamada extra. La segunda desviación aparece en la cola baja de la distribución y corresponde a la ciudad de Negueira de Muñiz la cual tiene una población atípica diferenciada del resto, más baja de lo esperado, tal como puede observarse gráficamente, lo que ha hecho que esté fuera del ajuste realizado.

Table 3: Estimación mediante máxima verosimilitud de la distribución PPS. Ciudades gallegas.

Año	$\hat{\lambda}$	$\hat{\nu}$	$\hat{\sigma}$	$STE(\hat{\lambda})$	$STE(\hat{\nu})$	$STE(\hat{\sigma})$
1999	0,1439	2,2822	528,1942	0,0279	0,1325	37,3025
2000	0,1511	2,2495	535,7305	0,0290	0,1315	37,5201
2001	0,1485	2,2488	523,6479	0,0282	0,1303	36,1009
2002	0,1485	2,2386	515,1856	0,0282	0,1300	35,6943
2003	0,1458	2,2334	499,4311	0,0277	0,1292	34,4828
2004	0,1490	2,2129	498,2070	0,0280	0,1282	34,0872
2005	0,1470	2,2103	488,1420	0,0277	0,1282	33,6710
2006	0,1494	2,1910	484,7318	0,0276	0,1261	32,5676
2007	0,1524	2,1741	484,9591	0,0259	0,1187	28,3708
2008	0,1468	2,1827	468,0766	0,0260	0,1215	29,2140

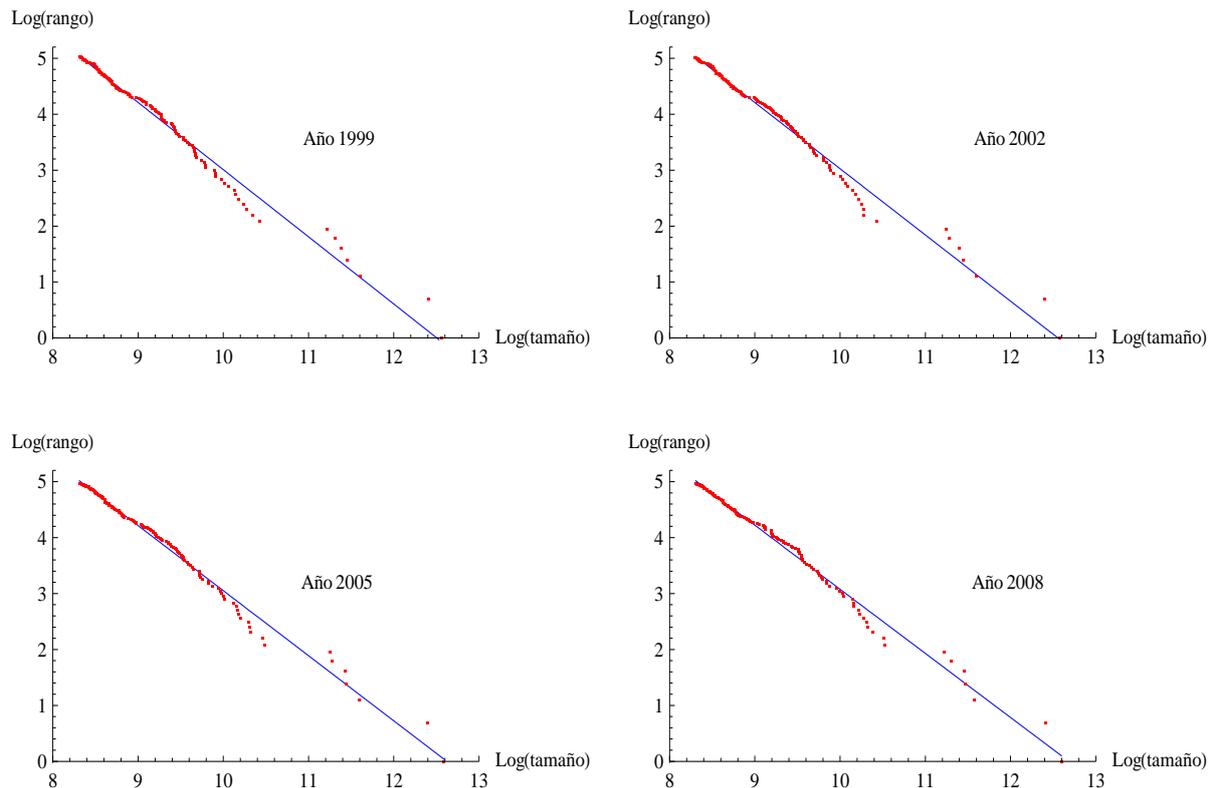


Figure 1: Gráfico log-log correspondiente al ajuste de la distribución clásica de Pareto (línea continua) a datos de ciudades gallegas de más de 4.000 habitantes (Años: 1999, 2002, 2005 y 2008).

3. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones del presente trabajo son:

- El tamaño de las ciudades gallegas, en cuanto a número de habitantes, sigue una distribución clásica Pareto en la cola alta de la distribución.
- El tamaño de las ciudades gallegas, en todo el rango de la distribución formado por 315 ciudades, sigue una distribución Pareto Estable Positiva (PPS) con desviaciones en las siete ciudades más grandes, las cuales cuentan con una población superior a lo esperado, y en la ciudad más pequeña, la cual cuenta con una población menor de lo esperado.

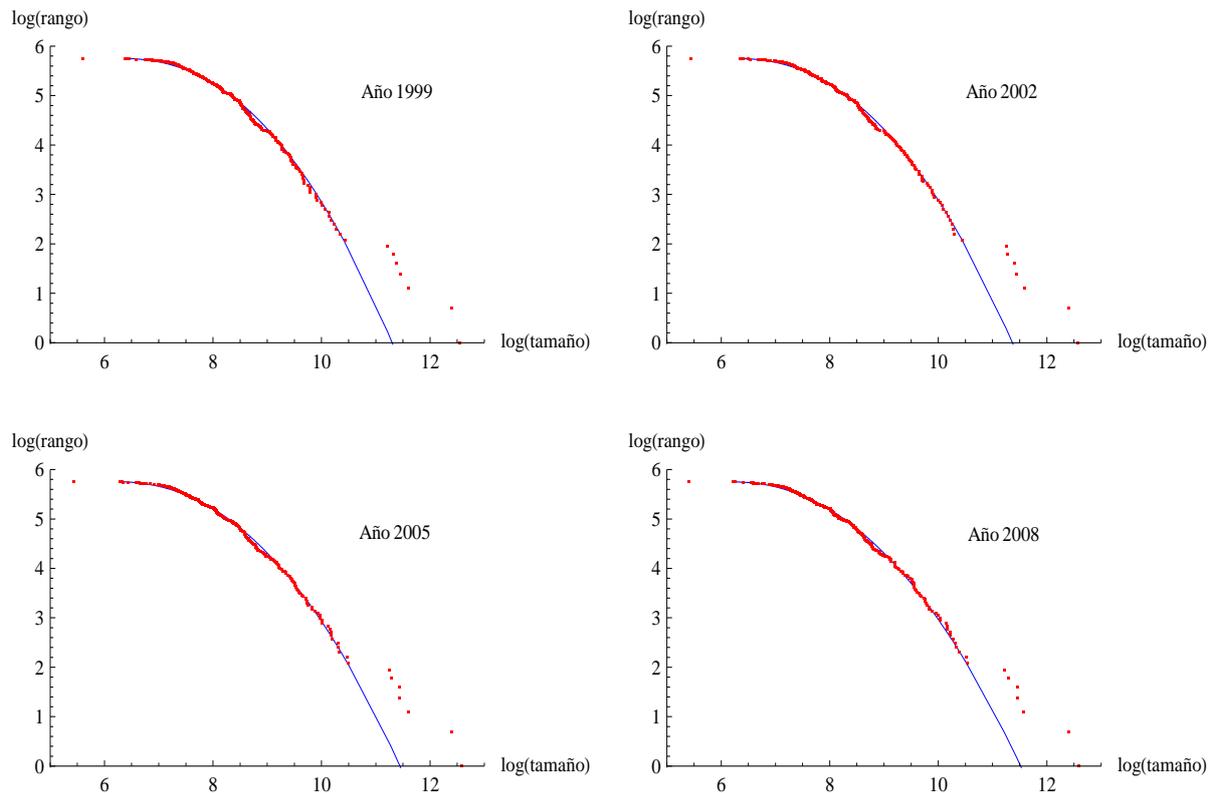


Figure 2: Gráfico log-log correspondiente al ajuste de la distribución PPS(línea continua) a datos de todas las ciudades gallegas (Años: 1999, 2002, 2005 y 2008).

REFERENCIAS

- Anderson, G. and Ge, Y. (2005) The size distribution of Chinese cities. *Regional Science and Urban Economics*, 35, 756-776.
- Balakrishnan, N. and Nevzorov, V.B. (2003) *A primer on statistical distributions*, John Wiley, New York.
- Castillo, E., Hadi, A.S., Balakrishnan, N. and Sarabia, J.M. (2005) *Extreme value and related models with applications in Engineering and Science*, John Wiley, New York.
- Feller, W. (1971) *An introduction to Probability Theory and its applications*, vol, 2, second ed., John Wiley, New York.
- Gabaix, X. (1999) Zipf's law for cities: An explanation. *Quarterly Journal of Economics*, 114(3), 739-767.
- Newman, M.E.J. (2005) Power laws, Pareto distributions and Zipf's law. *Contemporary Physics*, 46, 323-351.
- Sarabia, J.M. and Prieto, F. (2009) The Pareto-positive stable distribution: A new descriptive model for city size data. *Physica A*, 388, 4179-4191.

LA RELACIÓN ENTRE EL DESARROLLO DE LA CUERNA DEL CORZO Y SU DENSIDAD ÓSEA SEGÚN LA EDAD, LA MORFOLOGÍA Y LA GENÉTICA

Ramil Novo, L. A.¹; Rigueira Rey, L.²; Gonzalo Orden, J. M.³ y Fidalgo Álvarez, L. E.⁴

1 Departamento de Estatística e Investigación Operativa. Facultade de Ciencias de Lugo. Universidade de Santiago de Compostela

2, 4 Departamento de Ciencias Clínicas Veterinarias. HUV Rof Codina. Facultade de Veterinaria. Universidade de Santiago de Compostela

3 Departamento de Medicina, Cirugía y Anatomía Veterinaria. Facultad de Veterinaria. Universidad de León

RESUMEN

Examinamos aquí la relación entre el CIC objetivo (índice reconocido del desarrollo de la cuerna) y varias determinaciones de la densidad ósea de la misma, L1 (en la vara de la cuerna), L2 (en la roseta), L3 (en el pivote) y L1L3 (entre el pivote y la vara de la cuerna). El análisis se centra en detectar las posibles diferencias entre grupos de corzos definidos por la edad, la morfología de la cuerna y el clado genético. En primer lugar se presentan las conclusiones de un análisis exploratorio preliminar basado en la comparación de rectas de regresión. A continuación se discuten las comparaciones de grupos llevadas a cabo mediante modelos de regresión múltiple basados en las variables originales y en transformaciones de las mismas. El estudio finaliza con la propuesta de modelos de regresión y de análisis de la covarianza para obtener ajustes de la relación entre el CIC objetivo y cada una de las densidades en cada grupo.

Palabras y frases clave: capreolus; densidad ósea; desarrollo de la cuerna; regresión; F test; ANCOVA.

1. INTRODUCCIÓN

El corzo (*Capreolus capreolus*) es un mamífero de la familia de los cérvidos y se caracteriza, como el resto de la familia taxonómica, por la presencia, en los machos adultos, de unas pequeñas cuernas que mudan o renuevan anualmente.

En épocas recientes se ha especulado mucho con la posibilidad de diferencias genéticas (de peso, medidas, etc.) entre las poblaciones corceras de diferentes lugares geográficos. Uno de los aspectos de mayor interés en la actualidad es el estudio de la relación de la genética con el desarrollo de la cuerna, sobre todo ante la expectativa de los gestores cinegéticos de poder conseguir y ofrecer a los cazadores corzos con “buenos trofeos” de forma rápida.



Pese a todo, son muy pocos los estudios realizados sobre el corzo en el marco peninsular y mucho menos los destinados al estudio de las causas que intervienen en el desarrollo de la cuerna. Con el presente trabajo pretendemos abordar el estudio de algunos de los factores que pueden tener relación con el desarrollo de la cuerna. Nos centramos, en particular, en el examen de la posible influencia de la edad, la morfología de la cuerna y la genética. Para reflejar de forma numérica el desarrollo de la cuerna decidimos adoptar los criterios empleados por las comisiones de homologación de trofeos y aceptados internacionalmente, siguiendo las normas del *Conseil International de la Chasse et de la Conservation du Gibier* (CIC) (Notario 2002). Esta puntuación CIC se obtiene a partir de parámetros objetivos de la cuerna (como la longitud, el peso, etc.) y también algunos otros parámetros subjetivos como el color, el perlado etc. Los parámetros objetivos reflejan más del 80% de la puntuación final y en nuestra opinión son los que realmente reflejan el desarrollo de la cuerna. Por ello, en este estudio nos quedamos solamente con los aspectos cuantificables objetivamente, los cuales hemos recogido conjuntamente en un índice al que hemos denominado “CIC objetivo”.

La influencia en el CIC objetivo de los factores de interés, la edad, la morfología de la cuerna y la genética, se estudia examinando la relación de aquel con las densidades óseas L1, L2, L3 y L1L3 en grupos definidos por los factores.

La muestra de corzos estudiada la forman ejemplares de las provincias de Lugo (la mayoría) y A Coruña, pero por su composición se puede considerar que refleja bien la población corzuna del noroeste peninsular. Los corzos de la muestra inicial se clasificaron según los niveles de los tres factores mencionados: la edad (joven o adulto), la morfología de la cuerna (normal, atípica, deforme y en crecimiento) y el grupo genético (Oeste, Central I y Central II, véase Lorenzini y Lovari (2006)). En algunos ejemplares no se obtuvo la clasificación genética, y en los animales con cuerna en crecimiento no es posible hacer una valoración del CIC objetivo, por lo que estos casos fueron excluidos de la muestra, quedando finalmente un total de 87 corzos a considerar (véase la Figura 1). Un análisis exploratorio preliminar permitió observar (véase la Figura 2) que los corzos con una cuerna deforme tienen asignado un CIC objetivo claramente inferior y con menor variabilidad que las otras dos tipologías de cuerna. Por este motivo, dicha categoría será excluida de los análisis estadísticos subsiguientes ya que requieren la hipótesis de homocedasticidad (o de varianza constante). En lo sucesivo, se considera pues la muestra de $n = 78$ corzos resultante de eliminar los ejemplares de cuerna deforme en el colectivo representado en la Figura 1.

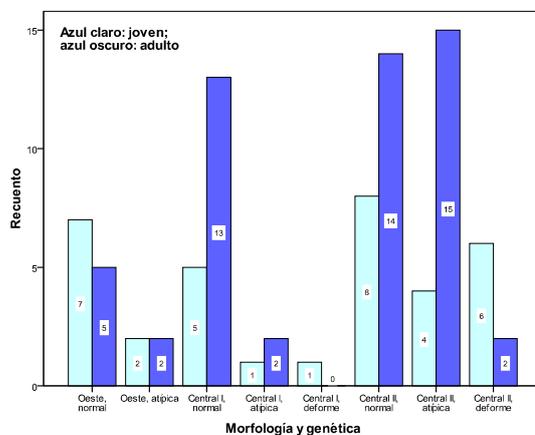


Figura 1. Composición de la muestra incluyendo los de cuerna deforme ($n=87$ corzos)

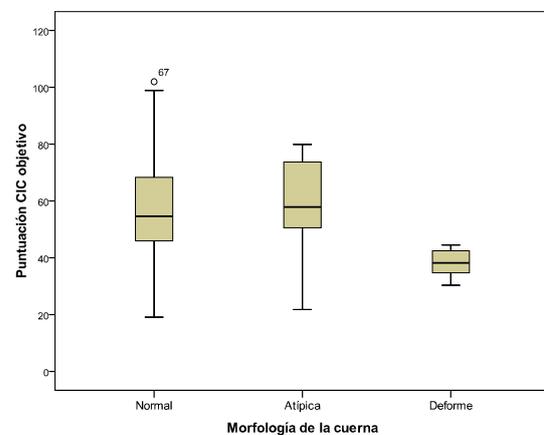


Figura 2. Gráfico de cajas para la muestra de los 95 corzos con CIC objetivo

2. ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE CADA FACTOR EN LA RELACIÓN ENTRE EL CIC OBJETIVO Y CADA DENSIDAD ÓSEA

Pretendemos en esta sección detectar diferencias entre grupos de corzos examinando la relación lineal entre el CIC y cada una de las densidades óseas L1, L2, L3 y L1L3. La comparación entre los grupos definidos por los niveles de un factor (la edad, la morfología o la genética), se hará examinando si existen diferencias significativas entre las rectas que describen la tendencia con la que cambia el CIC objetivo en función de cada una de las densidades óseas. En la Figura 3 se muestran, a modo de ejemplo, algunos ajustes de la relación CIC objetivo – densidad L1L3, identificando en los datos los grupos a comparar en cada caso.

Con cada factor, la comparativa se llevó a cabo siguiendo el esquema de contrastes de hipótesis de la Figura 4, en el que se resumen los tres casos a los que puede conducir el proceso de comparación.

Para comparar los tres grupos genéticos se consideró el modelo de regresión, $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1 X_2 + \beta_5 X_1 X_3 + \varepsilon$, en donde X_1 es el valor de la densidad ósea considerada, mientras que X_2 es una variable binaria que indica la pertenencia o no al grupo Central I, y X_3 es la variable binaria indicadora de si el corzo es o no Central II. Dicho modelo se tomó como referencia en el contraste de igualdad de las tres rectas y en el contraste de paralelismo de las tres rectas (véase la Tabla 1, y los resultados de los tests asociados en la Tabla 2, columnas $H_0^{(iii)}$ y $H_0^{(iv)}$).

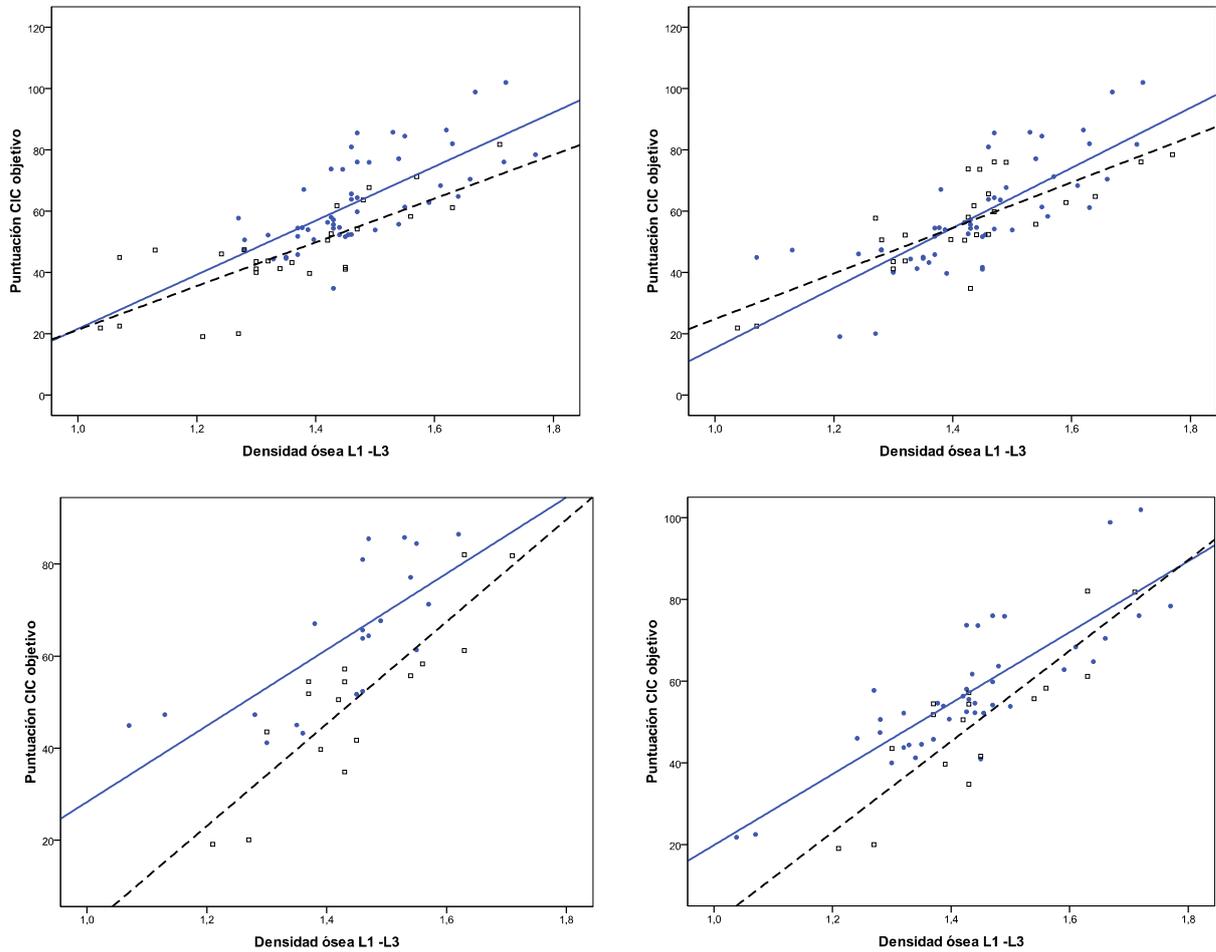


Figura 3. Rectas mínimo cuadráticas del CIC objetivo frente a LIL3. Arriba-izquierda, edad: adultos, círculos y trazo continuo; jóvenes, cuadrados y trazo discontinuo. Arriba-derecha, morfología de la cuerna: normal, círculos y trazo continuo; atípica, cuadrados y trazo discontinuo. Abajo, pares de grupos genéticos: Izquierda: Central I con círculos y trazo continuo; Oeste, cuadrados y trazo discontinuo a rayas. Derecha: Central II con círculos y trazo continuo; Oeste, cuadrados y trazo discontinuo a rayas.

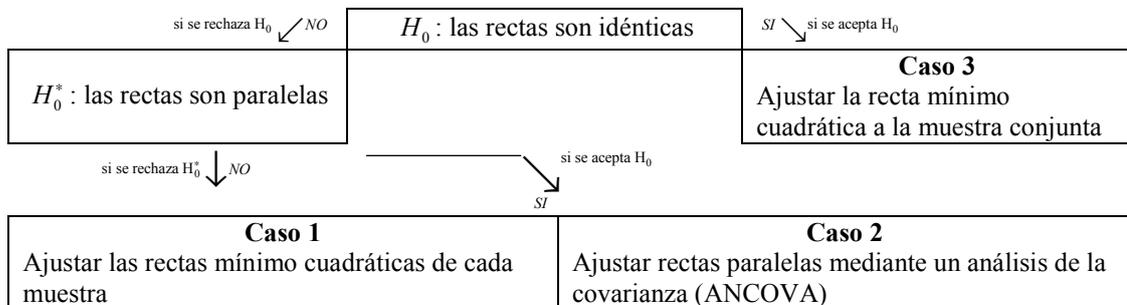


Figura 4. Procedimiento utilizado para la comparación de rectas de regresión

La comparación de dos grupos genéticos, digamos A y B (se precisan en las hipótesis $H_0^{(v)}$, $H_0^{(vi)}$ y $H_0^{(vii)}$ de la Tabla 1) se llevó a cabo con los datos de las muestras de ambos grupos y el modelo de regresión, $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_1 X_2 + \varepsilon$, en donde X_2 es una variable indicadora de si el corzo es del grupo A o del B, y X_1 es el valor de la densidad ósea considerada. Los resultados de los test basados en dicho modelo se presentan en la Tabla 2 en las columnas $H_0^{(v)}$, $H_0^{(vi)}$ y $H_0^{(vii)}$.

El modelo de regresión anterior se consideró también para la comparación de los dos grupos de edad (A=adulto y B=joven) y de los dos grupos definidos por la morfología de la cuerna (A=normal y B=atípica). Los resultados de los tests para contrastar las hipótesis de igualdad y paralelismo en el caso de la edad y de igualdad en el caso de la morfología de la cuerna (véase la Tabla 1), se recogen también en la Tabla 2.

Para el contraste de cada una de las hipótesis nulas (frente a la hipótesis contraria respectiva) de la Tabla 1 se aplicó el correspondiente F test basado en la suma extra de cuadrados (véase Montgomery et al. (2002)). Dicho test compara el modelo de regresión reducido (el que resulta de asumir la hipótesis nula considerada) con el modelo de regresión completo mediante el cociente, $F = [g/(g_0 - g)](SS_{Res}^0 - SS_{Res})/SS_{Res}$, en donde SS_{Res}^0 y SS_{Res} son las sumas de cuadrados residuales, y g_0 y g son los grados de libertad, asociados al modelo reducido y al completo respectivamente.

Tabla 1. Hipótesis nulas de los contrastes de comparación de rectas de regresión

$H_0^{(i)}$: la recta del grupo joven es igual a la del grupo adulto
$H_0^{(ii)}$: la recta del grupo joven es paralela a la del grupo adulto
$H_0^{(iii)}$: las rectas de las tres variantes genéticas son iguales
$H_0^{(iv)}$: las rectas de las tres variantes genéticas son paralelas
$H_0^{(v)}$: las rectas del grupo Oeste y Central I son iguales
$H_0^{(vi)}$: las rectas del grupo Oeste y Central II son iguales
$H_0^{(vii)}$: las rectas del grupo Central I y Central II son iguales
$H_0^{(viii)}$: la recta del grupo con cuerna normal es igual a la del grupo de cuerna deforme

Los F tests considerados se basan en modelos estadísticos en los que se asume que los errores experimentales son independientes (lo que está garantizado por la naturaleza de los datos), de varianza constante y siguen una distribución aproximadamente normal. La compatibilidad de los datos con estas dos últimas hipótesis se comprobó, en cada uno de los modelos de regresión utilizados, mediante el correspondiente análisis de los residuos, incluyendo el test de homocedasticidad de Levene (véase SPSS Inc (2007)). Por brevedad, no presentamos los resultados de dichas comprobaciones, si bien en los casos en los que se observaron incompatibilidades, describimos las transformaciones de los datos llevadas a cabo para evitarlas.

Tabla 2. Niveles de significación críticos de los tests para las comparaciones de rectas de la Tabla 1 con las diferentes densidades óseas como covariable

Respuesta	Variable X_1	$H_0^{(i)}$	$H_0^{(ii)}$	$H_0^{(iii)}$	$H_0^{(iv)}$	$H_0^{(v)}$	$H_0^{(vi)}$	$H_0^{(vii)}$	$H_0^{(viii)}$
Y	L1			0,003	0,766	0,002	0,057		0,526
Y	L2	0,057	0,957	0,016	0,624	0,004	0,032	0,376	0,631
Y	L3	0,006	0,378	0,191	0,463	0,059	0,318	0,374	0,896
Y	L1L3	0,016	0,333	0,00037	0,436	0,0003	0,006	0,046	0,378
Ln(Y)	L1	0,000027	0,021					0,019	

El análisis comparativo anterior basado en la relación del CIC objetivo con las densidades óseas pone de manifiesto lo siguiente.

a) Los dos grupos de edad son claramente diferentes (resultados de la columna $H_0^{(i)}$), y seleccionando como covariable L2, o L3 o L1L3, las rectas de ambas edades se pueden admitir paralelas (resultados de la columna $H_0^{(ii)}$). En la comparación de edades basadas en L1 se apreció heterocedasticidad en los errores experimentales ($p=0,044$ en el test de Levene), lo que motivó la transformación $\ln(Y)$ para poder asumir la hipótesis de homocedasticidad. Se concluye que las rectas de los dos grupos de edad (de $\ln(Y)$ frente a L1) son distintas y no paralelas.

b) Los grupos genéticos no se pueden considerar homogéneos cuando se compara la relación del CIC con alguna de las densidades L1, L2 y L1L3 (véanse la columna $H_0^{(iii)}$). Existen diferencias entre todos los pares de grupos genéticos en el caso de considerar L1L3 (véanse en la fila correspondiente, las columnas $H_0^{(v)}$, $H_0^{(vi)}$ y $H_0^{(vii)}$). Con L2 como X_1 resultan significativas las diferencias del grupo Oeste con los grupos Central I y Central II (véanse en la fila correspondiente, las columnas $H_0^{(v)}$ y $H_0^{(vi)}$). Considerando L1 como X_1 resultan significativas las diferencias entre los tres pares de grupos genéticos, si bien la comparación Central I–Central II requiere transformar la variable respuesta (se consideró el $\ln(Y)$) para evitar la posible heterocedasticidad de los errores ($p=0,056$ en el test de Levene). Finalmente, con L3 de acuerdo con los resultados de la columna $H_0^{(iii)}$ no se aprecian diferencias significativas entre los grupos genéticos (si bien en las comparaciones dos a dos se aprecian indicios de posibles diferencias entre Oeste y Central I –véase la columna $H_0^{(v)}$).

c) Las diferencias entre los dos tipos de morfología de la cuerna no son significativas (resultados de la columna $H_0^{(viii)}$).

3. VISIÓN CONJUNTA DE LA RELACIÓN ENTRE EL CIC OBJETIVO Y LA DENSIDAD ÓSEA, LA EDAD Y EL GRUPO GENÉTICO

Como hemos visto en la Sección 2, la edad y la genética son los factores que conducen a características diferenciales, y dado que la composición de la muestra por edades en cada grupo genético cambia (véase la Figura 1), nuestro objetivo ahora es buscar un modelo estadístico que nos permita examinar los dos factores a la vez en el estudio de la relación entre el CIC objetivo y las densidades. Como punto de partida se consideró el siguiente modelo de regresión:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_1 X_2 + \beta_6 X_1 X_3 + \beta_7 X_1 X_4 + \varepsilon \quad (\text{ML})$$

en donde, X_1 es el valor de la densidad ósea considerada, X_2 es la variable binaria que indica la pertenencia al grupo Central I ($X_2 = 1$), X_3 es la variable binaria indicadora del grupo Central II ($X_3 = 1$), y X_4 es la variable binaria que indica si el corzo es joven ($X_4 = 1$). El grupo Oeste queda caracterizado por $X_2 = X_3 = 0$.

La función de regresión del modelo ML se corresponde con una recta en cada uno de los seis grupos resultantes de combinar cada variante genética con cada edad. Los coeficientes que definen dichas rectas se recogen en la Tabla 3.

Tabla 3. Rectas de regresión de los seis grupos definidos por la genética y la edad

	jóvenes		adultos	
	constante	pendiente	constante	pendiente
Central I	$\beta_0 + \beta_2 + \beta_4$	$\beta_1 + \beta_5 + \beta_7$	$\beta_0 + \beta_2$	$\beta_1 + \beta_5$
Central II	$\beta_0 + \beta_3 + \beta_4$	$\beta_1 + \beta_6 + \beta_7$	$\beta_0 + \beta_3$	$\beta_1 + \beta_6$
Oeste	$\beta_0 + \beta_4$	$\beta_1 + \beta_7$	β_0	β_1

En el análisis de los residuos del modelo de regresión ML cualquiera que sea la densidad (L1, L2, L3 o L1L3) considerada como X_1 , se aprecia que en base al test de Levene es aceptable la hipótesis de varianza constante del error experimental, ya que en general el nivel crítico de dicho test es $p \geq 0,10$. No obstante, en el gráfico de los residuos frente a los valores pronosticados se constata un ligero incremento de la dispersión con el valor medio si como X_1 se considera L1. Además en los gráficos de dispersión del CIC frente a algunas densidades óseas, en algunos grupos se observa la posibilidad de que la función de regresión tenga una ligera curvatura.

En base a lo anterior, examinamos a continuación dos modelos de regresión alternativos orientados a corregir las posibles desviaciones de las condiciones clásicas sobre el error experimental que dan validez a los F tests:

$$Y^* = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_1 X_2 + \beta_6 X_1 X_3 + \beta_7 X_1 X_4 + \varepsilon \quad (\text{ME})$$

e

$$Y^* = \beta_0 + \beta_1 X_1^* + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_1^* X_2 + \beta_6 X_1^* X_3 + \beta_7 X_1^* X_4 + \varepsilon \quad (\text{MP})$$

en donde, $Y^* = \ln(Y)$ y $X_1^* = \ln(X_1)$. Obsérvese que en cada grupo, de los seis grupos definidos por la edad y la genética, omitiendo el error experimental, se tiene que:

a) El modelo ME equivale a considerar un modelo de regresión de tipo exponencial para cada grupo ya que $\ln(Y) = \theta_0 + \theta X_1 \Leftrightarrow Y = \exp(\theta_0 + \theta X_1)$ en donde la constante θ_0 y la pendiente θ de cada grupo se obtienen como en la Tabla 3 (a partir de los β_i del modelo ME).

b) El modelo MP equivale a considerar un modelo de regresión de tipo potencial para cada grupo ya que $\ln(Y) = \ln(\theta_0) + \theta \ln(X_1) \Leftrightarrow Y = \theta_0 X_1^\theta$, en donde la constante $\ln(\theta_0)$ y la pendiente θ de cada grupo se determinan de forma análoga (a partir de los β_i del modelo MP).

La Tabla 4 recoge los valores de los coeficientes de correlación de los tres modelos de regresión múltiple propuestos. Aunque los tres modelos resultan esencialmente válidos (si bien el test de Levene da indicios de heterocedasticidad con $p = 0,076$ en los modelos ME y MP basados en L2), con los modelos ME y MP el coeficiente de correlación es mayor, lo que justifica su estudio.

Tabla 4. Coeficientes de correlación lineal de los modelos de regresión múltiple propuestos

Coeficiente de correlación	R ($n = 78$ corzos)	L1	L2	L3	L1L3
Modelo de regresión	ML	0,731	0,827	0,700	0,848
	ME	0,799	0,852	0,726	0,863
	MP	0,808	0,852	0,721	0,867

La función de regresión de los tres modelos propuestos ML, ME y MP equivale a una recta en cada uno de los seis grupos definidos por la edad y la genética, si bien en el caso de los modelos ME y MP la recta se define en términos de las transformaciones de variables ya indicadas. La comparación de grupos que proponemos se basa en la comparación de las rectas correspondientes. Dicha comparación se llevará a cabo mediante los respectivos F tests para contrastar cada una de las hipótesis de la Tabla 5.

Tabla 5. Hipótesis nulas de los contrastes de comparación de rectas de regresión

H_0^I : la recta del grupo joven es igual a la del grupo adulto en cada variante genética	$H_0^I: \beta_4 = \beta_7 = 0$
H_0^{II} : la recta del grupo joven es paralela a la del grupo adulto en cada variante genética	$H_0^{II}: \beta_7 = 0$
H_0^{III} : las rectas de las tres variantes genéticas son iguales en cada grupo de edad	$H_0^{III}: \beta_2 = \beta_3 = \beta_5 = \beta_6 = 0$
H_0^{IV} : las rectas de las tres variantes genéticas son paralelas en cada grupo de edad	$H_0^{IV}: \beta_5 = \beta_6 = 0$
H_0^V : las rectas del grupo Oeste y Central I son iguales en cada grupo de edad	$H_0^V: \beta_2 = \beta_5 = 0$
H_0^{VI} : las rectas del grupo Oeste y Central II son iguales en cada grupo de edad	$H_0^{VI}: \beta_3 = \beta_6 = 0$
H_0^{VII} : las rectas del grupo Central I y Central II son iguales en cada grupo de edad	$H_0^{VII}: \beta_2 = \beta_3 \text{ y } \beta_5 = \beta_6$

Con el modelo ML como referencia, los resultados de los F tests, para cada una de las densidades óseas como variable X_1 , se recogen en la Tabla 6. Los resultados sugieren que con el modelo ML, L1L3 es la única densidad ósea que permite detectar diferencias significativas tanto entre los dos grupos de edad (con $p = 0,052$) como entre cada par de grupos genéticos (se rechazan H_0^V , H_0^{VI} y H_0^{VII} con p -valores inferiores a 0,05).

Tabla 6. Niveles de significación críticos de los tests para las comparaciones de la Tabla 5 basadas en el modelo ML con las diferentes densidades óseas como covariable

Respuesta	Variable X_1	H_0^I	H_0^{II}	H_0^{III}	H_0^{IV}	H_0^V	H_0^{VI}	H_0^{VII}
Y	L1	0,012	0,944	0,026	0,865	0,005	0,258	0,057
Y	L2	0,157	0,961	0,040	0,595	0,010	0,064	0,349
Y	L3	0,006	0,901	0,180	0,146	0,048	0,415	0,238
Y	L1L3	0,052	0,328	0,001	0,181	0,000206	0,020	0,037

Al considerar como referencia, o bien el modelo ME, o bien el modelo MP se detectan diferencias entre grupos que no resultan significativas con el modelo ML. Basta para ello comparar las filas correspondientes a L1, L2 y L3 de la Tabla 6 con las correspondientes en las Tablas 7 y 8. Concretando más, los resultados de la Tabla 7 y 8 indican que tanto con el modelo ME como con el modelo MP, considerando como X_1 , o bien L1L3 o bien L1, se tiene que:

- a) Las diferencias entre los dos grupos de edad son significativas (se rechaza H_0^I con $p < 0,05$).
- b) Las diferencias entre cada par de grupos genéticos son significativas. Se rechazan H_0^V , H_0^{VI} y H_0^{VII} ya que los p -valores son todos inferiores a 0,05 salvo en la comparación basada en L1 de Central I-Central II, en la que $p=0,064$ con el modelo ME y $p=0,058$ con el modelo MP, por lo que estas diferencias no son del todo concluyentes.

Tabla 7. Niveles de significación críticos de los tests para las comparaciones de la Tabla 5 basadas en el modelo ME con las diferentes densidades óseas como covariable

Respuesta	Variable X_1	H_0^I	H_0^{II}	H_0^{III}	H_0^{IV}	H_0^V	H_0^{VI}	H_0^{VII}
$Y^* = \ln(Y)$	L1	0,002	0,283	0,004	0,329	0,001	0,036	0,064
$Y^* = \ln(Y)$	L2	0,010	0,170	0,001	0,091	0,00016	0,003	0,226
$Y^* = \ln(Y)$	L3	0,0005	0,112	0,016	0,021	0,004	0,339	0,026
$Y^* = \ln(Y)$	L1L3	0,008	0,250	0,0000309	0,022	0,0000027	0,002	0,020

Tabla 8. Niveles de significación críticos de los tests para las comparaciones de la Tabla 5 basadas en el modelo MP con las diferentes densidades óseas como covariable

Respuesta	Variable X_1	H_0^I	H_0^{II}	H_0^{III}	H_0^{IV}	H_0^V	H_0^{VI}	H_0^{VII}
$Y^* = \ln(Y)$	$X_1^* = \ln(L1)$	0,004	0,302	0,004	0,405	0,001	0,044	0,058
$Y^* = \ln(Y)$	$X_1^* = \ln(L2)$	0,029	0,311	0,001	0,111	0,000239	0,004	0,236
$Y^* = \ln(Y)$	$X_1^* = \ln(L3)$	0,001	0,162	0,007	0,008	0,002	0,316	0,011
$Y^* = \ln(Y)$	$X_1^* = \ln(L1L3)$	0,020	0,545	0,000009	0,004	0,00000073	0,001	0,014

4. AJUSTE DE MODELOS PARA LA COMPARACIÓN DE GRUPOS

Examinamos aquí varios ajustes para la relación entre el CIC y cada densidad ósea en cada grupo definido por la edad y la genética. Los ajustes se derivan de los modelos ML, ME y MP, una vez simplificados en base al análisis comparativo de la Sección 3. Por brevedad mostramos sólo los resultados en aquellos casos en los que la variable X_1 seleccionada permite detectar diferencias significativas tanto entre grupos de edad (se rechaza H_0^I) como entre cada par de grupos genéticos (se rechazan H_0^V , H_0^{VI} y H_0^{VII}), y a la vez se aceptan las hipótesis de paralelismo de las rectas de los grupos de edad (H_0^{II}) y de los tres grupos genéticos (H_0^{IV}). Nos centramos así en los resultados de las filas Y -L1L3 de la Tabla 6, $\ln(Y)$ -L1 de la Tabla 7 y $\ln(Y)$ - $\ln(L1)$ de la Tabla 8. En estos casos, aceptar las hipótesis de paralelismo H_0^{II} y H_0^{IV} conduce a los modelos simplificados:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \varepsilon \tag{MLS}$$

con L1L3 como variable X_1 , e

$$Y^* = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \varepsilon, \tag{MES}$$

$$Y^* = \beta_0 + \beta_1 X_1^* + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \varepsilon \tag{MPS}$$

en donde $Y^* = \ln(Y)$, X_1 es la densidad L1, y $X_1^* = \ln(X_1)$. Los modelos MLS, MES y MPS equivalen a considerar un modelo de análisis de la covarianza (ANCOVA),

$$\tilde{Y}_{ijk} = \mu + \underset{\substack{\text{efecto del} \\ \text{grupo de edad } i}}{\alpha_i} + \underset{\substack{\text{efecto del} \\ \text{grupo genético } j}}{\beta_j} + \underset{\substack{\text{pendiente} \\ \text{común}}}{\theta} \cdot \underset{\substack{\text{covariable en el} \\ \text{individuo } k \text{ del grupo } (i,j)}}{\tilde{X}_{ijk}} + \varepsilon_{ijk},$$

en donde \tilde{Y} es Y o $\ln(Y)$ según corresponda, y \tilde{X} es la covariable correspondiente. De los ajustes de los modelos ANCOVA respectivos, se derivan los ajustes de la Tabla 9 para cada grupo definido por la

edad y la genética. A nivel ilustrativo, se muestran, para los grupos de edad de los clados Oeste y Central I, los ajustes correspondientes a los modelos MES y MPS en la Figura 5.

Tabla 9. Coeficientes de las curvas de regresión de los grupos definidos por la edad y la genética

	modelo MLS $X_1 = L1L3$		modelo MES $X_1 = L1$		modelo MPS $X_1 = L1$	
Regresión	$Y = \theta_0 + \theta X_1$		$Y = \exp(\theta_0 + \theta X_1)$		$Y = \theta_0 X_1^{\theta}$	
Coefficiente θ	83,7056		1,45		1,8033	
Coefficiente θ_0	$\theta_0 = \mu + \alpha_i + \beta_j$		$\theta_0 = \mu + \alpha_i + \beta_j$		$\theta_0 = \exp(\mu + \alpha_i + \beta_j)$	
Genética\Edad	jóvenes	adultos	jóvenes	adultos	jóvenes	adultos
Central I	-59,4674	-54,3786	2,2536	2,4426	39,7059	47,3042
Central II	-66,0591	-60,9703	2,0918	2,2808	33,9164	40,4069
Oeste	-72,8931	-67,8043	1,9577	2,1467	29,6333	35,3041

Finalizamos este trabajo observando que las variables $Z^{LS} = (Y - \beta_0 - \beta_1 X_1 - \beta_4 X_4) / \sigma_\epsilon$ (con los β_i y σ_ϵ del modelo MLS), $Z^{ES} = (\ln(Y) - \beta_0 - \beta_1 X_1 - \beta_4 X_4) / \sigma_\epsilon$ (con los β_i y σ_ϵ del modelo MES) y $Z^{PS} = (\ln(Y) - \beta_0 - \beta_1 \ln(X_1) - \beta_4 X_4) / \sigma_\epsilon$ (con los β_i y σ_ϵ del modelo MPS) son de utilidad para identificar los grupos genéticos. Nótese que para cada Z , se tiene que el valor medio $E[Z]$ vale 0, $\beta_2 / \sigma_\epsilon$ o $\beta_3 / \sigma_\epsilon$ según el corzo sea del grupo Oeste, Central I o Central II respectivamente. Los valores aproximados de cada Z pueden obtenerse a partir de los ajustes de los modelos ANCOVA correspondientes.

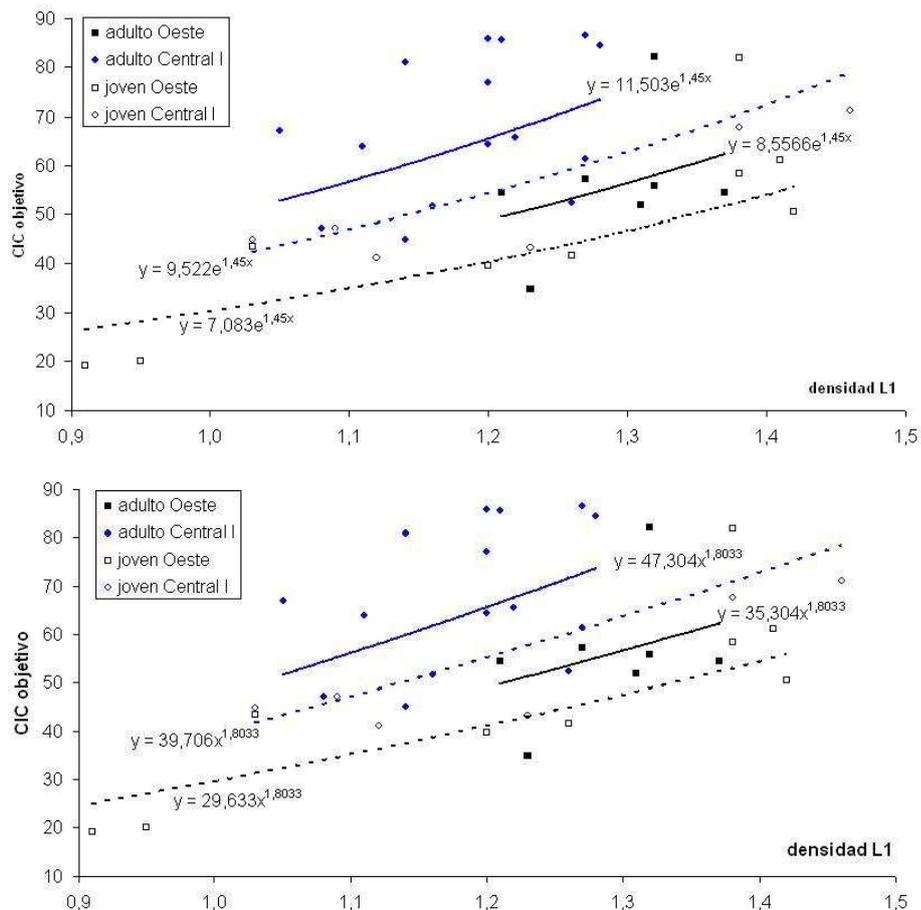


Figura 5. Ajustes para los dos grupos de edad de los clados Central I (azul) y Oeste (negro), adultos: trazo continuo, ecuación a la derecha; jóvenes: trazo discontinuo, ecuación a la izquierda. Arriba: ajustes basados en el modelo MES, abajo: ajustes basados en el modelo MPS

Una discusión como la anterior, sin asumir la hipótesis de paralelismo de las rectas de los grupos genéticos, podría hacerse tomando como referencia los modelos ME y MP con L1L3 como X_1 (véanse las Tablas 7 y 8).

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente subvencionado por medio del convenio entre la Xunta de Galicia y la Universidade de Santiago de Compostela con número de referencia 2003/CP508.

REFERENCIAS

Lorenzini, R. y Lovari, S. (2006). Genetic diversity and phylogeography of the European roe deer: the refuge area theory revisited. *Biological Journal of the Linnean Society* 88 (1), 85–100.

Montgomery, D.C.; Peck, E. A. y Vining, G.G. (2002). *Introducción al análisis de regresión lineal*. CECSA.

Notario, R. (2002). *50 años de homologación de trofeos de caza mayor en España. Formularios y metodologías de valoración, los mejores ejemplares de cada especie y evolución de las capturas*. Ed. WAVES.

SPSS Inc. (2007). *SPSS Statistics 17.0 Algorithms*.

VULNERABILIDAD SOCIAL EN GALICIA I: DESCRIPCIÓN SOCIODEMOGRÁFICA MEDIANTE MAPAS PERCEPTUALES

Rúa Vieites Antonio, Redondo Palomo Raquel, Martínez de Ibarreta Zorita Carlos¹ y Malgesini Graciela²

¹ Departamento de Métodos Cuantitativos, Universidad Pontificia Comillas (ICAI-ICADE)

² Cruz Roja Española

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivo llevar a cabo una descripción sociodemográfica de los usuarios de Cruz Roja Española (CRE) en Galicia, a partir del registro contenido en la base de datos de intervención social de CRE. Dicho cuestionario constituye una encuesta on-line que va dirigida a aquellos participantes de CRE que son considerados por sus técnicos susceptibles de vulnerabilidad social. Por tanto, dicho cuestionario trata de recabar información social y personal relevante para mejorar el conocimiento de la situación de los vulnerables y mejorar entonces la eficiencia de la intervención social de dicha institución. Las herramientas estadísticas utilizadas van desde el simple análisis descriptivo al empleo de técnicas multivariantes bastante más sofisticadas como el análisis de correspondencias múltiple (ACM), uno de cuyos resultados, el mapa perceptual, será usado para mostrar de forma gráfica la interrelación entre categorías de variables de carácter cualitativo.

Palabras e frases clave: Vulnerabilidad Social, Cruz Roja Española, Análisis de Correspondencias Múltiple, Galicia.

1. INTRODUCCIÓN

Estamos inmersos en una complicada estructura política, social y económica que no es capaz, al menos por el momento, de evitar la generación de nuevos excluidos y sobre todo vulnerables, es decir, personas con posibilidad de exclusión social.

Según Castel (en Alvarez-Úria, 1992) la zona de vulnerabilidad social está situada entre la zona de integración (trabajo estable y pilares sociales y familiares sólidos) y la de exclusión (carencia de trabajo y aislamiento socio-familiar), caracterizándose, por lo tanto, por ser una zona más inestable, con trabajos precarios, paro intermitente y pilares socio-familiares menos sólidos. Se trata de una zona intermedia, con el consiguiente riesgo de introducirse en el espacio de la exclusión.

En la sociedad actual, el concepto de vulnerabilidad es cada vez más importante, ya que cualquier miembro de dicha sociedad puede encontrarse o llegar a encontrarse en esta zona, afectando, no sólo a las clases bajas, sino también a las medias y altas. Dentro de esta zona podemos encontrarnos con personas mayores, niños, mujeres maltratadas, inmigrantes, etc.

Una posible definición de vulnerabilidad podría ser entendida como una condición social de riesgo, de dificultad, que inhabilita e invalida, de manera inmediata o en el futuro, a los grupos afectados, en la satisfacción de su bienestar –en tanto subsistencia, y calidad de vida- en contextos socio históricos y culturalmente determinados (Perona et al., 2000).

El presente trabajo está inspirado en una pequeña parte de un trabajo mucho más amplio (Informe anual de la Vulnerabilidad Social 2006, y 2007) cuya misión fundamental es, precisamente, llevar a cabo un análisis y efectuar un diagnóstico de la vulnerabilidad social en España, a partir de datos objetivos directamente obtenidos de aquellas personas que se encuentran en una situación particularmente delicada, esto es, aquellos participantes de Cruz Roja Española (CRE a partir de ahora).

CRE ha creado una base de datos para recabar información sobre sus participantes en intervención social a través de una aplicación informática diseñada *ad hoc*. Se trata de una aplicación *on-*

line, diseñada en Oracle, de modo que, cuando cualquier persona entra en contacto con CRE debería crearse un registro al que se incorpora toda la información pertinente, relativa a datos personales y/o problemática de tal persona.

De esta manera, el objetivo del presente trabajo consiste en llevar a cabo una descripción sociodemográfica de los usuarios de CRE gallegos de los que se tiene información a través de la encuesta realizada por CRE. Esta segmentación, centrada en Galicia, no se ha efectuado hasta el momento en ninguno de los informes previos. Para más información sobre las características de la encuesta y de las variables analizadas consúltese el Informe anual de la Vulnerabilidad Social 2006 y el Informe anual de la Vulnerabilidad Social 2007. En estos momentos están ultimándose los detalles del informe correspondiente al 2008.

Los datos a partir de los que se ha elaborado el presente trabajo se corresponden con aquellos usuarios gallegos que han cubierto la encuesta de la aplicación de intervención social on-line antes de julio de 2007. Se ha efectuado un muestreo estratificado con afijación proporcional en función de la población de las cuatro provincias gallegas.

2. PERFIL DE LA PERSONA GALLEGA PARTICIPANTE EN INTERVENCIÓN SOCIAL DE CRUZ ROJA ESPAÑOLA

Para responder a esta pregunta, se han considerado algunas variables que dan cuenta de las diversas características sociodemográficas como el sexo, la edad, el país de nacimiento, el número de hijos y la situación laboral.

En primer lugar se ha analizado el **sexo** de dichas personas. Tal y como puede observarse en la tabla 1, existe una mayoría significativa de mujeres, a nivel global en todo Galicia y en las provincias de A Coruña, Ourense y Pontevedra de forma particular. En el caso de la provincia de Lugo no existen diferencias significativas entre hombres y mujeres. Ourense es la provincia con un mayor porcentaje de mujeres, casi un 60%, participantes en los programas de intervención social de CRE, si bien no se han encontrado diferencias significativas con A Coruña y Pontevedra. Se puede afirmar, por tanto, que salvo en la Provincia de Lugo, donde hombres y mujeres en porcentajes similares participan en los programas de intervención social de CRE, en el resto de Galicia, son predominantemente las mujeres las participantes.

Tabla 1: Porcentaje de mujeres y hombres participantes en Intervención Social de CRE.

	Sexo		N	p-valor ¹
	Hombre	Mujer		
Galicia	1358 (43,9%)	1733 (56,1%)	3091	0,000
A Coruña (C)	524 (41,4%)	743 (58,6%)	1267	0,000
Lugo (LG)	202 (50,2%)	200 (49,8%)	402	0,921
Ourense (OU)	150 (40,4%)	221(59,6%)	371	0,000
Pontevedra (PO)	482 (45,9%)	569 (54,1%)	1051	0,000

Respecto a la **edad**, hay que indicar que la edad media de los participantes gallegos es de casi 52 años², la mediana de 45 y la moda de 33 años (esta moda representa el 2,5% de la muestra), existiendo un alto grado de dispersión, tal y como se pone de manifiesto mediante su desviación típica situada en casi 23 años, tal y como puede observarse en la tabla 2.

Tabla2: Estadísticos para la edad de los participantes gallegos en Intervención Social de CRE.

Edad	Galicia	C	LG	OU	PO
N	2925	1192	362	345	1026
Mínimo	16	16	16	17	16
Máximo	107	100	103	99	107
Media	51,6	47,1	64,0	50,1	53,0
Mediana	45	40	72	43	47
Moda	33	26/35	81	39	33
Desv. típ.	22,6	20,8	22,7	22,2	23,1

El rasgo más destacable de la distribución de edades, tal y como se observa en la figura 1, para todo Galicia, es su claro carácter bimodal, ya que hay dos franjas de edad que concentran a la mayoría de participantes; la

¹ Se ha contrastado la igualdad de proporciones entre hombres y mujeres.

² Debe advertirse que para el presente estudio se ha prescindido de todos los menores de 16 años.

primera franja se encuentra en el segmento joven entre 20 y 45 años y la segunda aparece aproximadamente en el intervalo comprendido entre los 75 y los 90 años. Esta situación se repite en A Coruña, Ourense y Pontevedra. Así, A Coruña se caracteriza por ser la provincia que cuenta con los participantes más jóvenes, con una edad media de 47 años, una mediana de 40 y una moda de 26 años. Le sigue Ourense con una edad media de 50 años, Pontevedra con casi 53 años, y a una gran distancia de estas tres provincias aparece Lugo con una edad media de casi 64 años, una mediana de 72 y una moda de 81 años. Claramente, la provincia de Lugo presenta un perfil muy diferente del resto de las provincias gallegas, con una población mucho más envejecida.

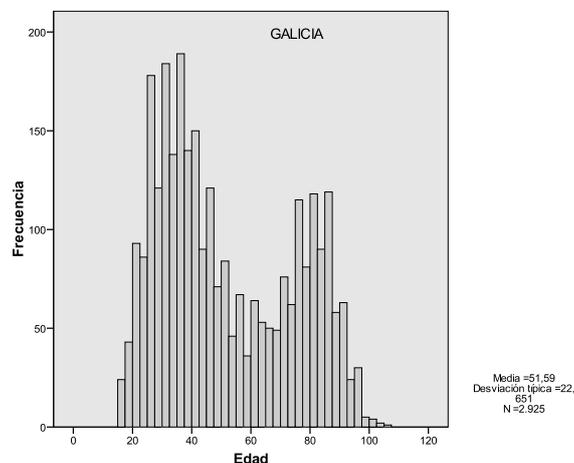


Fig. 1: Distribución de frecuencias para la edad

En Galicia, el grupo mayoritario de edad, con un 47,2 % de las observaciones, es el de las personas cuyas edades se encuentran entre 25 y 49 años, seguidas por el grupo de las personas mayores de 65 años, con un 32% de las observaciones. Dentro de las personas mayores de 65 años, debe destacarse como las personas con más de 80 años constituyen casi un 18% de la muestra. El resto de los tramos de edad tienen una presencia mucho menor, así, los jóvenes entre 16 y 24 años constituyen sólo el 8,4% de la muestra, y los adultos entre 50 y 64 años suponen un 12 %. Esta situación se mantiene, con ligeras diferencias en las provincias de A Coruña, la provincia más joven, Ourense y Pontevedra, y no así en la provincia de Lugo, con una situación significativamente diferente, donde el grupo de personas más numeroso es aquel que presenta una edad superior a los 80 años, con más de un 36%.

Tabla3: Distribución de frecuencias de la edad categorizada de los participantes gallegos en Intervención Social de CRE.

Edad categorizada	Galicia		C		LG		OU		PO	
	ni	%	ni	%	ni	%	ni	%	ni	%
De 16 a 24 años	246	8,4	108	9,1	11	3,1	37	10,7	90	8,8
De 25 a 49 años	1382	47,2	653	54,8	113	31,2	167	48,4	449	43,8
De 50 a 64 años	350	12,0	140	11,7	44	12,1	45	13,0	121	11,8
De 65 a 79 años	433	14,8	159	13,3	61	16,8	42	12,2	171	16,7
De 80 años o más	514	17,6	132	11,1	133	36,7	54	15,6	195	19,0
Total	2925	100	1192	100	362	100	345	100	1026	100

Si se considera la distribución de estas personas vulnerables participantes de CRE teniendo en cuenta conjuntamente la edad (categorizada por grupos) y el sexo, puede observarse cómo existe asociación significativa³ entre las categorías de las dos variables consideradas, de modo que se asocian las edades superiores con ser mujer y las edades inferiores con ser hombre. Así, puede observarse que, mientras en las categorías de edad de hasta 50 años hay una clara mayoría de hombres, en una proporción aproximada 60/40 a favor de éstos, en los grupos de mayor edad esa tendencia se invierte, llegando a una proporción de 3 a 1 en el grupo de mayores de 65 años. Parece claro que la mayor esperanza de vida de las mujeres explica en parte este

³ Las medidas de asociación que permiten saber si efectivamente la asociación es significativa es la Ji-cuadrado, mientras que otras medidas como el coeficiente de contingencia, V de Cramer, Coeficiente de Contingencia o la Gamma permiten obtener una idea de la intensidad de dicha asociación. En este caso existe una asociación significativa entre el sexo y la edad con un grado de confianza del 99%, y el coeficiente de contingencia, medida estadística del grado y fuerza de asociación, toma en este caso un valor de 0,279. Por su parte el coeficiente gamma arroja un valor de 0,426.

resultado, que también se da en el conjunto de la sociedad española. La situación aparece amplificada en este contexto, siendo una posible explicación el hecho de que al sobrevivir a sus parejas, muchas mujeres quedan en una situación de mayor riesgo y dependencia, por lo que es posible que acudan con mayor frecuencia a la intervención social de CRE.

Resumiendo, nos encontramos con que el 45% de las mujeres son mayores de 65 años, y el 83% de los hombres son menores de 65 años. Si se reproduce el estudio por provincias se obtiene de nuevo una relación significativa entre edad y sexo, con las mujeres claramente asociadas a edades mayores y hombres a edades menores. De nuevo, destaca la provincia de Lugo, en donde entre las mujeres 3 de cada cuatro son mayores de 65 años.

La distribución del **número de hijos** que tienen las personas gallegas participantes que acuden a CRE viene reflejado en las tablas 4 y 5. Puede apreciarse que la mayoría de los participantes tiene 1 ó 2 hijos, situándose el número medio en 1,81 hijos, valor significativamente superior a la media española situada en 1,37, según los datos del INE de junio de 2007. Se debe destacar que casi un 28% de las personas en situación de vulnerabilidad tienen 3 ó mas hijos. Por provincias, cabe destacar a A Coruña como la que presenta un mayor numero medio de hijos con una media de 2,05, seguida por Ourense con una media de 1,87, Pontevedra con una media de 1,69 y finalmente Lugo con una media de 1,52, y con un 29% de las personas que no tienen hijos. En todas las provincias, no obstante, se supera la media nacional.

Tabla4: Estadísticos para el número de hijos de los participantes gallegos en Intervención Social de CRE.

Nº de hijos	Galicia	C	LG	OU	PO
N	548	204	126	85	133
Media	1,81	2,05	1,52	1,87	1,69
Moda	1	1	0	2	1
Desv. típ.	1,31	1,32	1,37	1,04	1,31
Mínimo	0	0	0	0	0
Máximo	8	8	6	5	7

Tabla 5: Estadísticos para el número de hijos de los participantes gallegos en Intervención Social de CRE.

Nº de hijos	Galicia		C		LG		OU		PO	
	ni	%	ni	%	ni	%	ni	%	ni	%
0	77	14,1	13	6,4	36	28,6	6	7,1	22	16,5
1	175	31,9	65	31,9	35	27,8	26	30,6	49	36,8
2	144	26,3	62	30,4	24	19,0	33	38,8	25	18,8
3	108	19,7	45	22,1	20	15,9	14	16,5	29	21,8
4	24	4,4	7	3,4	8	6,3	5	5,9	4	3,0
5	12	2,2	7	3,4	2	1,6	1	1,2	2	1,5
6 ó más	8	1,5	5	2,5	1	,8	85	100,0	2	1,5
Total	548	100	204	100	126	100	286	7,1	22	100

Pasando a analizar **la nacionalidad** de las personas en situación de vulnerabilidad, hay que señalar que, dada la enorme disparidad de nacionalidades presente en los datos originales, se ha considerado pertinente realizar una reagrupación de éstas por regiones, estableciéndose siete regiones, a saber: España, América Latina, África Subsahariana, Europa del Este, Magreb, Resto de Europa y Resto del Mundo. Tal y como puede observarse en la tabla 6 el 56% de los participantes de CRE en Galicia son españoles, casi un 27% son de América Latina, casi un 6% del Africa Subsahariana, casi un 5% de la Europa del Este, y un 3,6% del Magreb. En todas las demas provincias la mayoría de las personas son españolas o de América Latina, si bien su reparto es diferente. Así, en A Coruña existe casi el mismo porcentaje de participantes españoles que de participantes de América Latina, con un 38,4% y un 37,3% respectivamente, en todo caso cabe destacar que en A Coruña el 62% de los participantes son extranjeros. En Lugo, sin embargo, el 88% de los participantes son españoles, mientras que esta proporción se reduce en Ourense y Pontevedra a un 66% y un 62% respectivamente, con una presencia en ambas provincias del un 22% de personas procedentes de America Latina.

Tabla 6: Distribución de frecuencias de la región de nacimiento de los participantes gallegos en Intervención Social de CRE.

Región de nacimiento	Galicia		C		LG		OU		PO	
	ni	%	ni	%	ni	%	ni	%	ni	%
ESPAÑA	1737	56,2	487	38,4	353	87,8	244	65,8	653	62,1

AMÉRICA LATINA	822	26,6	472	37,3	29	7,2	84	22,6	237	22,5
ÁFRICA SUBSAHARIANA	180	5,8	97	7,7	3	,7	4	1,1	76	7,2
EUROPA DEL ESTE	147	4,8	107	8,4			19	5,1	21	2,0
MAGREB	111	3,6	60	4,7	11	2,7	4	1,1	36	3,4
RESTO DE EUROPA	60	1,9	21	1,7	6	1,5	10	2,7	23	2,2
RESTO DEL MUNDO	34	1,1	23	1,8			6	1,6	5	,5
Total	3091	100,0	1267	100	402	100	371	100	1051	100

En la tabla 7 aparece la distribución de las personas en relación con su **situación laboral**. Si analizamos toda la comunidad, se advierte que casi el 60% de las personas que acuden en busca de ayuda a CRE están desempleadas, casi el 27% son jubiladas o pensionistas, un 10% está trabajando activamente, un 3,5% son amas de casa y casi un 2% estudiantes. Si desagregamos por provincias puede apreciarse como tres de cada cuatro personas residentes en Pontevedra están desempleadas, y prácticamente una de cada dos en el resto de las otras tres provincias. Las personas jubiladas y pensionistas constituyen un 35% en A Coruña, un 23% en Lugo, un 34,5 en Ourense y un 10% en Pontevedra. El mayor porcentaje de personas trabajando activamente lo encontramos en Lugo con un 17%, mientras que en el resto el porcentaje de personas es inferior al 11% en las tres provincias.

Tabla 7: Distribución de frecuencias de la situación laboral de los participantes gallegos en Intervención Social de CRE.

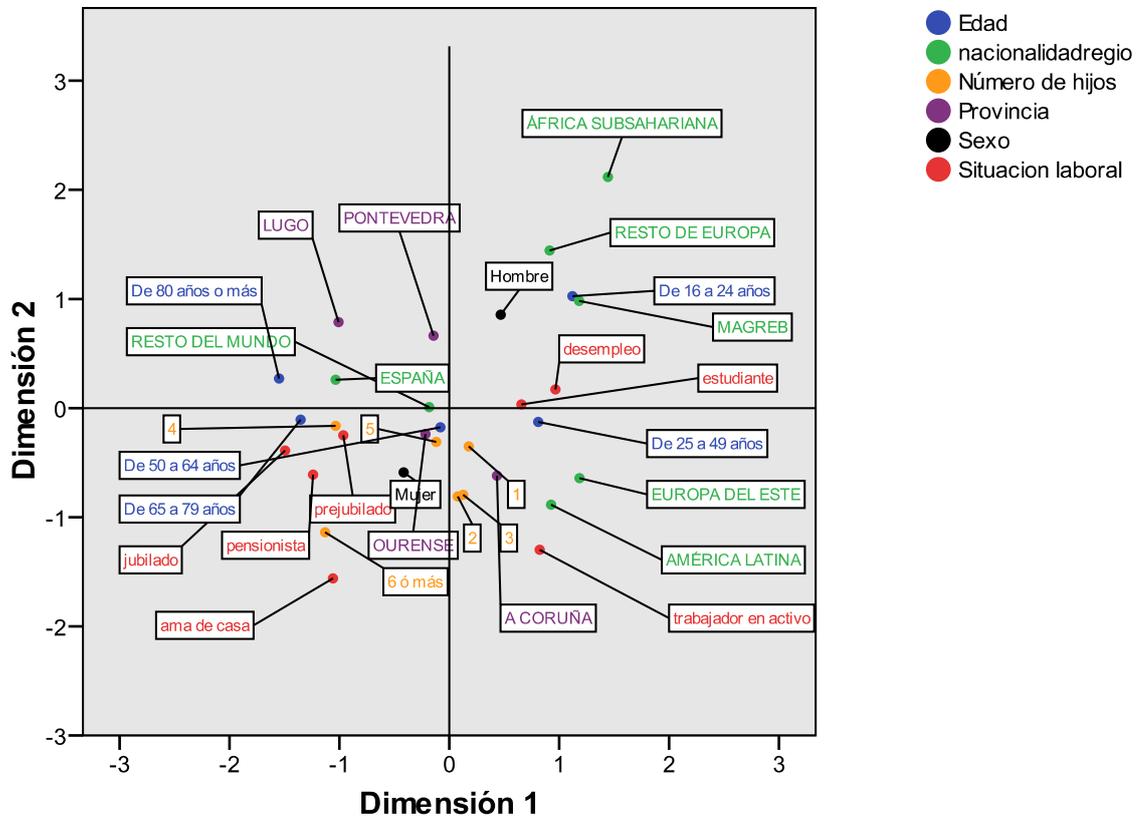
Situación laboral	Galicia		C		LG		OU		PO	
	ni	%	ni	%	ni	%	ni	%	ni	%
Desempleado	615	56,7	242	46,4	60	54,1	83	55,3	230	76,2
Jubilado	166	15,3	95	18,2	10	9	39	26	22	7,3
Pensionista	127	11,7	89	17	16	14,4	12	8	10	3,3
Trabajador en activo	114	10,5	50	9,6	19	17,1	13	8,7	32	10,6
Ama de casa	38	3,5	27	5,2	2	1,8	2	1,3	7	2,3
Estudiante	19	1,8	14	2,7	3	2,7	1	0,7	1	0,3
Prejubilado	6	0,6	5	1	1	0,9				
Total	1085	100	522	100	111	100	150	100	302	100

3. MAPA PERCEPTUAL PARA SEXO, EDAD, NUMERO DE HIJOS, REGIÓN DE NACIMIENTO Y SITUACIÓN LABORAL

Mediante un análisis de correspondencias múltiple (ACM), técnica de Análisis Multivariante que permite analizar la asociación entre las categorías de dos o más variables cualitativas, es posible obtener una de las salidas más interesantes de esta técnica, el mapa perceptual, que fija las posiciones de cada una de las categorías implicadas en el estudio, de modo que aquellas categorías que aparezcan más próximas en el mapa llevan aparejadas mayor asociación o relación y viceversa. Según esto se podrá analizar conjuntamente la asociación entre las diferentes categorías de las cinco variables mencionadas, estudiando el mapa perceptual que aparece en la figura 2.

Se observan cuatro cuadrantes claramente diferenciados, el primer cuadrante superior derecho donde las categorías más próximas y por lo tanto más asociadas son ser hombre, con una edad comprendida entre 16 y 24 años, proceder del Magreb, del África Subsahariana o resto de Europa y estar desempleado. El cuadrante superior izquierdo donde se posicionan las categorías asociadas a las personas mayores de 80 años, cerca de la categoría ser de España, y ser de Pontevedra y Lugo. El cuadrante inferior izquierdo, en el que aparecen las mujeres, edad entre 50 y 80 años con tener un número de hijos superior a 4, pensionistas, jubilados o amas de casa y la provincia de Ourense. Y finalmente el cuadrante inferior derecho, donde aparecen personas de edad comprendida entre 25 y 49 años, procedentes de América Latina o Europa del Este, con un número de hijos entre 1 y 3, la provincia de A Coruña y ser trabajador en activo.

Diagrama conjunto de puntos de categorías



REFERENCIAS

Castel, R. (1992). "La inserción y los nuevos retos de las intervenciones sociales" a Álvarez-Uría, F- (COMP.). Marginación e inserción. Los nuevos retos de las políticas sociales. Madrid: Endimión.

Malgesini, G. (coordinadora) (2008) Informe anual de vulnerabilidad social 2007. Fundación Cruz Roja Española.

Malgesini, G. (coordinadora) (2007) Informe anual de vulnerabilidad social 2006. Fundación Cruz Roja Española.

Perona N., Crucella C., Rocchi G., Robin, S. (2000). Vulnerabilidad y Exclusión social. Una propuesta metodológica para el estudio de las condiciones de vida de los hogares. (<http://www.ubiobio.cl/cps/ponencia/doc/p15.4.htm>)

VULNERABILIDAD SOCIAL EN GALICIA II: INDICADORES DE RIESGO

Redondo Palomo Raquel, Rúa Vieites Antonio, Martínez de Ibarreta Zorita Carlos¹ y Malgesini Graciela²

¹ Departamento de Métodos Cuantitativos, Universidad Pontificia Comillas (ICAI-ICADE)

² Cruz Roja Española

RESUMO

En este trabajo se describen la metodología de análisis de datos y los resultados obtenidos a partir de los datos recabados por Cruz Roja Española (CRE) en su Cuestionario Social y centrados en la Comunidad Autónoma gallega. El objetivo perseguido por este trabajo consiste en tener un mejor conocimiento de cuál es la realidad de los participantes de dicha entidad respecto a su situación de vulnerabilidad social, haciendo especial hincapié en lo que se refiere al riesgo de vulnerabilidad social.

Palabras e frases crave: vulnerabilidad social, riesgo de vulnerabilidad, análisis estadístico multivariante.

1. INTRODUCCIÓN

La pobreza, la exclusión, la vulnerabilidad social son problemas complejos en los que intervienen muchos factores diferentes. Muchos de los estudios realizados en este sentido hasta ahora están basados en estadísticas generales y por ello abordan aspectos globales del tema y resultan insuficientes para averiguar la situación de determinados grupos sociales y colectivos. Para conseguir datos sobre vulnerabilidad social a nivel micro, Cruz Roja Española (CRE) ha creado una base de datos que contiene una parte específica, el Cuestionario Social (CS) para el análisis de la vulnerabilidad social, que se describe con detalle en Malgesini *et al.* (2008a).

El objetivo de este trabajo consiste en mostrar la metodología utilizada y presentar los resultados obtenidos en el análisis de parte de la información contenida en este cuestionario, en particular, la que se refiere a la población gallega. Ello va a permitir llevar a cabo un diagnóstico del riesgo de vulnerabilidad social de los participantes gallegos en CRE, así como establecer tipos o perfiles diferenciados de individuos, que engloban realidades diferentes, pero todas ellas preocupantes como causantes de futuras situaciones de exclusión social. En particular, permitirá en primer lugar, la obtención de un indicador de riesgo en cada uno de los ámbitos en que se estructura el CS y, a partir de ellos, un indicador global de vulnerabilidad; y en segundo lugar, permitirá presentar una tipología o segmentación de persona vulnerables que permitirá diseñar programas de actuación específicos y más adaptados a las necesidades especiales de las personas vulnerables.

Los datos con los que se ha llevado a cabo el estudio son los disponibles en el CS de la base de datos de CRE hasta julio de 2007. Dicha base contaba con un total de 206 registros de personas gallegas y adultos que participaban en proyectos de CRE y habían formalizado el CS, siendo éstos los datos utilizados.

2. METODOLOGÍA

La metodología empleada por el análisis viene condicionada por la dicotomía de las variables del CS y por la naturaleza multivariante del problema de la vulnerabilidad social. De esta manera:

- 1) Para tener un conocimiento general de los riesgos a los que está sometido una persona gallega participante en CRE se presenta una enumeración de los ítems del CS en cada uno de sus ámbitos. Dichos ítems son de naturaleza dicotómica, de manera que 1 significa presencia y/o ausencia.
- 2) Para analizar el riesgo en cada ámbito y el riesgo global de exclusión se han usado una serie de indicadores de riesgo en cada uno de los ámbitos en que se estructura el CS cuya construcción aparece analizada en profundidad en un indicador global de vulnerabilidad (Rúa et al., 2008).
- 3) Para ilustrar las posibles situaciones de riesgo y vulnerabilidad social, se ha llevado a cabo un análisis de correspondencias múltiples (ACM) que muestra, a través de un mapa perceptual, las proximidades entre categorías de variables como los niveles de riesgo, el grupo de edad, el sexo y la nacionalidad.
- 4) Finalmente, para conseguir una tipología del riesgo de vulnerabilidad social se ha utilizado un análisis cluster por el método de las k medias sobre los indicadores de riesgo de cada ámbito y sobre otra serie de variables descriptivas del usuario como el sexo, el ser o no español y la edad.

3. RESULTADOS

Tal y como se ha descrito en la metodología, se van a seguir todos los pasos del análisis allí indicados y se van a mostrar los resultados obtenidos.

3.1. LOS FACTORES DE RIESGO EN CADA ÁMBITO

La tabla 1 presenta los 5 ámbitos en que se estructura el CS, así como los ítems o posibles factores de riesgo incluidos en cada uno de ellos. Para más información consultar *Informe anual de la Vulnerabilidad Social 2006, 2007*.

Tabla 1: Ítems del Cuestionario Social

ECONÓMICO	SOCIAL	AMBIENTAL/ VIVIENDA	FAMILIAR	PERSONAL
-Sin ingresos	-Baja cualificación profesional		-Hijos a su cargo (1 ó 2)	-Extranjero sin permiso
-Sin permiso de trabajo	-No comprende/habla español		-Hijos a su cargo (3 ó más)	-Dependencia
-Ingresos < 500€/mes	-Estudios primarios incompletos	-Vivienda temporal	-Otros familiares dependientes	-Discapacidad sobrevenida
-Sin alta en la Seguridad Social	-Analfabetismo	-Alquiler sin contrato	-Familia monoparental	-Depresión
-Trabaja sin contrato	-Sufre discriminación	-Vivienda sin servicios básicos	-Aislamiento involuntario	-Extranjero sin documentación
-Deudas en país de origen	-Víctima maltrato	-Hacinamiento	-Malos tratos con denuncia	-Extranjero con orden de expulsión
-Desempleo > 2 años	-Fracaso-abandono escolar	-Pueblo aislado	-Prisión en la familia	-Otra enfermedad grave
-Percibe pensión no contributiva	-Sufre racismo, xenofobia	-Barrio sin servicios mínimos Sin hogar	-Drogas en la familia	-Alzheimer o demencia
-Se dedica a actividades ilegales	-Víctima persecución	-Institucionalizado	-Abusos sexuales	-VIH Sida
-Trabaja por cuenta propia		-Semi institucionalizado		-Drogodependencia desintoxicación
-Percibe Renta Mínima				-Discapacidad genética
-Percibe pensión de viudedad				-Drogodependencia activa
-Prostitución				-Enfermedad mental
				-Alcoholismo
				-Hepatitis
				-Tuberculosis

3.2. INDICADORES DE RIESGO

En primer lugar se ha procedido a hacer una descriptiva de los indicadores de riesgo en cada ámbito, indicadores contruidos, según se ha comentado, en Rúa et al. (2008). Para una mejor comprensión de los mismos, sus valores se han normalizado entre 0 y 100. Los resultados de esta descriptiva se muestran en la tabla 2.

Tabla 2: Indicadores de riesgo por ámbitos

RIESGO ECONÓMICO			RIESGO SOCIAL			RIESGO AMBIENTAL		
Valores	Frec.	%	Valores	Frec.	%	Valores	Frec.	%
0	61	29,6	0	125	60,7	0	191	92,7
7,7	123	59,7	21,4	81	39,3	11,1	15	7,3
15,4	9	4,4	Total	206	100	Total	206	100
23,1	1	0,5						
30,8	1	0,5						
100	11	5,3						
Total	206	100						

RIESGO FAMILIAR			RIESGO PERSONAL		
Valores	Frec.	%	Valores	Frec.	%
0	185	89,8	0	105	51
21,4	21	10,2	21,4	59	28,6
Total	206	100	57,1	32	15,5
			100	10	4,9
			Total	206	100

Puede apreciarse que sólo en los ámbitos económico y personal los niveles de riesgo llegan a ser muy altos, pero afectan en este caso a un reducido porcentaje de participantes gallegos. Por su parte, los riesgos social, familiar y ambiental se sitúan en niveles poco elevados y mayoritariamente en niveles de riesgo nulos.

Si efectuamos una medida de nivel de riesgo en cada uno de los ámbitos, como media de esos valores, los resultados que se obtienen son los que se presentan en la tabla 3. Todos los niveles medios de riesgo son moderados o bajos, pero es de destacar que las varianzas en el caso del riesgo personal y económico son bastante altas.

Tabla 3. Niveles de riesgo medio por ámbitos

	RIESGO ECONÓMICO	RIESGO AMBIENTAL	RIESGO SOCIAL	RIESGO FAMILIAR	RIESGO PERSONAL
Media	10,87	0,81	8,43	2,18	19,87
Desv. típica	21,70	2,89	10,49	6,50	27,07

La agregación de estos 5 ámbitos de riesgo es la base para la determinación del indicador de riesgo global. No se muestran los diferentes valores que puede tomar dicho indicador porque, a diferencia de los anteriores, el conjunto de valores es muy amplio. Así, han sido recodificados de manera categórica (riesgos moderado, medio, alto y extremo) según muestra la tabla 4.

Tabla 4: riesgo global categorizado

Riesgo global	Categoría
0-24,5	moderado
24,5-42,5	alto
42,5-67,5	muy alto
>67,5	extremo

Puede llamar la atención el hecho de que el nivel de riesgo parta de moderado y se considere alto a partir de 24,5. Esto es así, porque los participantes que rellenan el cuestionario son aquellos que, a juicio del técnico de CRE presenten una delicada situación de vulnerabilidad y por ello es razonable que el menor nivel de riesgo considerado sea riesgo moderado.

Una vez creado el indicador de riesgo global o indicador global de vulnerabilidad y dado lo interesante de este nuevo indicador, se muestra su distribución en la tabla 5.

Tabla 5: Distribución del riesgo global.

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Moderado	195	94,66	94,66
Alto	11	5,34	100
Total	206	100	

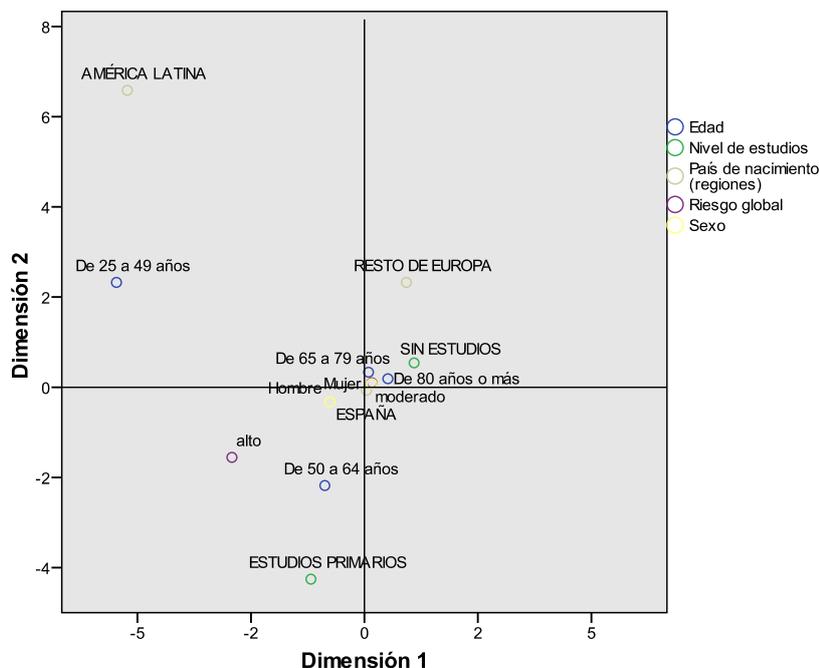
Se observa que el nivel más frecuente es el moderado y sólo un pequeño porcentaje de participantes (el 5%) presenta unos niveles altos de riesgo.

Con base en el indicador *riesgo global* y a través de su media aritmética, se obtiene un valor numérico que proporciona una **medida global de vulnerabilidad** para el conjunto de todos los individuos que han formalizado el cuestionario social, en este caso, los 206 gallegos comentados. El valor final obtenido para la medida global de vulnerabilidad ha sido de **1,2**, con una varianza muy pequeña. En función de la recodificación efectuada para esa variable, el valor del 1,2 obtenido para la medida global de vulnerabilidad se sitúa en la categoría de riesgo moderado, pero dentro de la horquilla de esa categoría, en la parte de riesgo más bajo. Si comparamos estos datos con la media de la población de CRE para España (medida global de vulnerabilidad de 26,8) se puede decir que los gallegos participantes de CRE presenta un riesgo global de vulnerabilidad mucho menor que en el resto de España.

3.3. EL RIESGO Y SU ASOCIACIÓN CON ALGUNAS VARIABLES SOCIOECONÓMICA

Con el objeto de ilustrar las posibles situaciones de riesgo y vulnerabilidad social con determinadas características socioeconómicas de los participantes se ha llevado a cabo un análisis de correspondencias múltiples (ACM) en el que se han incorporado las variables de riesgo global, el nivel de estudios, el grupo de edad el sexo y la nacionalidad por grandes regiones. El mapa perceptual resultado de este análisis aparece en la figura 1.

Fig. 1: Mapa perceptual del ACM



Se aprecia que la nacionalidad española se sitúa en el origen de coordenadas, asociada a personas sin estudios, de edades muy avanzadas y más próxima a la categoría de mujeres que de hombres. Por su parte, las personas de

edad entre 25 y 49 años aparecen vinculadas a América Latina, mientras que las edades de 50 a 64 años se vinculan a personas con estudios primarios y niveles de riesgo más alto.

3.4. TIPOLOGÍA DEL RIESGO DE VULNERABILIDAD SOCIAL

Aunque, a través del análisis del epígrafe precedente parece razonable decir que las personas más adultas están vinculadas a la nacionalidad española, sin estudios y niveles de riesgo moderado y nacionalidades extranjeras están asociadas a personas más jóvenes, con estudios primarios y mayores niveles de riesgo, es conveniente analizar un poco más en profundidad esta situación y tratar de conseguir una tipología de riesgo de vulnerabilidad social.

Con tal objetivo se ha procedido a realizar un análisis de conglomerados por el método de las k medias. Se han incorporado al análisis la variable de riesgo global, así como el sexo, la edad y el hecho de ser o no ser español. No se han considerado para el cluster las variables de riesgo en cada ámbito porque todas ellas presentaban correlación significativa con la variable de riesgo global y en aras a la sencillez del análisis se ha preferido excluirlas.

Para determinar el número de conglomerados más interesante de cara al análisis se barajaban dos opciones preferibles: Dos, para corroborar los resultados del ACP o tres, para intentar ahondar un poco más en las tipologías de riesgo. Considerar un número superior a tres no parecía razonable por el bajo número de datos y de variables integrantes del cluster. Finalmente, se ha elegido la solución de tres conglomerados y los resultados se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Resultado del análisis de conglomerados

Conglomerado	1	2	3
Sexo	0,73	0,81	0,88
Edad	55,00	84,90	70,64
Español	0,95	1,00	0,98
Riesgo global	20,05	7,60	5,05
Nº de casos	22	93	80

Efectivamente, en el conglomerado 1, que es el minoritario, se hallan situadas las personas de más riesgo, con edad más joven, con mayor porcentaje de varones (dentro de que la mayoría son mujeres, dado que la variable se ha codificado 0=hombre, 1=mujer) y con menor número de españoles y, por tanto, más extranjeros (dentro de que la mayoría son españoles, ya que la variable se ha codificado 1=español, 0=no español). Este conglomerado se correspondería, fundamentalmente por la mitad izquierda del mapa perceptual. Por su parte, los otros dos clusters se corresponden con el lado derecho y ofrece una matización al respecto del mapa, puesto que lo desagrega en dos situaciones: la que refleja el cluster 2 es la correspondiente a personas de mayor edad, todos ellos son españoles y tienen, en comparación con el resto de los cluster, un riesgo global intermedio. Además, constituye el grupo más numeroso. Por su parte, el conglomerado 3 tiene unas características similares al anterior, pero su edad es menor, hay más mujeres y tienen un riesgo menor. Este grupo es un poco menos numeroso que el anterior.

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha mostrado una metodología para el tratamiento de datos de carácter categórico y dicotómico y se aplicado al análisis de los datos del Cuestionario Social de Cruz Roja Española, con el objetivo de indagar acerca de la vulnerabilidad social de los participantes gallegos. Así, se han construido unos indicadores de riesgo en cada uno de los ámbitos del CS y se han agregado en un indicador de riesgo global, cuya media aritmética proporciona una medida global de vulnerabilidad. Además se ha realizado un ACM y un análisis cluster con las variables cuantitativas construidas a partir de las dicotómicas, para ofrecer una tipología de riesgo de los participantes de CRE en Galicia. De ese análisis se desprende que personas más adultas están vinculadas a la nacionalidad española, sin estudios y niveles de riesgo moderado y nacionalidades extranjeras están asociadas a personas más jóvenes, con estudios primarios y mayores niveles de riesgo.

En todo caso, la conclusión global más importante es que no se percibe un riesgo de vulnerabilidad social significativo en la Comunidad Gallega.

REFERENCIAS

Malgesini, G.; Rúa, A.; Redondo, R.; Martínez de Ibarreta, C. (2008) Vulnerabilidad social: un ejemplo de encuesta por parte de cruz roja española. V Congreso de Metodología de Encuestas. Córdoba.

Malgesini, G. (coordinadora) (2008) Informe anual de vulnerabilidad social 2007. Fundación Cruz Roja Española.

Malgesini, G. (coordinadora) (2007) Informe anual de vulnerabilidad social 2006. Fundación Cruz Roja Española.

Rúa, A.; Redondo, R., Martínez de Ibarreta, C., Malgesini, G. (2008). Vulnerabilidad social: un ejemplo de tratamiento de datos y resultados por parte de Cruz Roja Española. V Congreso de metodología de encuestas. Córdoba.

EXPERIENCIAS DOCENTES EN INGLÉS EN MATERIAS DE ESTADÍSTICA Y TEORÍA DE JUEGOS

Estela Sánchez Rodríguez¹ y Juan Carlos Pardo Fernández¹

¹Departamento de Estatística e Investigación Operativa. Universidade de Vigo

RESUMEN

La movilidad de estudiantes y profesores es una de las principales características del proceso de integración en el EEES. Para facilitar esta movilidad, algunas universidades han diseñado planes específicos para fomentar el interés por las lenguas extranjeras. Durante el período 2006-2009 hemos participado en los proyectos de promoción del plurilingüismo en la docencia que la Universidade de Vigo convoca anualmente. En este trabajo se exponen las actividades educativas y las metodologías docentes empleadas al impartir en inglés materias del ámbito de la estadística y de la investigación operativa. Las experiencias se han desarrollado en tres titulaciones: Economía (segundo y quinto curso), Administración y Dirección de Empresas (tercer curso) e Ingeniería Técnica Industrial (primero y segundo curso). Brevemente describiremos las actividades llevadas a cabo en cada uno de estos cursos. Expondremos también algunas conclusiones y propuestas de mejora de cara al futuro.

Palabras y frases clave: inglés, movilidad, plurilingüismo.

1. INTRODUCCIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

La integración de nuestro sistema universitario en el marco del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) supondrá una mayor movilidad de estudiantes y profesores entre las universidades europeas (véase la *Declaración de Bolonia*). En este nuevo contexto universitario, el dominio de lenguas será imprescindible.

Además del tradicional estudio reglado de las lenguas extranjeras, algunas universidades de nuestro entorno han comenzado a diseñar planes para la introducción del plurilingüismo en las aulas, algo ya habitual en muchas universidades europeas. Por ejemplo, la Universidad Carlos III de Madrid ofrece varias titulaciones que se pueden cursar íntegramente en inglés o de forma bilingüe castellano/inglés. La Universitat Pompeu Fabra incluye en muchos de sus planes de estudio de grado materias que deben ser cursadas obligatoriamente en inglés. También muchas universidades ofrecen estudios de postgrado con toda o parte de su docencia en inglés.

La Universidad de Vigo (UVigo) cuenta desde el año 2005 con un programa de promoción del plurilingüismo en las aulas. Este programa se materializa en convocatorias anuales abiertas a toda la plantilla docente. Los profesores seleccionados se comprometen a desarrollar la docencia de determinadas materias en los idiomas escogidos a cambio de una compensación económica. La participación en este programa no se tiene en cuenta a la hora de determinar la carga docente oficial del profesorado involucrado.

Durante el periodo 2006-2009 hemos participado en este programa para impartir en inglés la docencia de varias materias del ámbito de la estadística y de la investigación operativa en las titulaciones de Economía, Administración y Dirección de Empresas e Ingeniería Técnica Industrial. Las materias son las siguientes:

- *Estadística II* (troncal de 2º curso de la Licenciatura en Economía; 6 créditos). Profesora: Estela Sánchez. Curso 06-07.
- *Teoría de juegos* (optativa de 5º curso de la Licenciatura en Economía; 4.5 créditos). Profesora: Estela Sánchez. Curso 08-09.
- *Estadística III* (troncal de 3º curso de la Licenciatura en Administración y Dirección de Empresas; 6 créditos). Profesora: Estela Sánchez. Curso 07-08.
- *Métodos estadísticos de la ingeniería* (troncal de 1º o 2º curso de Ingeniería Técnica Industrial; 6 créditos). Profesor: Juan Carlos Pardo. Cursos 07-08 y 08-09.

A continuación expondremos brevemente las actividades realizadas en los distintos cursos. Las características de los grupos docentes han sido muy dispares, fundamentalmente en cuanto al número de estudiantes. Por esta razón hemos clasificado las actividades según el tamaño del grupo en el que se han puesto en práctica.

2. ACTIVIDADES CON GRUPOS PEQUEÑOS

Describimos las distintas metodologías puestas en práctica dependiendo del perfil del alumno:

- Las clases teóricas fueron impartidas de tres formas diferentes:
 - Íntegramente en inglés (*Estadística II*). Se creó un grupo paralelo en el que los alumnos se anotaban voluntariamente. La participación fue escasa: sólo 4 alumnos asistieron regularmente a clase. Uno de ellos consiguió un intercambio Erasmus al año siguiente y otro una beca del programa ISEP.
 - Virtuales a través de la plataforma de docencia virtual (*Estadística III*). Se creó un grupo con los alumnos que voluntariamente aceptaron participar. Los alumnos participantes se comprometieron a realizar ejercicios y plantear dudas a través del foro, siempre utilizando la lengua inglesa. Participaron activamente 12 alumnos.

- Bilingües (*Teoría de juegos*). El binomio formado por el elevado porcentaje de alumnos extranjeros interesados en la asignatura y la predisposición de los alumnos españoles para con la lengua inglesa propiciaron un ambiente óptimo para mantener clases en inglés y en español.
- El material del curso (boletines, teoría, terminología propia de la asignatura, ...) fue elaborado por el profesor. El programa de promoción de la propia universidad disponía de un servicio de ayuda a la traducción, que fue utilizado en alguna de las materias. En el caso particular de la asignatura de *Teoría de juegos* se utilizó fundamentalmente la edición original en inglés del libro básico recomendado para dicha materia, complementado con su traducción al español.
- La evaluación se llevó a cabo dependiendo de la metodología empleada: en *Estadística II* se realizó un examen final en inglés; en *Estadística III* no se tuvo en cuenta la participación en el programa en la evaluación de la asignatura y los alumnos fueron evaluados con el grupo en español; en *Teoría de juegos* se evaluó a los alumnos a través de los trabajos realizados y sus exposiciones en la propia clase (todas las presentaciones fueron escritas en inglés, si bien algunos alumnos optaron por hacer una presentación bilingüe). Destacamos la riqueza aportada por el número de alumnos Erasmus inscritos en esta materia (9 de 20 alumnos) procedentes de Bélgica, Polonia, Alemania, República Checa, entre otros países.

3. ACTIVIDADES CON GRUPOS GRANDES

En la materia *Métodos estadísticos de la ingeniería* los grupos de estudiantes han sido muy numerosos, tanto durante el curso 07-08 (aproximadamente 50 estudiantes asistieron a clase de forma regular) como durante el curso 08-09 (75 estudiantes). Con grupos tan numerosos el profesor no dispone de gran cantidad de recursos para hacer las clases todo lo participativas que sería deseable. Aún así, se han organizado actividades para incentivar el uso oral y escrito de la lengua inglesa:

- Las clases teóricas se desarrollan íntegramente en inglés. Los estudiantes disponen de material en inglés (copias de las presentaciones utilizadas, boletines de ejercicios, algunos ejercicios resueltos).
- Durante el curso 07-08, los estudiantes, de forma voluntaria, podían resolver y explicar ejercicios en la pizarra. En algunas ocasiones incluso preparaban pequeñas presentaciones en un ordenador. Estas exposiciones eran programadas con antelación y duraban alrededor de 10 minutos.
- Durante el curso 08-09, se ha organizado a través de la plataforma de docencia virtual un glosario en formato *wiki* que los alumnos construyen a lo largo del curso. Este glosario contiene palabras del ámbito de la estadística y de la ingeniería que aparecen con frecuencia en clase o en los documentos de trabajo.
- Durante el curso 08-09 se ha construido un calendario de actividades en formato *wiki*. Después de cada clase, el profesor pide a uno de los estudiantes que incorpore una breve descripción en inglés de las actividades realizadas.

- La evaluación se lleva a cabo a través de ejercicios o exámenes parciales, todos ellos realizados íntegramente en inglés.

4. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE MEJORA

Concluimos este trabajo con una breve reflexión acerca de los puntos fuertes y débiles de nuestra experiencia.

Entre los puntos fuertes, destacamos que se trata de una experiencia nueva y enriquecedora tanto para el profesor como para el alumno. Por parte del docente, requiere más dedicación en la preparación del material y las clases, y más concentración en la explicación de la materia. Por parte del discente, más motivación y atención para seguir el ritmo de la clase.

La motivación es también doble si pensamos en los objetivos que se consiguen con la puesta en marcha de este programa. El alumno adquiere vocabulario específico de la materia y de su ámbito de estudio (que difícilmente adquiriría en la enseñanza habitual de idiomas), lo cual facilitará su participación en programas de movilidad (intercambios Erasmus o ISEP) o la continuación en programas de postgrado. Además obtiene un complemento a su curriculum con un certificado acreditativo de haber participado en esta actividad. Por su parte, el profesor recicla su inglés, instrumento fundamental para el desarrollo de su investigación (lectura y redacción de artículos científicos, la participación en congresos, etc).

En cuanto a los puntos débiles y sus propuestas de mejora, destacamos los siguientes. La institución debería seleccionar al profesorado con criterios objetivos y medir los resultados conseguidos para su mejora en convocatorias posteriores. Los grupos impartidos en inglés deberían ser incorporados al cómputo global del plan de ordenación docente. Respecto al estudiante, debería de poder disponer de información referente a las materias impartidas en inglés (o en otros idiomas) en el momento de efectuar la matrícula. Aunque todos los alumnos partícipes de esta experiencia recibieron una certificación de participación avalada por el profesor de la materia, sería interesante que la propia institución certificase oficialmente las materias cursadas en inglés en el suplemento al título.

REFERENCIAS

Declaración de Bolonia: declaración conjunta de los ministros europeos de educación del 19 de junio de 1999 (disponible en www.eees.es/pdf/Bolonia_ES.pdf).

Página web de la Universidad Carlos III de Madrid (www.uc3m.es).

Página web de la Universidade de Vigo (www.uvigo.es).

Página web de la Universitat Pompeu Fabra (www.upf.edu).

APLICACIÓN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA EL ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD A LA OXIDACIÓN (OOT) DE DOS TIPOS DE BIODIESEL

J. Tarrío-Saavedra¹, S. Naya¹, R. Artiaga² y J. López-Beceiro²

¹Departamento de Matemáticas. Escola Politécnica Superior. Universidade da Coruña.

²Departamento de Enxeñería Industrial II. Escola Politécnica Superior. Universidade da Coruña.

RESUMEN

El principal objetivo de este trabajo ha sido el empleo del diseño de experimentos para la caracterización, en cuanto a la estabilidad a la oxidación, de dos tipos diferentes de biodiesel (soja y palma) además de la influencia de otros factores como son la adición 400 ppm de antioxidante (Baynox) o el aumento de la presión (muy importante para reproducir las condiciones dentro de un motor de combustión interna). Se ha considerado oportuno utilizar técnicas de análisis térmico y, en particular, la técnica PDSC (pressure differential scanning calorimetry) para medir dicha estabilidad. Se ha elegido como parámetro indicador de la misma el llamado OOT (oxidative onset temperature). Para tal fin se ha realizado un diseño de experimentos teniendo en cuenta los tres factores anteriormente enunciados, lo cual ha permitido medir la influencia de la variación de cada uno de ellos sobre la respuesta (OOT). El empleo de las herramientas estadísticas correspondientes al diseño de experimentos ha permitido, además, caracterizar el comportamiento de una mezcla al 50% en peso de cada uno de los tipos de biodiesel.

Palabras e frases clave: biodiesel, estabilidad a la oxidación, diseño de experimentos, PDSC.

1. INTRODUCCIÓN

El biodiesel es un biocombustible líquido obtenido a partir de grasas naturales, tales como los aceites vegetales o las grasas animales, a través de procesos de esterificación y transesterificación. El resultado de estas transformaciones es susceptible de aplicarse como sustitutivo parcial de los productos derivados del petróleo. La combinación de los aceites de partida con un alcohol de bajo peso molecular y un catalizador (usualmente hidróxido de sodio), da lugar a este producto (ácidos grasos constituidos por cadenas largas de monoalkyl esters), muy similar al combustible “diesel” derivado del petróleo o mismo a la glicerina. Los biodiesel comerciales actualmente más utilizados son aquellos que se encuentran formando mezcla con otros combustibles. El objetivo concreto de este trabajo ha sido el estudio de dos tipos de biodiesel puros: el conseguido a partir de soja y el obtenido a partir de aceite de palma (más común en países como Brasil).

Los aceites vegetales están protegidos frente a la oxidación gracias a unos antioxidantes que, precisamente, se pierden durante el proceso de obtención del biodiesel. Por esta razón, el biodiesel no es estable y se oxida al contacto con el aire, por lo que es esencial controlar su tiempo de almacenamiento, pues los productos de esta oxidación pueden dañar considerablemente los motores de combustión interna. En definitiva, la estabilidad frente a la oxidación se convierte en uno de los más importantes criterios para definir la calidad de un biodiesel.

Entre otras técnicas, el análisis térmico se ha postulado recientemente como uno de los estándares más comúnmente utilizados en la medición de la estabilidad a la oxidación de un biodiesel. En particular, la técnica PDSC, calorimetría diferencial de barrido bajo presión (estándar ASTM D 6186), se ha mostrado superior a las demás en cuanto a que proporciona tiempos de ensayo mucho más cortos utilizando cantidades de muestra mucho más pequeñas.

Mediante esta última técnica se obtienen las diversas medidas del parámetro que caracteriza la estabilidad a la oxidación de un biodiesel. Este parámetro se denomina “oxidation onset temperature” (OOT, estándar ASTM E2009). Los valores de este parámetro se pueden obtener tanto a presión ambiente como a altas presiones. El estudio del OOT a altas presiones se justifica por la necesidad de reproducir lo más fielmente posible las condiciones especiales de funcionamiento dentro de un motor de combustión interna. Valores altos de OOT se corresponden con alta estabilidad a la oxidación.

Se ha estimado necesario utilizar, previamente a la experimentación, una planificación con vistas a poder aplicar convenientemente las técnicas relacionadas con el diseño de experimentos.

2. EXPERIMENTAL

2.1. Materiales

Tanto el biodiesel obtenido a base de aceite de soja como el obtenido a base de aceite de Palma han sido directamente adquiridos gracias a Entaban, biocombustibles de Galicia, S.A (Ferrol, España), fabricantes y suministradores. Se ha considerado, además, la posibilidad de la adición de antioxidantes. En este caso se ha utilizado el antioxidante comercial Baynox (6,6'-Di-tert.-butyl -2,2'-methylen-di-p-kresol disuelto en biodiesel) suministrado por Entaban, SA. Se han añadido 400ppm a las muestras que, atendiendo al diseño de experimentos, lo han requerido.

2.2. Procedimiento: diseño de experimentos

Se han preparado para su estudio muestras de masa comprendida entre 3 y 3.3 mg de dos tipos diferentes de biodiesel: palma y soja. Posteriormente se ha considerado interesante añadir un nivel más a este factor: el correspondiente a la mezcla de biodiesel de palma y biodiesel de soja con un 50% en peso de cada componente. Se ha querido estudiar también la influencia de la adición de antioxidantes. Por consiguiente, se ha evaluado el efecto de la adición de 400 ppm de Baynox en ambos tipos de biodiesel. Además, se ha querido evaluar el efecto de tres niveles diferentes de presión sobre el resultado final de la experimentación: 3.5 MPa (E 2009), 1.75 MPa and 0.35 Mpa.

Se propone aplicar un diseño de experimentos con tres factores donde se han realizado dos réplicas por cada tratamiento:

- Presión, con tres niveles.
- Tipo de biodiesel, con tres niveles: soja, palma y soja-palma (50%-50%).
- Presencia de antioxidante, con dos niveles: presencia o ausencia.

Se ha realizado un análisis multifactorial de la varianza para OOT. Se han utilizado varios test y gráficos para determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo en OOT.

2.3. Obtención de datos

Los experimentos PDSC han sido llevados a cabo en un calorímetro TA Instruments MDSC Q-2000 con célula de presión. Muestras con una masa comprendida entre 3 y 3.30 mg han sido dispuestas dentro de una cápsulas tipo T-zero y, seguidamente las cápsulas han sido dispuestas convenientemente en la célula de presión del calorímetro. Se han calentado las muestras desde temperatura ambiente a 270°C, a una razón constante de 10°C/min [1]. El flujo de oxígeno en todas las muestras ha sido de 50 ml/min. Con el fin de completar la experimentación y evaluar el efecto de la presión sobre el OOT, se han propuesto experimentos a 3.5, 1.75 y 0.35 MPa. Se obtiene como resultado una señal de flujo de calor PDSC a partir de la cual es posible calcular el parámetro OOT (temperatura a la cual se observa un aumento brusco en la velocidad de oxidación).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observa que la estabilidad a la oxidación resulta mayor para el biodiesel de palma. Además también se intuye cierta influencia en el aumento de la estabilidad (OOT) mediante la adición de antioxidante a esta presión. Ahora cabría preguntarse si estas diferencias son realmente significativas o responden únicamente al error experimental.

Para poder llegar a estas conclusiones, en un principio, se ha diseñado la experimentación suponiendo de antemano un factor bloque con dos niveles: el primer nivel corresponde a la primera toma de datos y el segundo a la réplica. La razón de este bloqueo responde a que se esperan diferencias significativas entre la primera tanda de experimentos y la segunda debido a que, incluso una diferencia de pocos días en la toma de muestras, puede influir de manera apreciable en los valores de la respuesta (OOT). Dado que la segunda tanda de ensayos, por el tiempo requerido de cada uno, se ha realizado con una ligera dilación con respecto a la primera (del orden de dos días), se ha juzgado oportuno bloquear [2, 3]. La diferencia, aunque mínima, de la cantidad de muestra y de la posición de la misma dentro de la celda del calorímetro, son razones adicionales para optar por el bloqueo. Los datos de partida para el análisis estadístico aparecen en la Tabla 1.

El modelo resultante es análogo al de un diseño de cuatro vías de efectos principales con una sola réplica:

$$y_{ijkh} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + \theta_h + \varepsilon_{ijkh}$$

Donde y_{ijkh} hace referencia a la respuesta (OOT) evaluada en el tipo i -ésimo, en el nivel j -ésimo del factor Baynox, en el nivel de presión k -ésimo y en la h -ésima réplica ($h = 1, 2$); μ denota la estabilidad a la oxidación media y $\alpha_i, \beta_j, \delta_k$ y θ_h representan los efectos diferenciales (respecto a la media) en la respuesta OOT de los distintos niveles de cada factor o bloque.

Tabla 1. Valores de la respuesta (OOT) para cada tratamiento estudiado.

OOT	Presión	Bainox	Tipo	Bloque	OOT	Presión	Bainox	Tipo	Bloque
183,97	500	0	Palma	1	184,22	500	0	Palma	2
187,48	250	0	Palma	1	187,18	250	0	Palma	2
194,79	50	0	Palma	1	194,49	50	0	Palma	2
188,24	500	400	Palma	1	188,91	500	400	Palma	2
191,85	250	400	Palma	1	193,56	250	400	Palma	2
199,52	50	400	Palma	1	199,28	50	400	Palma	2
172,76	500	0	Soja	1	173,2	500	0	Soja	2
177,28	250	0	Soja	1	177,26	250	0	Soja	2
182,2	50	0	Soja	1	181,4	50	0	Soja	2
176,89	500	400	Soja	1	177,05	500	400	Soja	2
179,8	250	400	Soja	1	179,95	250	400	Soja	2
184,46	50	400	Soja	1	185,99	50	400	Soja	2

El cálculo de los coeficientes de determinación o porcentaje de variabilidad achacable a cada factor sugiere que no existen diferencias significativas entre los niveles del factor bloque (diferentes días de realización del experimento). Así pues, el factor bloque representa tan sólo el 0.03% de la variabilidad de la respuesta, porcentaje despreciable por sí mismo y en comparación con el porcentaje de variabilidad explicada correspondiente a los demás factores del modelo.

3.1. Modelo completo con tres factores tratamiento

A la vista de los resultados del primer diseño se ha considerado oportuno proponer un modelo diferente. Se plantea un diseño con tres factores tratamiento (donde sus niveles se cruzan en todas las combinaciones posibles) replicado. La ventaja de este segundo modelo es que se dispone de suficientes grados de libertad para el estudio de interacciones.

Una vez comprobado que las diversas réplicas no provocan diferencias significativas en la respuesta, se propone ampliar el diseño introduciendo un nuevo nivel, dentro del factor Tipo de biodiesel, que representa la mezcla al 50% en peso de soja y palma [2]. El objeto de esta ampliación es descubrir una posible sinergia entre los dos tipos que provoque efectos diferentes a los esperados para la mezcla, es decir, que el gráfico de perfil se aparte de una posible línea recta. Este hecho, dadas las diferencias de precio de uno y otro tipo, sería interesante para futuras aplicaciones.

El modelo matemático resultante es análogo al de un diseño completo de tres vías replicado:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\delta)_{ik} + (\beta\delta)_{jk} + (\alpha\beta\delta)_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

- y_{ijk} hace referencia a la respuesta (OOT) evaluada en el tipo i -ésimo, en el nivel j -ésimo del factor. Baynox, en el nivel de presión k -ésimo y en la t -ésima réplica ($t = 1, 2$).
- μ denota la estabilidad a la oxidación media.
- α_i denota el efecto diferencial (respecto a la media μ) en la respuesta OOT del tipo de biodiesel i -ésimo.
- β_j representa el efecto diferencial (respecto a la media μ) en la respuesta OOT de la adición o no de antioxidante al biodiesel, el efecto del nivel j -ésimo del factor Baynox.
- δ_k representa el efecto diferencial en la respuesta OOT del nivel de presión k -ésimo.
- $\alpha\beta_{ij}$ es el efecto de la interacción entre el i -ésimo tipo de biodiesel y el j -ésimo nivel del factor Baynox.
- $\alpha\delta_{ik}$ denota el efecto de la interacción entre el i -ésimo tipo de biodiesel y el k -ésimo nivel del factor Presión.
- $\beta\delta_{jk}$ es el efecto de la interacción entre el j -ésimo nivel de Bainox y el k -ésimo nivel del factor Presión.
- ε_{ijk} denota la parte de la respuesta y_{ijk} no explicada por el modelo. Se asume que los ε_{ijk} son todos ellos independientes e idénticamente distribuidos según una $N(0, \sigma)$. Por lo tanto, se supone la homocedasticidad de los errores.

Los estimadores por mínimos cuadrados de los parámetros arriba mencionados son únicos. Aplicando las restricciones pertinentes, $\sum \hat{\alpha}_i = \sum \hat{\beta}_j = \sum \hat{\delta}_k = \sum \sum (\alpha\beta)_{ij} = \sum \sum (\alpha\delta)_{ik} = \sum \sum (\beta\delta)_{jk} = \sum \sum (\alpha\beta\delta)_{ijk} = 0$, se obtiene el valor de los mismos [4].

Para comprobar el hecho de la existencia de diferencias significativas achacables a las posibles interacciones, se analizaron los diferentes coeficientes de determinación en la tabla ANOVA:

$$R^2(\text{tipo}) + R^2(\text{Baynox}) + R^2(\text{Presión}) + R^2(\text{Presión} * \text{Baynox}) + R^2(\text{Presión} * \text{Tipo}) + R^2(\text{Tipo} * \text{Baynox}) + R^2(\text{Tipo} * \text{Baynox} * \text{Presión}) + R^2(\text{error}) = 0.5421 + 0.1096 + 0.3333 + 0.0009 + 0.0040 + 0.0038 + 0.0028 + 0.0037$$

La variabilidad explicada por cada una de las interacciones ha resultado ser de igual o menor valor que la variabilidad no explicada o error, 0,37%. Por consiguiente se concluye que las interacciones no influyen significativamente en el valor de la respuesta (OOT).

Como consecuencia de estos últimos razonamientos, se ha ensayado el modelo de efectos principales.

3.2. Modelo de efectos principales con tres factores tratamiento

El modelo matemático resultante es análogo al de un diseño completo de tres vías con dos réplicas:

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + \varepsilon_{ijkl}, \text{ donde cada sumando ya ha sido anteriormente definido.}$$

La tabla 2 representa la tabla ANOVA para el modelo de efectos principales de tres vías, dos veces replicado. Mediante la inspección de la misma se ha de poder establecer conclusiones tales como qué factores inducen diferencias significativas en la respuesta (OOT) y qué factores son susceptibles de explicar el modelo.

Se observa que el coeficiente de determinación correspondiente al modelo de efectos principales es $R^2 = 0,982$. El valor es muy alto, por lo tanto se infiere que el modelo de efectos principales explica convenientemente la variabilidad de los datos. Considerando además que el coeficiente de determinación del modelo completo era de $R^2 = 0,993$, se concluye que, siendo la diferencia entre los dos coeficientes ínfima, no se pierde una información apreciable al pasar del modelo completo al de efectos principales.

Tabla 2. Tabla ANOVA del modelo efectos principales de tres vías ($R^2 = 0,985$ y R^2 corregido = 0,982).

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significac.
Modelo corregido	1639,493	5	327,899	391,891	0,000
Intersección	1225500,661	1	1225500,661	1464669,856	0,000
Presion	554,753	2	277,377	331,510	0,000
Baynox	182,430	1	182,430	218,033	0,000
Tipo	902,310	2	451,155	539,203	0,000
Error	25,101	30	0,837	---	---
Total	1227165,255	36	---	---	---
Total corregida	1664,594	35	---	---	---

Las diferencias en la respuesta debidas a todos los factores han resultado altamente significativas (p -valor ≈ 0). Por otra parte, la suma de cuadrados debida a cada uno de los factores son todas del mismo orden de magnitud dando lugar a coeficientes de determinación parcial similares y lo suficientemente importantes como para explicar una parte considerable de la varianza de los datos.

Una vez aceptado el modelo de efectos principales, el siguiente paso es hallar su forma funcional, la estimación de sus parámetros atendiendo a la especial parametrización utilizada por el paquete SPSS. De este modo, los parámetros que se igualan a 0 por redundantes son $\alpha_3 = \beta_2 = \delta_3 = 0$ mientras que los demás resultan: $\hat{\mu} = \bar{y}_{323} = 176,815$; $\hat{\alpha}_1 = \bar{y}_{1...} - \bar{y}_{3...} = 9,552$; $\hat{\alpha}_2 = \bar{y}_{2...} - \bar{y}_{3...} = 3,818$; $\hat{\beta}_1 = \bar{y}_{.1.} - \bar{y}_{.2.} = -4,502$; $\hat{\delta}_1 = \bar{y}_{.1.} - \bar{y}_{...3} = 12,104$ y $\hat{\delta}_2 = \bar{y}_{.2.} - \bar{y}_{...3} = 4,348$.

El modelo estimado presenta la siguiente forma funcional respecto a las variables dummy resultantes:

$$y = 176,815 + 9,552 \cdot X1 + 3,818 \cdot X2 - 4,502 \cdot Z1 + 12,104 \cdot W1 + 4,348 \cdot W2 + \varepsilon,$$

$X1 = 1$ si la respuesta se toma con un biodiesel de tipo Palma, 1, y $X1 = 0$ en otro caso.

$X2 = 1$ si la respuesta se toma con un biodiesel de tipo Soja, 2, y $X2 = 0$ en otro caso.

$Z1 = 1$ si la respuesta se toma sin adición de Baynox, y $Z1 = 0$ en otro caso.

$W1 = 1$ si la respuesta se toma a 0,35 MPa, y $W1 = 0$ en otro caso.
 $W2 = 1$ si la respuesta se toma a 1.75 MPa, y $W2 = 0$ en otro caso.

Una vez estimados los parámetros, se ha juzgado necesario verificar las hipótesis del modelo. Interesa, en cualquier caso, que se cumplan las hipótesis de normalidad y heterocedasticidad, con lo cual se actúa de forma permisiva en la evaluación de las mismas.

En primer lugar se verifica la normalidad usando para ello el gráfico Q-Q (Figura 1.a). Se puede observar que más o menos los puntos correspondientes a los cuantiles de la respuesta se van situando sobre los cuantiles de la distribución normal correspondiente, siguiendo, a grandes rasgos, una misma tendencia y sin apartarse en demasía en la zona de las colas, asociada a los extremos del gráfico. En conclusión, se ha mostrado factible, mediante la observación del QQ plot, aceptar la hipótesis de normalidad.

El p-valor del test de Levene ha resultado 0.041. Además no se observa tendencia clara ni en el gráfico de valores pronosticados frente a residuos tipificados (Figura 1.b). ni en la Figura 2.a. No habiendo evidencias concluyentes sobre la existencia de heterocedasticidad, se acepta la hipótesis de varianzas iguales.

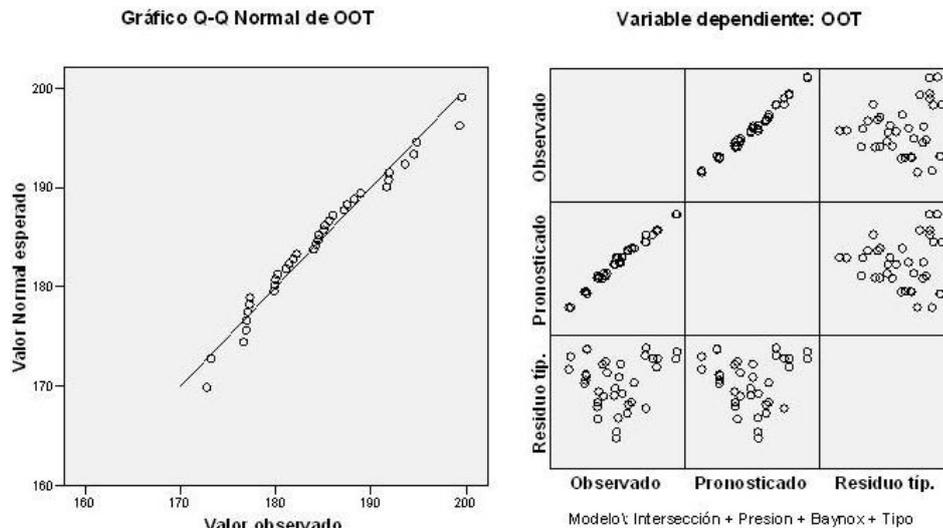


Figura 1.a) Q-Q Plot y b) gráfico matricial de los residuos.

La hipótesis de independencia parece cumplirse a la vista del gráfico de residuos tipificados vs. valores observados: forman una nube asimétrica aunque sin tendencia. La bondad del ajuste queda refrendada gracias al gráfico de valores observados frente a valores pronosticados ya que los pares de puntos se disponen según una marcada y estrecha línea recta.

Para realizar el estudio de comparaciones múltiples se han elegido los métodos de Tuckey (por ser el más indicado para comparaciones “pairwise”). Todos métodos han mostrado que todos los niveles de cada factor son diferentes unos de otros al haberlos comparado, dos a dos, y resultar las diferencias significativas (Tablas 2 y 3). Gracias a los gráficos de perfil, se observa la tendencia de la respuesta del modelo con respecto a cada uno de los factores por separado (Figura 3). Los resultados están de acuerdo con Artiaga et al [1].

Por último, se ha estudiado la existencia o no de una sinergia significativa al mezclar los dos tipos de biodiesel. Se ha aplicado un modelo lineal a los datos correspondientes a las medias marginales para cada nivel del factor Tipo. La predicción del modelo para el nivel mezcla Palma-Soja al 50% en peso no se encuentra dentro del intervalo de confianza de la media marginal para dicho nivel, en consecuencia se puede considerar que el efecto de la mezcla produce un efecto significativo sobre la respuesta a un nivel de confianza del 95% (Figura 2.b).

Tabla 2. Comparaciones múltiples. Factor presión

DHS de Tukey	(I) Presion	(J) Presion	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación	Límite superior	Límite inferior
		0,35	1,75	5,7342	0,37343	0,000	4,8136
3,5			9,5517	0,37343	0,000	8,6311	10,4723
1,75		0,35	-5,7342	0,37343	0,000	-6,6548	-4,8136
		3,5	3,8175	0,37343	0,000	2,8969	4,7381
3,5		0,35	-9,5517	0,37343	0,000	-10,4723	-8,6311
		1,75	-3,8175	0,37343	0,000	-4,7381	-2,8969

Tabla 3. Comparaciones múltiples. Factor Tipo.

DHS de Tukey	(I) Tipo	(J) Tipo	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación	Límite superior	Límite inferior
	Palma	Palma-Soja	Soja	7,7567	0,37343	0,000	6,8361
Palma-Soja	Palma	Soja	-7,7567	0,37343	0,000	-8,6773	-6,8361
Soja	Palma	Palma-Soja	-12,1042	0,37343	0,000	-13,0248	-11,1836
	Soja	Palma-Soja	-4,3475	0,37343	0,000	-5,2681	-3,4269

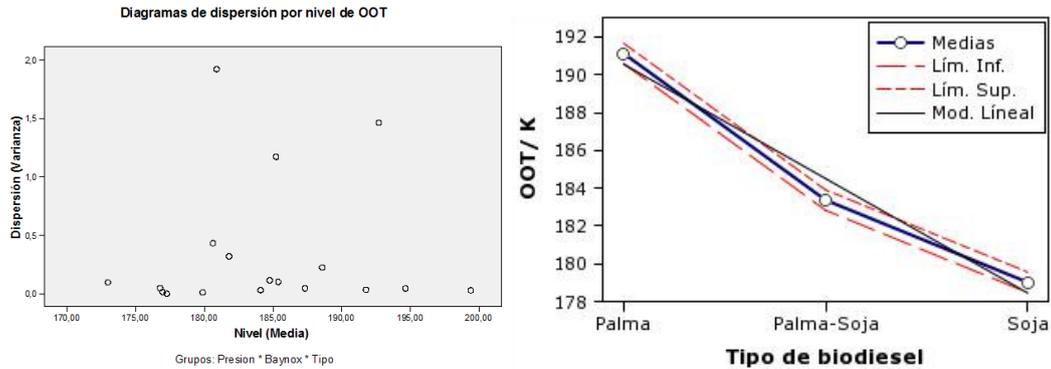


Figura 2.a) Diagrama de dispersión por nivel de OOT y b) medias de OOT por nivel de Tipo de biodiesel.

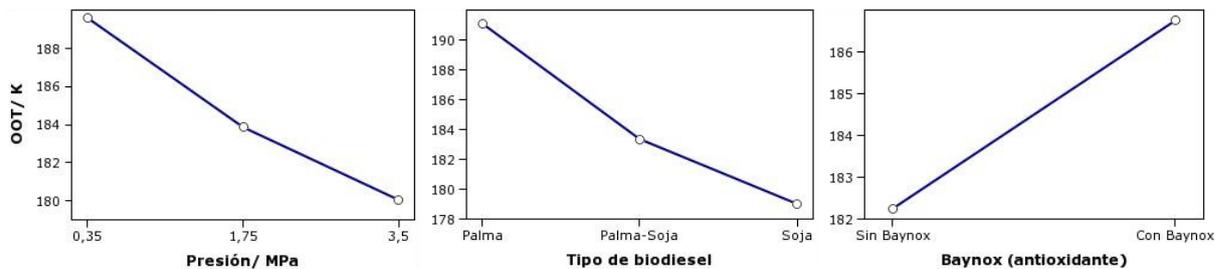


Figura 3. Gráfico de perfil para el factor Presión, Tipo y Baynox.

4. CONCLUSIONES

1. Se ha encontrado que el diseño que mejor se ajusta a los datos es el modelo de efectos principales con tres factores tratamiento replicado.
2. Cuanto mayor es la presión, menor es la estabilidad a la oxidación.
3. La adición de Baynox incrementa la estabilidad a la oxidación.
4. El biodiesel obtenido a partir del aceite de palma presenta una mayor estabilidad a la oxidación que el obtenido a partir de soja.
5. Se ha observado una cierta sinergia al mezclar los dos tipos de biodiesel, provocando efectos en la respuesta ligeramente diferentes a los esperados para una relación lineal.

Agradecimientos: Los autores agraden a la empresa Entaban, biocombustibles de Galicia, S.A las muestras suministradas, así como la financiación aportada por el proyecto MTM2008-00166.

REFERENCIAS

- [1] Artiaga, R., López-Beceiro, J., Tarrío-Saavedra, J., Mier J.L, Naya, S. y Gracia, C. (2009). Oxidation stability of soy and palm based biodiesels evaluated by Pressure Differential Scanning Calorimetry. ASTM (aceptado para el próximo manual sobre biocombustibles de la ASTM).
- [2] Box, G. E., Hunter, J. S. Y Hunter, W. G. (2008) Estadística para investigadores. Editorial Reverté.
- [3] Juran, J. M. y Gryna M. (2001). Manual de control de calidad. Volumen II. McGraw-Hill.
- [4] Montgomery, D. C. (2005). Design and Analysis of Experiments. John Wiley & Sons.

Índice de Autores

A

Almeida, L., 151
Alonso Meijide, J. M., 159, 165
Álvarez Díaz, M., 303
Álvarez Mozos, M., 165
Alves-Pérez, M. T., 167
Andersen, P. K., 27
Arahetes García, A., 85
Arahetes Garcia, A., 341
Arias, J., 225
Artiaga, R., 351

B

Barajas Alonso, A., 173
Batadero, C., 7, 201
Bergantiños, G., 177

C

Cabanelas Lorenzo, P., 251
Cadarso Suárez, C., 45
Caldas, A., 181
Calle, F., 225
Calvo Ocampo, E., 271
Campos, J., 109
Carpente, L., 181
Carreira, V., 291
Carreras, F., 159
Carrión, P., 109
Carvalho, M., 187
Carvalho, M. S., 103, 115, 135
Casas Méndez, B., 195
Contreras, J. M., 201
Cordente Martínez, C. A., 207
Cotos Yáñez, T. R., 219
Crujeiras Casais, R. M., 211, 291
Cruz, J., 151
Cubiella-Fernández, J., 167

D

Darriba Estévez, M., 73, 219
Deb, J., 161
Dias, A., 103
Dias, L., 129
Díaz, C., 201
Domínguez Gómez, R., 61

E

Equipo de Epidat 4, 49
Estrada, A., 31

F

Faraldo, P., 291
Fernández Casal, R., 219
Fernández de Castro, B., 291
Fernández Prieto, M., 231
Fernández Prol, F., 231
Fernández Pulpeiro, E., 79
Ferreira, B., 129
Ferreira, F., 257
Ferreira, H., 151
Fidalgo Álvarez, L. E., 325
Fiestras Janeiro, M. G., 165
Figueiredo, M., 123, 257
Formella, A., 109
Fagnelli, V., 195
Fuentes Santos, I., 67

G

Gálvez, J. F., 109
García García, M. J., 167
García Jurado, I., 195
García Rodríguez, P., 225
García Soidán, P., 207, 231, 235
Gómez Rúa, M., 239
González Díaz, J., 161
González Gómez, M., 303

González Manteiga, W., 61, 67
 González Vilas, L., 73
 González, D., 311
 González-Portela Garrido, A. T., 243, 251
 Gonzalo Orden, J. M., 325
 Guardia, T., 21

H

Hervada Vidal, X., 45
 Hussain, D., 257

I

Iglesias Pérez, M. C., 265

K

van Keilegom, I., 211

L

Laza, R., 311
 Lima, R., 123
 Lombardía Cortiña, M. J., 61, 291
 López Vizcaíno, E., 61, 271, 275
 López, F., 225
 López, J., 311
 López-Beceiro, J., 351
 Lorenzo, L., 177
 Lorenzo-Freire, S., 177, 181
 Luaces Pazos, R., 281
 Lustres Pérez, V., 79

M

Malgesini, G., 335
 Malvar Pintos, A., 93
 Marey Pérez, M. F., 67
 Martínez de Ibarreta Zorita, C., 85, 335, 341
 Martínez-Silva, I., 167
 Martins, J. A., 31
 Matías, J. M., 291
 Meira-Machado, L., 285
 Menezes, R., 235
 Mirás Calvo, M. A., 37
 Monteiro, H., 53
 Muro, J., 21

N

Nascimento, M. M., 31
 Naveira Barbeito, G., 49, 93
 Naya Fernández, S., 97, 291, 351
 Novgil Souto, J. V., 5

Novelle, J. J., 109
 Nunes, E., 187, 297

O

Oliveira, J., 115
 Oliveira, J. A., 143
 Oliveira, L. C., 123
 Otero Giráldez, M., 303

P

Pardo Fernández, J. C., 347
 Pavón, R., 311
 Pereira, G., 129
 Pérez González, A., 219
 Pérez, M., 311
 Pinho, T., 135
 Pinto, A., 151
 Prada Sánchez, J. M., 61
 Prieto, F., 319

R

Ramil Novo, L. A., 325
 Reboiro, M., 311
 Redondo Palomo, R., 85, 335, 341
 Rigueira Rey, L., 325
 Roca-Pardiñas, J., 79, 285
 Rodríguez Muñños, M. A., 45
 Rua Vieites, A., 85, 335, 341

S

Sáez Ocejo, J. L., 243
 Salicrú, M., 13
 Sánchez Bello, P., 281
 Sánchez Fernández, P., 173, 275, 281
 Sánchez Pla, A., 3
 Sánchez Rodríguez, E., 347
 Sánchez Soriano, J., 19
 Santiago Pérez, M. I., 49, 93
 Sarabia, J. M., 319
 Seoane Pillado, T., 45
 Sestelo, M., 79
 Sillero Quintana, M., 207
 Silva, B., 143
 Sousa, S., 297
 Stirling, J., 207

T

Tarrío-Saavedra, J., 351
 Teixeira, A., 53

Telhada, J., 103, 115, 135, 187

Torres Palenzuela, J. M., 73, 219

U

de Uña Álvarez, E., 213

V

Vaamonde Liste, A., 243, 251, 275, 281

Valcarce Fernández, M., 231

Vidal Puga, J. J., 239

