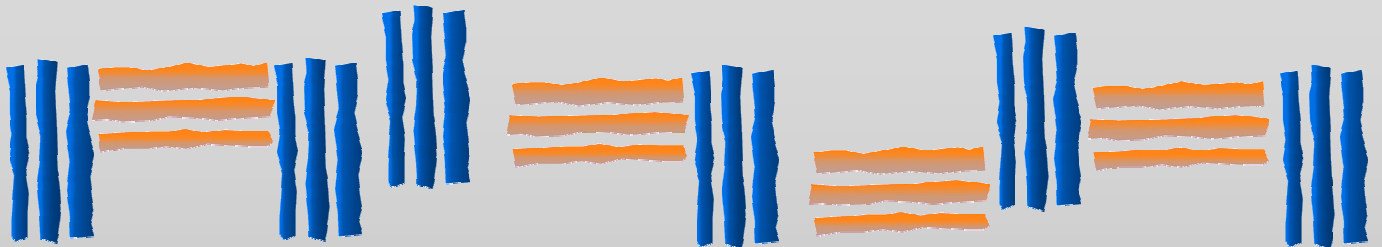


REVISTA DE
MÉTODOS CUANTITATIVOS
PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA



UNIVERSIDAD
**PABLO_D
OLAVIDE**
SEVILLA

Número 3
Junio de 2007
ISSN: 1886-516X
D.L: SE-2927-06

**REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS
PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA**

**Journal of Quantitative Methods
for Business and Administration**

Número 3. Junio de 2007.

ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.

URL: <http://www.upo.es/RevMetCuant/>

Editores:

Dr. Eugenio M. Fedriani Martel
Universidad Pablo de Olavide
Ctra. de Utrera, km. 1 - 41013
Sevilla (Spain).
Correo-e: efedmar@upo.es

Dr. Alfredo García Hernández-Díaz
Universidad Pablo de Olavide
Ctra. de Utrera, km. 1 - 41013
Sevilla (Spain).
Correo-e: agarher@upo.es

Comité Editorial:

Dr. Ignacio Contreras Rubio, Universidad Pablo de Olavide (España)
Dr. Miguel Ángel Hinojosa Ramos, Universidad Pablo de Olavide (España)
Dr. M. Kazim Khan, Kent State University, Ohio (USA)
Dra. María Amparo León Sánchez, Universidad de Pinar del Río (Cuba)
Dr. Cecilio Mar Molinero, University of Kent (United Kingdom)
Dr. Ana María Martín Caraballo, Universidad Pablo de Olavide (España)
Dra. M^a Carmen Melgar Hiraldo, Universidad Pablo de Olavide (España)
Dr. José Antonio Ordaz Sanz, Universidad Pablo de Olavide (España)
Dr. José Manuel Rueda Cantuche, IPTS-DG J.R. Centre-European Commission

Configuración de la materia troncal de Métodos Cuantitativos de Organización Industrial en las universidades españolas

MULA BRU, JOSEFA

Departamento de Organización de Empresas
Universidad Politécnica de Valencia
Correo electrónico: fmula@cigip.upv.es

POLER ESCOTO, RAÚL

Departamento de Organización de Empresas
Universidad Politécnica de Valencia
Correo electrónico: rpoler@cigip.upv.es

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo es analizar la materia troncal de Métodos Cuantitativos de Organización Industrial (MCOI) como disciplina de estudio en la titulación de Ingeniería de Organización Industrial (IOI) en las universidades españolas. El núcleo central de este trabajo se basa en realizar el recorrido histórico de los contenidos de los MCOI y analizar su docencia en las universidades españolas. Con ello, se pretende estructurar el conocimiento de esta materia para que pueda servir de referencia a docentes, investigadores y usuarios de la misma para el desarrollo de sus actividades.

Este trabajo también podría considerarse como un punto de partida, cuando llegue el momento oportuno, en la articulación de los nuevos títulos de grado que habrán de venir, dentro del futuro marco del sistema de crédito europeo (ECTS).

Palabras clave: materia troncal; Métodos Cuantitativos de Organización Industrial; universidades españolas.

Clasificación JEL: C00; L00.

2000MSC: 90-00; 90-01.

Configuration of the Core Subject of Quantitative Methods for Industrial Organization in the Spanish Universities

ABSTRACT

The main objective of this work is to analyze the Quantitative Methods for Industrial Organization (QMIO) core subject as a study discipline in the Industrial Organization Engineering degree in the Spanish universities. The essence of this work is based on to study the advances of the QMIO contents and to analyze its teaching in the Spanish universities. Thus, we intend to structure the knowledge of this core subject so it can serve as reference for lecturers, researchers and users for the development of their activities.

This work could also be considered as a starting point, when the opportune moment arrives, in the articulation of the new degrees inside the future framework of the European Credit Transfer System (ECTS).

Keywords: core subject; Quantitative Methods for Industrial Organization; Spanish Universities.

JEL classification: C00; L00.

2000MSC: 90-00; 90-01.



1. Introducción

En un momento como el que vive actualmente la Universidad Española, en el que se avecinan cambios importantes en la definición de sus títulos, el hecho de analizar en el presente una materia en concreto tiene un gran interés porque las conclusiones que se puedan ofrecer podrían considerarse para su presencia y organización en el futuro inmediato. Se destaca el papel importante del marco ECTS (*European Credit Transfer System*) para facilitar la movilidad del estudiante y el desarrollo de los planes de estudios a nivel internacional. El ECTS se está convirtiendo en la base generalizada de los sistemas nacionales de créditos. La meta es que el ECTS no se convierta únicamente en un sistema de transferencia sino también en un sistema de acumulación, que pueda aplicarse de forma consistente dentro del EEES (Espacio Europeo de Educación Superior).

El objetivo de este artículo es analizar la configuración actual de la materia troncal de MCOI en la titulación de Ingeniería de Organización Industrial (IOI) estudiando ampliamente la organización y contenido de esta materia en todos los centros universitarios españoles donde se imparte la titulación de IOI. Los programas docentes de la materia de MCOI impartidos en las universidades españolas se comparan teniendo en cuenta 8 aspectos: generalidades, conocimientos previos requeridos, objetivos, programa resumido, métodos docentes, bibliografía, normas de evaluación y software de prácticas utilizado. Previo a ello, se revisan los contenidos de la materia troncal de MCOI, describiendo su evolución histórica y presentando un resumen de las técnicas relacionadas con los mismos. También, se esboza el desarrollo actual de esta disciplina.

La contribución principal de este artículo es un estudio actualizado de la situación de la materia troncal de MCOI en el contexto universitario español. Este estudio podrá servir de referencia para la propuesta o mejora de programa docentes de esta materia o de materias relacionadas en el contexto actual y en el futuro inmediato. También, como punto de partida para nuevos investigadores o usuarios de la materia.

Cabe resaltar la relación existente entre los Métodos Cuantitativos que se imparten en la titulación de Ingeniería de Organización Industrial y aquellos que se imparten en la Licenciatura de Administración y Dirección de Empresas o la Licenciatura de Economía.

El artículo se ha organizado como sigue. Primeramente, en la Sección 2 se resumen los antecedentes históricos de los MCOI, las técnicas principales en las que se basan los MCOI y el desarrollo actual de la materia. En la Sección 3 se analizan los programas docentes de la materia de MCOI en las universidades españolas. Finalmente, en la Sección 4 se exponen las conclusiones.

2. Los Métodos Cuantitativos de Organización Industrial

La metodología de los problemas planteados por los descubrimientos científico-técnicos para llegar a resultados cuantitativos que sirvan de base a decisiones económicas, técnicas, sociales, militares, y de otros campos, constituyen los denominados Métodos Cuantitativos. Se le han dado diversos nombres a todo el conjunto de conocimientos que involucran procedimientos cuantitativos para la toma de decisiones. Los más comunes son ciencias de la administración, Investigación Operativa (IO) o Investigación de Operaciones y Ciencias de las Decisiones. Todos tratan de procedimientos racionales para la toma de decisiones con base en métodos científicos (Anderson et al. 1999).

La vinculación histórica de los Métodos Cuantitativos o IO con el área de conocimiento de Organización de Empresas es abordada por Veciana (1987) y Rialp (2003): el estudio de los Métodos Cuantitativos en general, y de sus aplicaciones en la Organización de Empresas, en particular, ha realizado numerosas aportaciones tanto al conocimiento de modelos básicos (programación lineal, teoría de juegos, etc.) como al desarrollo de herramientas y métodos específicos tales como modelos de transporte, de colas, de inventarios, etc.

2.1. Antecedentes históricos

La revolución de la administración científica que inició Frederic W. Taylor, a principios del siglo XX, puso las bases para el uso de los Métodos Cuantitativos en la administración, pero se considera que el uso actual de los Métodos Cuantitativos se originó durante la Segunda Guerra Mundial (Anderson et al. 1999). La IO puede definirse como un enfoque científico en la toma de decisiones que busca el mejor diseño y operar un sistema, por lo regular en condiciones que requieren la asignación de recursos escasos (Winston, 2005). El término de IO se acuñó durante la Segunda Guerra Mundial (Taha, 2005), en la década de los 40, aunque tardó en desarrollarse en el campo de la organización industrial. Uno de los primeros trabajos en el contexto militar estuvo

dirigido al estudio del ataque aéreo a los submarinos. En este trabajo ya estaban incluidos los aspectos que caracterizan a los estudios de Métodos Cuantitativos: toma directa de datos; empleo de modelos matemáticos para el análisis de la situación; obtención de las políticas óptimas que corresponden al modelo; y modificación de dichas políticas de acuerdo con factores reales no considerados en el modelo. Al finalizar la guerra, la mayoría de los grupos de IO se consolidaron, aumentando su número y tamaño. En Estados Unidos con un carácter marcadamente militar mientras que en Gran Bretaña los grupos pasaron a la sociedad civil. La investigación ininterrumpida produjo numerosos desarrollos metodológicos, el de mayor importancia fue el descubrimiento, por George B. Dantzig en 1947, del método simplex para la resolución de problemas de programación lineal. Simultáneamente, el desarrollo de los ordenadores y su implantación en la industria, posibilitaron el tratamiento y estudio de problemas de gran complejidad, por lo cual a mediados de la década de los cincuenta (Churchman et al. 1957), la IO se encontraba ya afianzada en el mundo industrial, primeramente casi centrada exclusivamente en los problemas del área de producción y, posteriormente, los enfoques y las técnicas de la IO se han ido extendiendo al tratamiento de los problemas de otras áreas de la empresa como finanzas, marketing, etc.

2.2. *Técnicas de los Métodos Cuantitativos*

Los objetivos de los MCOI están claramente ceñidos al estudio de problemas de toma de decisiones. Dadas las complejas características de los sistemas objeto de su aplicación, la mayor dificultad que se presenta al estudiar algún aspecto de su funcionamiento aparece en la definición de los límites del sistema que se ha de incluir en el estudio. A continuación, se presenta una relación, elaborada por los autores del presente trabajo, de las técnicas principales en las que se basan los MCOI. Aunque la mayoría de dichas técnicas son aceptadas habitualmente por la literatura de los Métodos Cuantitativos, otras tales como la programación estocástica, las heurísticas y meta-heurísticas, la inteligencia artificial y el *soft computing*, no han sido tradicionalmente incluidas. La Tabla 1 resume las técnicas principales propuestas indicando algunos de los trabajos seminales o “clave” desarrollados en cada una de ellas o que han marcado su desarrollo hasta la actualidad. En este último aspecto cabe resaltar la dificultad existente para poder hacer una selección dado el gran número de trabajos existentes.

Tabla 1. Técnicas principales de los MCOI.

| Técnica | Trabajos más destacados desarrollados |
|---|---|
| Programación lineal | Hitchcock (1941); Dantzig (1953, 1963). |
| Programación entera | Gomory (1958, 1960a, b, c, 1963); Little et al. (1963). |
| Programación no lineal | Kuhn y Tucker (1951); John (1948). |
| Teoría de grafos | Ford y Fulkerson (1955, 1957, 1962); Chartrand y Oellerman (1993). |
| Programación dinámica y cadenas de Markov | Bellman (1957); Bellman y Dreyfus (1962); Howard (1960); Derman (1970). |
| Programación estocástica | Dantzig y Glynn (1990); (Mulvey et al. 1995); Hagle y Sen (1996). |
| Teoría de inventarios | Orlicky (1975); Silver y Peterson (1985). |
| Teoría de colas | Kleinrock(1975); Karmarkar (1987). |
| Simulación | Box y Muller (1958); Law y Kelton (1991). |
| Teoría de decisión y juegos | von Neumann y Morgenstern (1944); Raiffa y Schlaifer (1961); Nash (1950, 1951, 1953); Shapley (1953). |
| Programación multi-objetivo | Van Wassenhove y Gelders (1980); Steuer (1986). |
| Heurísticas y meta-heurísticas | Glover (1977); Garey y Johnson (1979); Holland (1975, 1992); Eglese (1990). |
| Inteligencia artificial | Bellman y Zadeh (1970); Fox et al. (2000). |
| Soft computing | Herrera y Verdegay (1996); Gen y Cheng (1997). |

Fuente: Elaboración propia.

Los lenguajes y sistemas de modelado son un desarrollo relativamente reciente, ya que surgen en la década de los ochenta, en el ámbito de los Métodos Cuantitativos. Los factores que influyeron en su aparición fueron el desarrollo de poderosos algoritmos de optimización, por un lado, y la disminución del coste del poder computacional, por el otro. La Tabla 2 muestra algunos de los trabajos principales relacionados con el desarrollo de los lenguajes y sistemas de modelado.

Tabla 2. Lenguajes y sistemas de modelado.

| Descripción del lenguaje o sistema de modelado | Trabajos más destacados desarrollados |
|---|--|
| XML: Programación matemática | Fourer (1983). |
| Programación estocástica | Gassmann e Ireland (1995 ^a , b). |
| GAMS: Programación matemática | Bishop y Meeraus (1982). |
| IFPS: Programación matemática | Roy et al. (1986). |
| AMPL: Programación matemática | Fourer et al. (1990, 1993). |
| MPL: Programación matemática | Maximal Software Inc. (2004). |
| SML: Programación matemática | Geoffrion (1987, 1989). |
| Simulación discreta | Overstreet y Nance (1985). |
| Cadenas de Markov | Stewart (1991). |
| Interfaces gráficas | Jones (1990, 1991). |
| INSIGHT: Análisis de los resultados | Sharda y Steiger (1995). |

Fuente: Elaboración propia.

2.3. Desarrollo actual

En los últimos 50 años, los Métodos Cuantitativos se han convertido en una ciencia madura, con aplicaciones exitosas en una variedad de campos, tales como gestión de la producción, logística, telecomunicaciones, informática, estudios militares y muchos dominios en el sector servicios. A pesar de estos éxitos, el impacto inicial de los

modelos cuantitativos en los desarrollos indicados arriba fue limitado. Por ejemplo, en el contexto de la planificación de la producción, Orlicky (1975) afirmó que no existía la necesidad de más modelos cuantitativos, en su lugar, los sistemas de información eran la clave para mejorar los procedimientos de planificación y control de la producción. Paralelamente, los estudios de Métodos Cuantitativos se concentraban en desarrollar soluciones exactas para problemas relativamente simples y opuestos a otros problemas más realistas (Zijm, 2000). Obviamente, no hay nada erróneo en trabajar con problemas simples bien estructurados, pero no ayuda inmediatamente a ganar la credibilidad de los responsables de las empresas que necesitan sistemas para dominar los problemas de planificación de su fábrica. En contraste con los modelos y métodos cuantitativos, conceptos como *Manufacturing Resource Planning* (MRPII) y *Just-in-Time* (JIT), fueron inmediatamente aplicados en las empresas casi después de su introducción. Una razón es su aparente simplicidad. Una segunda razón es, por supuesto, debido al poder computacional de los ordenadores, que permiten llegar a abordar problemas de planificación industrial en una escala que nunca antes se había logrado. Por otro lado, muchos directores no esperaban la ayuda de un sistema avanzado de planificación, o incluso peor, no imaginaban que un sistema automatizado sería capaz de ayudar a la toma de decisiones de forma inteligente. Y exactamente esta es la razón de ser de los Métodos Cuantitativos. Sin embargo, los tiempos han cambiado. En las últimas 2 décadas, el alcance de los investigadores en Métodos Cuantitativos se ha ampliado considerablemente hacia problemas más reales. Se han desarrollado nuevas técnicas para analizar problemas de gran tamaño como, por ejemplo, los algoritmos heurísticos y meta-heurísticos, la búsqueda tabú (*tabu search*), recocido simulado (*simulated annealing*) y algoritmos de aproximación de redes estocásticas (*approximate stochastic network algorithms*), y se han multiplicado las técnicas de agregación y descomposición. Además, las empresas empiezan a reconocer los inconvenientes de la mayor parte de los sistemas actuales de planificación centrados en procedimientos rutinarios y administrativos, y demandan verdaderos sistemas de soporte a la toma de decisiones. En este contexto y bajo el nombre de *Sistemas Avanzados de Planificación* los desarrolladores de *software* están integrando modelos y técnicas de los Métodos Cuantitativos en los procedimientos de planificación y control.

3. Los Métodos Cuantitativos de Organización Industrial en la Ingeniería de Organización Industrial

La titulación de IOI se estableció en el Real Decreto 1401/1992, de 20 de noviembre (Boletín Oficial del Estado número 306, de 22 de diciembre de 1992). El objetivo central de este título es formar profesionales capaces de desempeñar labores de análisis, evaluación, diseño y gestión en el área de conocimiento de Organización de Empresas y dentro de sus 4 enfoques principales: la Dirección de Operaciones, el Análisis Económico, la Gestión Organizativa y la Dirección Estratégica. Además, los titulados reciben una formación tecnológica en las áreas de automática, construcción, electricidad, electrónica, mecánica, química, tecnologías del medioambiente y tecnologías de los procesos de fabricación. Las directrices generales de esta titulación indican que se trata de enseñanzas de solo segundo ciclo, con una duración de 2 años y una carga lectiva mínima de 120 créditos. La materia de MCOI es una de las materias troncales que obligatoriamente deben cursar los estudiantes de IOI.

La descripción que corresponde a la materia troncal de MCOI en las directrices generales de la titulación de IOI es escueta: “Modelización y simulación de problemas de organización industrial. Técnicas de resolución: investigación operativa y sistemas expertos”. La carga lectiva consta de seis créditos teóricos y seis créditos prácticos.

3.1. Análisis de los programas existentes de MCOI en las universidades españolas

En la actualidad, en España hay 27 centros universitarios que imparten el título de IOI, 7 centros privados y 20 centros públicos, de 21 universidades españolas, 7 universidades privadas y 14 universidades públicas. Casi la totalidad de las universidades que imparten esta titulación, ofrecen acceso público a los programas de sus asignaturas en Internet, lo que permite consultar, comparar y analizar los contenidos que se imparten. Tras consultar los programas de las asignaturas que organizan/diversifican la materia troncal de MCOI en los centros universitarios españoles en los que se imparte la titulación de IOI se han extraído varias conclusiones que se han clasificado en: generalidades, conocimientos previos requeridos, objetivos, programa, metodología, bibliografía, evaluación y software de prácticas.

3.1.1. Generalidades

No todas las universidades indican el BOE en el que se aprobó el plan de estudios de sus titulaciones. De entre las que está fácilmente disponible, se observa que los planes de estudios son relativamente recientes, siendo el más antiguo del año 1992 (fecha en la que se estableció como tal la titulación de IOI en España) y el más reciente del 2002.

La mayor parte de los planes de estudio de los centros universitarios, concretamente 18, diversifican la materia troncal de MCOI en 2 asignaturas cuatrimestrales, 6 centros la organizan como una única asignatura anual, y el resto la diversifican en 3 asignaturas cuatrimestrales. Por tanto, existe un total de 51 asignaturas que organizan/diversifican la materia troncal de MCOI en los 27 centros universitarios españoles. 41 de las asignaturas se cursan en el 1^{er} curso de la titulación de 2º ciclo y únicamente 10 de ellas en el 2º curso.

Como ha sido habitual en los planes de estudio más recientes, la carga de créditos prácticos frente a los créditos teóricos ha cobrado importancia. De las 51 asignaturas analizadas, solo 2 asignaturas, cuentan con un 25% de créditos prácticos, 9 asignaturas presentan un 33% de créditos prácticos, 6 asignaturas presentan un 40% de créditos prácticos y 16 asignaturas presentan un 50% de créditos prácticos. Otras 2 asignaturas de un mismo centro universitario cuentan con un mayor número de créditos prácticos, 54 y 73% cada una. Del resto de asignaturas no se dispone información. Con respecto a la adopción del marco del ECTS en la organización de las asignaturas, únicamente 13 lo incorporan en su definición.

De las 51 asignaturas comparadas, 34 de ellas están enmarcadas en el área de conocimiento de Organización de Empresas, 4 en el área de conocimiento de Investigación Operativa y del resto no se dispone de la información.

En el contexto académico universitario, tradicionalmente, las materias relacionadas con los Métodos Cuantitativos se han enmarcado, principalmente, en el área de conocimiento de Organización de Empresas (650). También, estas materias han sido asignadas a áreas de conocimiento tan diversas como Comercialización e Investigación de Mercados (095), Economía Aplicada (225), Economía Financiera y Contabilidad (230), Estadística e Investigación Operativa (265) y Explotación de Minas (295). No obstante, cabe resaltar que, en mayo de 2005 mediante el Real Decreto 584/2005, se

crea el área de conocimiento de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa, como una segregación del área de conocimiento de Economía Aplicada.

3.1.2. Conocimientos previos recomendados

Únicamente 16 asignaturas indican en sus programas los conocimientos previos recomendados para cursar las asignaturas: 6 asignaturas requieren conocimientos básicos matemáticos; 5, conocimientos de estadística; 4, conocimientos de empresa; 3, conocimientos de álgebra y cálculo; 2, saber resolver sistemas lineales; 2, especifican que no se requieren conocimientos previos; y, finalmente, 1 indica conocimientos de establecimiento de costes.

3.1.3. Objetivos de la asignatura

Los objetivos de las asignaturas son bastante variados en la mayoría de los programas. De los 51 programas analizados, 28 expresan los objetivos de la asignatura desde el punto de vista docente o del proceso de enseñanza, mientras que 18 los expresan en términos de resultados del aprendizaje del alumno. El resto de programas no explicita los objetivos de la asignatura. Únicamente una universidad incluye en su programa las competencias que adquirirá el alumno tras cursar la asignatura. Por otro lado, solo 2 asignaturas de un mismo centro universitario incluyen en sus programas la definición de capacidades y destrezas que adquirirá el alumno.

3.1.4. Temarios

Para analizar el contenido de los temarios de las asignaturas que organizan/diversifican la materia troncal impartida en 26 centros universitarios, ya que una universidad no tenía ninguna información pública de sus 2 asignaturas de MCOI, se han analizado 47 programas (2 de los 3 programas de asignaturas de otra universidad tampoco estaban disponibles al público). Para ello, se han tipificado todos los temas de los programas en 25 temas posibles (Tabla 3), basado principalmente en la descripción complementaria de los programas detallados y en las técnicas citadas en el apartado 2.2 de este artículo, y se ha determinado el número de centros que han incluido esos 25 temas en sus asignaturas. En el caso de que un programa subdividiese uno de los temas posibles en varios solo computaba por una vez.

Todos los centros incluyen la programación lineal en alguna de las asignaturas que imparten la materia troncal analizada. Cabe destacar que en el caso de una universidad, las 2 asignaturas que diversifican la materia consideran en sus programas la programación lineal. Todos los programas contienen lo que se podría denominar un *cuerpo mínimo común de contenidos*, al que dedican una extensión variable, en este cuerpo se encontrarían siempre alguno de los 12 primeros temas de la tabla. Algunas universidades, ponen un mayor énfasis en determinadas partes de la asignatura, probablemente debido a la especialización particular que tengan los profesores encargados de su docencia. La ordenación temporal de los bloques temáticos también resulta diversa, aunque se aprecia en general un orden lógico según la complejidad creciente de los contenidos. Cabe resaltar que el tema de sistemas expertos, a pesar de formar parte del descriptor del plan de estudios, solo se incluye en 2 centros universitarios.

Tabla 3. Frecuencia de veces que los temas son incluidos en los programas de las asignaturas que organizan/diversifican la materia troncal.

| Descripción | Número de centros que lo incluyen de 26 | % Inclusión |
|---|---|-------------|
| Programación lineal | 26 | 100% |
| Programación entera | 21 | 81% |
| Teoría de colas | 21 | 81% |
| Simulación | 20 | 77% |
| Teoría de grafos | 20 | 77% |
| Teoría de decisión | 19 | 73% |
| Teoría de juegos | 17 | 65% |
| Teoría de inventarios | 12 | 46% |
| Programación dinámica | 11 | 42% |
| Cadenas de Markov | 9 | 35% |
| Programación multi-objetivo | 9 | 35% |
| Programación no lineal | 8 | 31% |
| Planificación y control de proyectos | 7 | 27% |
| Técnicas multi-criterio | 6 | 23% |
| Programación paramétrica | 5 | 19% |
| Previsión | 4 | 15% |
| Programación lineal con incertidumbre | 4 | 15% |
| Inteligencia artificial | 2 | 8% |
| Sistemas de ayuda a la toma de decisiones | 2 | 8% |
| Sistemas expertos | 2 | 8% |
| Secuenciación | 2 | 8% |
| Algoritmos genéticos | 1 | 4% |
| Heurísticas | 1 | 4% |
| Sistemas MRP | 1 | 4% |
| Optimización combinatoria | 1 | 4% |

Fuente: Elaboración propia.

3.1.5. Métodos docentes

La lección magistral participativa, las prácticas de laboratorio y la resolución de problemas son los métodos docentes más utilizados según se indica en los programas analizados. El estudio de casos seguiría a los métodos anteriores. De forma aislada, también se aplican los siguientes métodos docentes: prácticas de campo, debate, programa de lecturas, aprendizaje autónomo y aprendizaje basado en proyectos. Este último es utilizado por una única universidad.

3.1.6. Bibliografía

Respecto a la bibliografía utilizada, ésta es bastante diversa. El conjunto de los programas utiliza un total de 136 referencias bibliográficas, principalmente libros. De entre ellos 82 solo se utilizan por un programa determinado. Por otro lado, el libro más utilizado se emplea en 29 de los 47 programas analizados. En la Tabla 4 se muestra solo una parte del total de referencias ordenadas de mayor a menor uso.

Tabla 4. Bibliografía de los programas.

| Bibliografía | Frecuencia (veces usada en programas) |
|--|--|
| Hillier, F.S., Lieberman (2005) Investigación de operaciones. 8ª Edición. Ed. McGraw-Hill | 29 |
| Taha, H.A. (2005) Investigación de operaciones. 7ª Edición. Prentice-Hall, México. | 23 |
| Winston, W.L. (2005) Investigación de operaciones, aplicaciones y algoritmos. 4ª Edición. Ed. Thomson. | 19 |
| Bazaraa, M.S., Jarvis, J.J. (1996) Programación lineal y flujo en redes. Ed. Limusa. | 12 |
| Mathur, K., Solow, D. (1996) Investigación de operaciones: el arte de la toma de decisiones, Prentice-Hall, México. | 10 |
| Prawda, J. (1988) Métodos y modelos de investigación de operaciones. Vol. I, II. Ed. Limusa. | 10 |
| Ríos-Insua, S. (1996) Investigación Operativa. Programación lineal y aplicaciones. Editorial Centro de Estudios Ramón Areces. | 9 |
| Bierman Jr., H., Bonini, C.P., Hausman, W.H. (1994) Análisis cuantitativo para la toma de decisiones. Addison-Wesley Iberoamericana, Estados Unidos. | 8 |
| Anderson, D.R., Sweeny, D.J., Williams, T.A. (1999) Métodos Cuantitativos para los negocios. 7ª Edición. Thomson Editores. | 7 |
| Wagner, H.M. (1975) Principles of operations research: with applications to managerial decisions. Prentice-Hall International, London. | 6 |
| Zubilaga-Zubimendi, F.J. (----) Investigación Operativa I y II. Lecciones impartidas. Ed. Centro de Publicaciones de la E.S.I. Bilbao. | 6 |
| Ríos-Insua, S., Mateos, Martín (1997) Investigación Operativa. Programación lineal y aplicaciones. Ejercicios resueltos. Ed. Ra-Ma Textos Universitarios. | 6 |
| Eppen, G.D., Gould, F.J., Schmidt, C.P., Moore, J.H., Weatherford, L.R. (2000) Investigación de operaciones en la ciencia administrativa. 5ª Edición. Pearson Prentice Hall. | 4 |
| Sarabia-Viejo, A. (1996) La investigación Operativa. Una herramienta para la adopción de decisiones. Universidad Pontificia de Comillas, Madrid. | 4 |
| Desbazeille, G. (1969) Ejercicios y problemas de Investigación Operativa. Ed. ICE, Madrid | 4 |

Fuente: Elaboración propia.

3.1.7. Normas de evaluación

Concerniendo a las normas de evaluación, el examen final combinado con otros sistemas de evaluación continua, tales como exámenes parciales y trabajos prácticos en grupo es de forma mayoritaria el sistema de evaluación más usado.

3.1.8. Software de prácticas

La mayoría de los programas analizados no ofrecen información sobre los programas relacionada con los lenguajes y sistemas de modelado utilizados como software en las prácticas de laboratorio. Los mencionados en más de un programa son: Arena, Beer game, Excel (Solver, Treeplan), GAMS, LINGO, Matlab, Mini Tab, MPL-CPLEX, Ms Project, Storm, TaylorED, Techoptimiezer, TORA, WinQSB y Witness. De entre ellos, WINQSB, Witness y Arena son los más usados. Mientras que otros aparecen en un único programa, probablemente por tratarse de software desarrollado en el departamento implicado: ADGIP, CadMGIP y Grafos.

4. Conclusiones

En este artículo, se ha desarrollado un estudio de la docencia de la materia troncal de Métodos Cuantitativos de Organización Industrial (MCOI) en todos los centros universitarios españoles donde se imparte la titulación de Ingeniería de Organización Industrial (IOI).

En primer lugar, se han abordado los antecedentes históricos de la materia, resaltando sus fuertes vínculos con la disciplina de IO, cuyos orígenes se remontan al período comprendido durante la Segunda Guerra Mundial. Para ello, se ha propuesto una clasificación actualizada de las técnicas que utilizan los Métodos Cuantitativos. Además, se ha abordado el desarrollo actual de la disciplina. En el aspecto profesional cabe destacar su reciente integración en los sistemas de software comerciales debido sobre todo a la mayor capacidad computacional de los ordenadores.

En lo que respecta al contexto académico, una nueva área de conocimiento denominada Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa añade nuevas dudas sobre la relación de esta materia con un área de conocimiento determinada. El borrador actual

para los nuevos planes de estudio establece que las asignaturas no irán ligadas a áreas de conocimiento sino que serán las universidades las que decidan.

Como contribución principal del trabajo se han analizado los programas expuestos públicamente en Internet por los 27 centros universitarios españoles que imparten la titulación de IOI. Los programas se han comparado teniendo en cuenta ocho aspectos: generalidades, conocimientos previos requeridos, objetivos, programa resumido, métodos docentes, bibliografía, normas de evaluación y software de prácticas utilizado.

Como líneas futuras de trabajo se pretende llevar a cabo una comparativa entre los Métodos Cuantitativos que se imparten en la licenciatura de IOI y aquellos que se imparten en la Licenciatura de Administración y Dirección de Empresas o la Licenciatura de Economía. Sería igualmente interesante estudiar si los conocimientos, aptitudes y habilidades adquiridos al cursar las asignaturas relacionadas con los Métodos Cuantitativos en las mencionadas titulaciones son las mismas o existen diferencias. Asimismo, es interesante analizar cuáles son los más demandados en el mundo empresarial.

Referencias

- Anderson, D.R., Sweeney, D.J., Williams, T.A. (1999) *Métodos Cuantitativos para los Negocios*. 7ª edición. International Thomson Editores.
- Bellman, R.E. (1957) *Dynamic Programming*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Bellman, R.E., Dreyfus, S.E. (1962) *Applied Dynamic Programming*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Bellman, R.E., Zadeh, L.A. (1970) Decision making in a fuzzy environment. *Management Science* 17 (4) 141-164.
- Bischof, J., Meeraus, A. (1982) On the development of a general algebraic modeling system in a strategic planning environment. *Mathematical Programming Study* 20, 1-29.
- Box, G., Muller, A. (1958) A note on the generation of random normal deviates. *Annals of Mathematical Statistics* 29, 610-611.
- Chartrand, G., Oellerman, O. (1993) *Applied and Algorithmic Graph Theory*. McGraw-Hill.
- Churchman, C.W., Ackoff, R.L., Arnoff, E.L. (1957) *Introduction to Operations Research*. Wiley, New York.
- Dantzig, G.B. (1953) Computational algorithm of the revised Simplex method. RAND Memorandum 1266.

- Dantzig, G.B. (1963) *Linear Programming and Extensions*. New Jersey University Press.
- Dantzig, G.B., Glynn, P.W. (1990) Parallel processors for planning under uncertainty. *Annals Operations Research* 22, 1-21.
- Derman, C. (1970) *Finite State Markovian Decision Processes*. Academic Press, New York.
- Eglese, R.W. (1990) Simulated annealing. A tool for operational research. *European Journal of Operational Research* 46 (3) 271-281.
- Ford, L.R., Fulkerson, D.R. (1955) A simplex algorithm for finding maximal network flows and an application to the Hitchcock problem. RAND Report RM-1604, RAND Corporation, Santa Mónica, Dic. 20.
- Ford, L.R., Fulkerson, D.R. (1957) A primal-dual algorithm for the capacitated Hitchcock problem. *Naval Research Logistics Quarterly* 4, 47-54.
- Ford, L.R., Fulkerson, D.R. (1962) *Flows in Networks*. Princeton University Press. Princeton, New Jersey.
- Fourer, R. (1983) Modeling languages versus matrix generators for linear programming. *ACM Transactions on Mathematical Software* 9, 2, 143-183.
- Fourer, R., Gay, D.M., Kernighan, B.W. (1990) A mathematical programming language. *Management Science* 36 (5) 519-554.
- Fourer, R., Gay, D.M., Kernighan, B.W. (1993) *AMPL: A Modelling Language for Mathematical Programming*. Duxbury Press/Brooks/Cole Publishing Company.
- Fox, M.S., Barbuceanu, M., Teigen, R. (2000) Agent-oriented supply-chain management. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems* 12 (2-3) 165-188.
- Garey, M.R., Johnson, D.S. (1979) *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*. W.H. Freeman and Co., San Francisco, California.
- Gassmann, H., Ireland, A. (1995a) Scenario formulation in an Algebraic Modelling Language. *Annals of Operations Research* 59, 45-75.
- Gassmann, H., Ireland, A. (1995b) On the automatic formulation of stochastic linear programs. *Annals of Operations Research* 64, 83-112.
- Geoffrion, A. (1987) Introduction to structured modeling. *Management Science* 33 (5) 547-588.
- Geoffrion, A. (1989) The formal aspects of structured modeling. *Operations Research* 37 (1) 30-51.
- Gen, M., Cheng, R. (1997) *Genetic Algorithms and Engineering Design*. John Wiley & Sons, New York.
- Glover, F. (1977) Heuristic for integer programming using surrogate constraints. *Decision Sciences* 8 (1) 156-166.
- Gomory, R.E. (1958) Outline of an algorithm for integer solutions to linear programs. *Bull. Am. Math. Soc.* 64, 275-278

- Gomory, R.E. (1960a) All-Integer Programming Algorithm. Report RC-189, IBM Research Center, Mohansic, New York.
- Gomory, R.E. (1960b) Solving linear programming problems in integers. Bellman and M. Hall (Eds.), *Combinatorial analysis proceedings of the tenth symposium in applied mathematics of the American Mathematical Society*, 211-216.
- Gomory, R.E. (1960c) An algorithm for the mixed integer problem. Report RAND Corporation, RM-2597.
- Gomory, R.E. (1963) An algorithm for integer solutions to linear programs. R.L. Graves and P. Wolfe (Eds.) *Recent Advances in Mathematical Programming*, McGraw-Hill, pp. 269-302, New York.
- Herrera, F., Verdegay, J.L. (1996) Studies in fuzziness and soft computing. En: *Genetic Algorithms and Soft Computing*. Physica-Verlag.
- Higle, J.L., Sen, S. (1996) *Stochastic Decomposition: A Statistical Method for Large Scale Stochastic Linear Programming*. Kluwer, Boston.
- Hitchcock, F.L. (1941) The distribution of a product from several sources to numerous localities. *Journal of Mathematical Physics* 20, 224-230.
- Holland, J.H. (1975) *Adaptation in natural and artificial systems*. University of Michigan Press, Ann Arbor.
- Holland, J.H. (1992) Genetic Algorithms. *Scientific American* 267(1) 66-72.
- Howard, R.A. (1960) *Dynamic Programming and Markov Processes*. MIT Press, Cambridge, Mass, USA.
- John, F. (1948) Extremum problems with inequalities as subsidiary conditions. *Studies and Essays: Courant Anniversary Volume*, Interscience Publishers, pp. 187-204, New York.
- Jones, C. (1990) An introduction to graph-based modeling systems, part I: Overview. *ORSA Journal on Computing* 2, 136-151.
- Jones, C. (1991) An introduction to graph-based modeling systems, part II: graph grammars and the implementation. *ORSA Journal on Computing* 3, 180-206.
- Kleinrock, L. (1975) *Queueing Systems*, New York [etc] John Wiley & Sons.
- Kuhn, H.W., Tucker, A.W. (1951) Nonlinear programming. En: Jerzy Neyman (Ed.), *Second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, University of California Press, Berkeley, pp. 481-92.
- Law, A., Kelton, W. (1991) *Simulation Modelling and Analysis*. 2nd Edition. McGraw-Hill, New York.
- Little, J.D., Murty, C.K.G., Sweeney, D.W., Karel, C. (1963) An algorithm for the travelling salesman problem. *Operations Research* 11, 972-989.
- Maximal Software Incorporation (2004) MPL modelling system. Release 4.2e. USA.
- Mulvey, J., Vanderbei, R, Zenios, S. (1995) Robust optimization of large-Scale systems. *Operations Research* 42 (2) 264-281.
- Nash, J.F. (1950) The bargaining problem. *Econometrica* 18, 155-162.

- Nash, J.F. (1951) Non-cooperative games. *Annals of Mathematics* 54, 286-295.
- Nash, J.F. (1953) Two person cooperative games. *Econometrica* 21, 128-140.
- Orlicky, J. (1975) Material Requirements Planning, McGraw Hill, London.
- Overstreet, C.M., Nance, R. (1985) A specification language to assist in analysis of discrete event simulation models. *Communications of the ACM* 28 (2) 190-201.
- Raiffa, H., Schlaifer, R. (1961) Applied Statistical Decision Theory. MIT Press, Cambridge.
- Rialp, A. (2003) Fundamentos Teóricos de la Organización de Empresas. Un Enfoque Interdisciplinar. Ediciones Pirámide, Madrid.
- Roy, A., Lasdon, L., Lordeman, J. (1986) Extending planning languages to include optimization capabilities. *Management Science* 32 (3) 360-373.
- Shapley, L.S. (1953) A value for n-person games. En: Contributions to the theory of games, Volume II (Annals of Mathematics Studies 28) H.W. Kuhn y A.W. Tucker (eds.), Princeton: Princeton University Press, 307-317.
- Silver, E., Peterson, R. (1985) Decision Systems for Inventory Management and Production Control. 2nd Edition. Wiley, New York.
- Sharda, R., Steiger, D. (1995) Using artificial intelligence to enhance model analysis. En: The Impact of Emerging Technologies on Computer Science and Operations Research, Nash, S. y Sofer, A. (eds.), 1995, 263–279, Kluwer Academic Publishers.
- Steuer, R.E. (1986) Multiple Criteria Optimization: Theory, Computations and Application. Wiley, New York.
- Stewart, W. (1991) MARCA: Markov Chain Analyzer a software package for Markov modeling. En: Numerical Solution of Markov chain, (Stewart, W. ed.). Marcel Drekka, Inc.
- Taha, H.A. (2005) Investigación de Operaciones. 7^a Edición. Prentice-Hall.
- Van Wassenhove, L.N., Gelders L.F. (1980) Solving a bicriterion scheduling problem. *European Journal of Operational Research* 4 (1) 42-48.
- Veciana, J.M. (1987) Nota del curso de doctorado: Metodología de la investigación científica. Dep. Economía de la Empresa de la Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra (Barcelona).
- Von Neumann, J., Morgenstern, O. (1944) Theory of Games and Economic Behaviour. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Winston, W.L. (2005) Investigación de Operaciones. Aplicaciones y Algoritmos. Ed. Thomson.
- Zijm, W.H.M. (2000) Towards intelligent manufacturing planning and control systems. *OR Spektrum* 22, 313-345.



UNIVERSIDAD
PABLO DE OLAVIDE
SEVILLA



REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA
LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA (3). Páginas 20–39.
Junio de 2007. ISSN: 1886-516X. D.L.: SE-2927-06.
URL: <http://www.upo.es/RevMetCuant/art9.pdf>

Evaluación del impacto económico y social de la celebración de grandes eventos deportivos a nivel local: el caso del Campeonato de Tenis femenino de la ITF en Sevilla en 2006

RAMÍREZ HURTADO, JOSÉ MANUEL

Departamento de Economía, Métodos Cuantitativos e Historia Económica
Universidad Pablo de Olavide

Correo electrónico: jmramhur@upo.es

ORDAZ SANZ, JOSÉ ANTONIO

Departamento de Economía, Métodos Cuantitativos e Historia Económica
Universidad Pablo de Olavide

Correo electrónico: jaordsan@upo.es

RUEDA CANTUCHE, JOSÉ MANUEL

Institute for Prospective Technological Studies
European Commission's Joint Research Centre

Correo electrónico: Jose.Rueda-Cantuche@ec.europa.eu

RESUMEN

La importancia del deporte en el mundo actual ha trascendido al ámbito social, económico e, incluso, político, por encima de lo relativo meramente a su práctica. La celebración de grandes eventos deportivos se ha convertido en toda una fuente generadora de beneficios directos, y también inducidos, allá donde se celebran. Por esta razón, los poderes públicos y económicos pugnan por la organización de este tipo de eventos en sus ámbitos geográficos de influencia. Sin embargo, los estudios de impacto de estos beneficios en muchas ocasiones aparecen sobrevalorados, influidos por los intereses de los agentes implicados. El presente trabajo ofrece una metodología para evaluar el impacto económico y social de la celebración de grandes citas deportivas a nivel local. Entre las principales ventajas que ofrece están su transparencia y la independencia de su realización, al provenir de un grupo de trabajo ligado a la Universidad. Como ejemplo práctico de aplicación, se ha considerado la celebración del Campeonato de Tenis femenino de la ITF celebrado en Sevilla en octubre de 2006, dentro del Circuito WTA.

Palabras clave: impacto económico y social; eventos deportivos; análisis coste-beneficio; análisis input-output; administración local.

Clasificación JEL: L83; D61; D57.

2000MSC: 91B82.

Social and economic impact assessment of relevant sporting events in local communities: the case of the ITF Female Tennis Championship held in Seville in 2006

ABSTRACT

Nowadays, sports go beyond their merely practice reaching social, economic and even policy aspects of everyday life. Hosting great sporting events has become into a rather prolific source of direct and induced benefits for the cities where they take place. Hence, public and economic institutions struggle to host these kinds of events along their geographical influence areas. However, most impact assessments often exaggerate local benefits since they are conducted by vested interest agents. Then, this paper provides a simple-to-use methodology to assess the social and economic impacts of hosting great sporting events at local level. Transparency and impartiality are two main advantages of the followed procedure in the sense that it has been carried out by a research group linked to the University and with no vested interest at all. The empirical part has been developed for the ITF Female Tennis Championship of the WTA Circuit held in Seville in October, 2006.

Keywords: social and economic impacts; sporting events; cost-benefit analysis; input-output analysis; local administration.

JEL classification: L83; D61; D57.

2000MSC: 91B82.



1. INTRODUCCIÓN

El deporte representa en la actualidad una de las actividades más destacadas de cualquier sociedad desarrollada. Nadie pone en duda que su práctica constituye un indicador fundamental de la creciente y constante mejora de la calidad de vida de una población. Su importancia puede constatarse desde distintas perspectivas: social, económica e, incluso, política. Basta con observar la trascendencia que eventos como los Juegos Olímpicos o el Campeonato Mundial de Fútbol tienen a nivel mundial, para darse cuenta de que son celebraciones que superan su faceta meramente deportiva. Es indudable que el deporte se ha convertido en uno de los fenómenos sociales con mayor arraigo, capacidad de movilización y de convocatoria de nuestro mundo actual. La entrada “en juego” en este contexto de patrocinadores, derechos de emisión de los medios de comunicación, reputación e imagen para los deportistas o países participantes y para los organizadores, construcción de infraestructuras deportivas o de carácter general (transportes, comunicaciones, instalaciones hoteleras, sanitarias, etc.), pone de manifiesto la consideración que ha de hacerse de todos estos factores al hablar hoy día del deporte.

En el presente trabajo vamos a centrarnos en analizar los resultados que reporta para una ciudad la organización de un evento deportivo de cierta entidad. Cualquier intento por valorar la importancia económica y social que un determinado evento provoca en una sociedad es una tarea sumamente compleja, pero al mismo tiempo enriquecedora. Y resulta compleja porque el deporte es un producto intangible, efímero, experimental y subjetivo.

Si bien, en principio, no estamos pensando en eventos con la trascendencia mundial de los citados anteriormente, sino en un nivel algo más modesto, los aspectos más relevantes de la metodología y discusión que se van a exponer podrían en buena medida también resultar válidos para estos grandes eventos, con la lógica y necesaria adecuación de escala.

De acuerdo con Lee (2001), se puede afirmar que la organización de competiciones deportivas constituye una fuente de beneficios para los lugares donde éstas se celebran. Básicamente estos beneficios se concretan en términos de realce de la imagen de la ciudad y/o su entorno, en términos económicos (ingresos directos) y también de dinamización y desarrollo del tejido socio-económico general del territorio.

Según esto, no es de extrañar por tanto, que las autoridades políticas locales, regionales o nacionales (dependiendo del ámbito geográfico en que tenga lugar el evento en cuestión), así como sus poderes fácticos sociales y económicos se preocupen por la promoción de la celebración de este tipo de eventos, bien sea a través del ofrecimiento de facilidades de tipo administrativo, cesión de infraestructuras (deportivas o de cualquier otro tipo), o directamente económicas, como por ejemplo mediante subvenciones o patronazgo. Sin embargo, buena parte de la literatura advierte de la sobrevaloración que en muchas ocasiones se hace de los beneficios aludidos por parte de los agentes implicados, exagerándose los impactos reales a nivel local (Porter, 1999; Baade y Matheson, 1999, 2000 y 2001; Matheson, 2002).

En este sentido, el estudio del impacto de la celebración de eventos deportivos que aquí llevamos a cabo pretende ofrecer como una de sus principales características su objetividad en el análisis, proponiéndose como una metodología adecuada para las administraciones locales y regionales que deseen evaluar este tipo de actuaciones, constituyendo así uno de los principales objetivos.

El evento que se ha considerado para su análisis es el Campeonato de Tenis femenino de la ITF (*International Tennis Federation*) celebrado en la ciudad de Sevilla entre los días 16 y 22 de octubre de 2006, integrado en el Circuito de la WTA (*Women's Tennis Association*). La obtención de los resultados derivados de la aplicación de la metodología propuesta sobre este caso real y su discusión constituyen, lógicamente, otro de los objetivos de este artículo.

El trabajo se estructura como sigue. Después de esta introducción, en la Sección 2 se comentan los principales aspectos de la metodología. Aquí se describen los aspectos generales del análisis coste-beneficio que es la base metodológica fundamental utilizada, en conjunción con el análisis input-output. Asimismo, se comenta de modo sucinto el evento deportivo considerado y la información estadística utilizada en este trabajo, procedente fundamentalmente del Instituto Municipal de Deportes del Ayuntamiento de Sevilla, del Instituto de Estadística de Andalucía y de una encuesta específica realizada en el seno del Observatorio del Deporte de Sevilla, al que pertenecen algunos de los autores de este trabajo. Seguidamente, se considera el proceso de estimación de los costes y beneficios. A continuación, la Sección 3 muestra los resultados empíricos del análisis, ofreciéndose también diversos contrastes en relación a los mismos. Tras ello, la Sección 4 recoge las principales conclusiones de la

investigación. El artículo finaliza con las referencias bibliográficas citadas y un apartado de Anexos con la información auxiliar de tablas input-output que se ha elaborado al efecto para el presente estudio.

2. METODOLOGÍA

2.1. Descripción general

La metodología de este trabajo se fundamenta en el análisis coste-beneficio (ACB) complementado con el análisis input-output (AIO).

El ACB resulta una técnica adecuada para la evaluación de políticas de gasto público, ya que ofrece la posibilidad de contrastar todas las posibles ganancias y pérdidas de un determinado proyecto en términos monetarios, permitiendo la comparación entre diferentes alternativas para determinar finalmente aquella que pueda ser más rentable desde el punto de vista social.¹ En este sentido, el ACB puede ser muy útil para evaluar impactos socioeconómicos derivados de la celebración de eventos deportivos, convirtiéndose de este modo en una importante herramienta para la toma de decisiones por parte de los responsables de la organización de los mismos si se lleva a cabo *ex-ante* (con la utilización de estimaciones), o bien para evaluar su éxito o fracaso si se hace *ex-post* (a partir de los datos reales registrados).

La metodología del ACB posibilita la construcción de medidas tales como: las tasas internas de rentabilidad, los valores actualizados netos de los saldos de costes y beneficios y los ratios de beneficios sobre costes, que permiten elegir aquellas alternativas que proporcionan las mayores ventajas sociales (Fundación Andalucía Olímpica, 2001). En nuestro caso, nos centraremos en el cálculo de esta última ratio para el evento que consideramos.

La identificación de los costes, por una parte, y de los efectos positivos (beneficios) resultantes de la celebración de un evento deportivo, por otra, conforman la base esencial del ACB. Aunque teóricamente los costes y beneficios pudiesen estimarse fácilmente de forma directa, la falta de información disponible suele ser uno de los principales problemas con los que tropieza la aplicación del ACB en la realidad. Y, en

¹ El análisis coste-beneficio es una metodología muy popular ampliamente utilizada para la evaluación de políticas económicas, empresariales y sociales, por lo que resulta muy fácil encontrar su aplicación en la literatura. La primera referencia que se encuentra a esta técnica es el Acta del Congreso de los Estados Unidos de 1936 relativa al control de inundaciones (USA Congress, 1936).

particular, el lado de los beneficios resulta habitualmente más difícil de estimar, por cuanto no sólo incluye efectos económicos sino también impactos de carácter social. En este punto precisamente es donde se recurre al AIO, entre otros métodos cuantitativos.

2.1.1. Costes

Si nos centramos en los costes, las categorías que habrían de identificarse son:

- a) Inversiones en infraestructuras deportivas: construcción de nuevas instalaciones deportivas y/o adaptación y ampliación de las ya existentes.
- b) Costes de organización: gastos en sueldos y salarios, seguridad, publicidad, actos culturales y promocionales, etc.
- c) Gastos de mantenimiento de las infraestructuras deportivas: conservación, limpieza, etc.
- d) Inversiones en otras infraestructuras: construcción y modernización de las redes de comunicación y transporte, instalaciones hoteleras, sanitarias, etc.

2.1.2. Beneficios

Si nos situamos en el lado de los beneficios que pueden derivarse de la celebración de un evento deportivo, podemos identificar las siguientes ventajas:

- a) Ingresos directos: ingresos de mercado obtenidos de la organización del evento en cuestión. Aquí podrían incluirse, por una parte, los derivados de forma directa e inmediata de la celebración del evento: venta de entradas, derechos de emisión (televisión, radio, prensa) o patrocinadores; y por otra, los estimados procedentes del uso futuro de nuevas instalaciones: venta de entradas para futuros eventos, servicios pagados por los usuarios, etc.
- b) Efectos económicos inducidos: impactos positivos generados principalmente por las inversiones en nuevas infraestructuras e ingresos por turismo.
- c) Efectos externos: beneficios no canalizados a través del mercado, que revierten generalmente en los residentes de la localidad organizadora del evento, sin existir la posibilidad de determinación de un precio por su disfrute ni tampoco la de exclusión del disfrute de los mismos. Se pueden agrupar en:
 - Efectos económicos externos, consecuencia de una combinación de factores de producción local más eficaz que redundan en el crecimiento económico;

- Ventajas sociales, derivadas de la promoción de actividades deportivas, de la mejora de las instalaciones y de la organización de nuevos eventos deportivos;
- Otros efectos externos, que incluyen la mejora de la imagen del municipio junto con el general bienestar de la población en términos de salud, empleo y renta.

En la estimación de los beneficios inducidos es donde recurrimos al AIO.

2.2. Descripción del evento deportivo y de las fuentes estadísticas y variables

2.2.1. Descripción del evento deportivo

El evento deportivo que se analiza en este trabajo es el Campeonato de Tenis femenino de la ITF celebrado en Sevilla del 16 al 22 de octubre de 2006. Dicha competición, perteneciente al Circuito de la WTA, se celebró en las instalaciones deportivas del Centro Tecnificado de Tenis “Blas Infante”. Tales instalaciones ya existían en la ciudad, por lo que no hubo gasto en este sentido. La asistencia a este campeonato fue gratuita para el público y su organización por parte de la Federación Andaluza de Tenis en Sevilla puede decirse que se enmarca dentro de la política de promoción general de la ciudad como punto de referencia, a nivel tanto nacional como internacional, para la celebración de cualquier evento de carácter deportivo.

2.2.2. Descripción de las fuentes estadísticas y variables

Las fuentes de datos estadísticos que se han empleado para la elaboración del estudio que aquí se presenta son fundamentalmente el Instituto Municipal de Deportes del Ayuntamiento de Sevilla (IMD) y el Instituto de Estadística de Andalucía (IEA). Asimismo, el equipo de investigación del Observatorio del Deporte de Sevilla (ODS), al que algunos de los autores de este trabajo pertenecen, llevó a cabo un proceso de encuestación en colaboración con el IMD en relación a este evento.

El IMD nos ha proporcionado directamente los costes y los ingresos del evento, así como el número y procedencia de los participantes.

Por su parte, del IEA se han utilizado distintos tipos de informaciones. Por un lado, tenemos los datos de la Encuesta de Coyuntura Turística de Andalucía (ECTA), que proporciona con periodicidad cuatrimestral el gasto medio diario de los turistas

según su procedencia geográfica; por otro, las tablas input-output de Andalucía junto con los últimos datos disponibles sobre valor añadido bruto (VAB) de la provincia de Sevilla, al objeto de poder cuantificar los efectos económicos inducidos; y también del IEA se obtienen las cifras de población de Sevilla, que se utilizan para la valoración contingente de los beneficios externos derivados del evento.

En cuanto a la encuesta realizada por el ODS en colaboración con el IMD, hay que decir que se han pretendido recoger diversos aspectos derivados del evento, tanto positivos, como el crecimiento de la actividad económica a nivel local, las consecuencias sobre el empleo y el turismo y la mejora de la imagen de la ciudad, como también posibles efectos negativos, tales como la congestión del tráfico o la alteración del ritmo habitual de los residentes, por citar algunos ejemplos. Todos los entrevistados se clasificaron en función de su edad, género, situación laboral y nivel de estudios. Igualmente, se preguntó a los entrevistados cuánto estarían dispuestos a pagar para que el evento volviese a celebrarse en la ciudad, con el propósito de aplicar el método de valoración contingente, utilizado para la cuantificación de bienes y servicios de no mercado. Cuestiones adicionales como la conveniencia del gasto público en eventos deportivos, el conocimiento del evento por parte del entrevistado y la valoración de las actividades desarrolladas por el IMD también fueron incluidas en la encuesta.

2.3. Estimación de los costes y los beneficios

2.3.1. Estimación de los costes

La estimación de los costes en el presente análisis resulta sencilla a partir de la información desglosada al respecto proporcionada por el IMD. Además, la no existencia de inversiones en nuevas infraestructuras en este caso, hace que únicamente se consideren los costes directamente asociados a la organización.

2.3.2. Estimación de los beneficios

Respecto a los beneficios, debemos resaltar que la entrada a la competición era de carácter gratuito, por lo que no existe por esta vía un ingreso directo. Por consiguiente, los beneficios totales derivados de este campeonato proceden en esencia de los ingresos directos por turismo, los efectos económicos inducidos y los efectos externos, de acuerdo con la clasificación realizada anteriormente y que, a continuación, detallaremos.

1. Ingresos directos por turismo

La estimación de los efectos del turismo sólo ha tomado en consideración a los participantes, miembros de la federación y organizadores asistentes al evento. A partir de la información del número de éstos dada por el IMD y de la cifra de gasto medio diario turístico para el cuarto trimestre de 2006 procedente de la ECTA realizada por el IEA, los ingresos directos totales por turismo derivados de la celebración del evento se obtuvieron del producto de los dos datos anteriores.

2. Efectos económicos inducidos

Los análisis económicos de impacto se centran en el concepto de multiplicador y si bien las técnicas centradas en ello son variadas, la mayoría se basan en el AIO.

El AIO clásico permite cuantificar aquellos efectos económicos inducidos sobre la producción y el empleo que son generados por un incremento unitario en la demanda final de bienes y servicios, así como por los generados por éstos en toda la economía. El AIO se convierte así en una herramienta que puede resultar útil para evaluar los impactos económicos a nivel local de la organización de eventos deportivos, aunque ello suponga en la mayoría de los casos unas necesidades de información que raramente están disponibles. En este trabajo se ha utilizado una tabla input-output agregada, de elaboración propia, para la provincia de Sevilla con datos de 2003 (véase Anexo 1).² A partir de la misma, se calculan los coeficientes técnicos y la matriz inversa de Leontief necesarios para el análisis (Anexo 2). Para una referencia bibliográfica general se recomienda en este aspecto Miller y Blair (1985) y Pulido y Fontela (1993)

3. Efectos externos

Los efectos sobre los bienes y servicios de no mercado pueden ser cuantificados mediante la utilización del método de valoración contingente (MVC). Este método se ha basado en una encuesta propia del ODS sobre este evento en la que se preguntaba a los entrevistados cuánto estarían dispuestos a pagar para que este campeonato se volviera a celebrar de nuevo en la ciudad. De este modo, los efectos externos se obtendrían como resultado de multiplicar la media ponderada de los precios indicados (en intervalos) por el número de habitantes de la ciudad organizadora, que en este caso es Sevilla. No obstante, puesto que el interés en las competiciones del deporte analizado (tenis) no se

² El proceso de su construcción se detalla en Rueda-Cantuche y Ramírez-Hurtado (2007).

distribuye uniformemente para toda la población, únicamente se considera a la población que potencialmente podría ir a un evento de este tipo, lo cual se mide por su gusto por este deporte. Esta última información procede del estudio sobre hábitos del deporte en Sevilla, llevado a cabo por el ODS en colaboración con el IMD en 2006 (Porras *et al*, 2006).

La encuesta elaborada *ad hoc* permitió también conocer la percepción y el grado de conocimiento del evento deportivo en cuestión, tanto para los espectadores como para los no espectadores. Igualmente, se les preguntó a los entrevistados por sus percepciones en cuanto a los impactos sociales y económicos a diferentes niveles geográficos (local, regional y nacional) derivados de un acto como éste, así como por la conveniencia de emplear financiación pública en este tipo de celebraciones. Las respuestas de los dos colectivos de encuestados, espectadores y no espectadores, son contrastadas finalmente mediante el test de la U de Mann-Whitney de igualdad de medias con el fin de comprobar si existen diferencias significativas en las percepciones de ambos grupos de población.

3. RESULTADOS EMPÍRICOS

3.1. Resultados obtenidos con la metodología ACB

Los costes totales del Campeonato de Tenis femenino ascendieron a 33.181,30 euros, donde el 49,20% fueron costes de mantenimiento y servicios. Los beneficios totales se elevaron a 331.429,06 euros, la mayor parte obtenidos a través de efectos económicos inducidos, rentas directas por turismo y efectos externos. Con estos datos, el evento arroja un ratio beneficios/costes de 9,98, lo que supone una valoración importante del mismo en términos monetarios (Tabla 1).

Como ya se ha indicado en la metodología, las rentas directas por turismo se han obtenido multiplicando el número de participantes por el número de días que duró el evento y por el gasto medio diario del turista, en función de los distintos ámbitos geográficos. La información sobre el número de participantes y sobre el número de días que duró el evento fue facilitada por el IMD, mientras que el gasto medio diario del turista fue proporcionado por la ECTA para el cuarto trimestre del 2006. Con dichos datos la cifra de efectos totales del turismo fue de 20.474,37 euros (Tabla 2).

Tabla 1. Costes y Beneficios.

| Campeonato ITF | |
|--------------------------------------|---------------------|
| Costes (C) | 33.181,30 € |
| Mantenimiento y servicios | 16.325,47 € |
| Desplazamientos | 1.440,14 € |
| Comunicación y protocolo | 1.105,44 € |
| Promoción y publicidad | 846,30 € |
| Gastos de personal y gratificaciones | 4.585,93 € |
| Material deportivo | 457,97 € |
| Otros gastos | 8.420,05 € |
| Restaurantes | 0 € |
| Empleados | 0 € |
| Consultora externa | 0 € |
| Beneficios (B) | 331.429,06 € |
| Inscripciones | 1.380,00 € |
| Subvenciones | 16.500,00 € |
| Patrocinios y publicidad | 5.386,60 € |
| Recursos propios | 3.000,00 € |
| Efectos económicos inducidos | 40.056,38 € |
| Rentas directas por turismo | 20.474,37 € |
| Efectos externos | 244.631,71 € |
| Diferencia B - C | 298.247,76 € |
| Ratio B/C | 9,98 |

Fuente: Elaboración propia, IMD e IEA (2007a, 2007b).

Tabla 2. Efectos turísticos de los participantes.

| Campeonato ITF | |
|--|--------------------|
| Participantes procedentes de: | 57 |
| Andalucía | 9 |
| Resto de España | 22 |
| Resto de la Unión Europea | 19 |
| Resto del mundo | 7 |
| Número de días | 7 |
| Gasto medio diario (4^o trimestre 2006) | |
| Andalucía | 50,74 € |
| Resto de España | 52,42 € |
| Resto de la Unión Europea | 48,76 € |
| Resto del mundo | 55,51 € |
| Efectos totales del turismo | 20.474,37 € |

Fuente: Elaboración propia e IEA (2007b).

Para la obtención de los efectos externos se utilizó el MVC. Dicho método permite obtener la cantidad monetaria que están dispuestos a pagar los encuestados para que el evento se volviera a celebrar en Sevilla. El análisis de los datos nos permite obtener un precio medio de 6,28 euros para que volviese a celebrarse de nuevo en Sevilla el Campeonato de Tenis analizado. A partir de este dato, en la Tabla 3 se muestran los efectos externos totales como resultado de multiplicar dicho precio por la población de Sevilla y por el porcentaje de asiduos a este tipo de eventos.

Tabla 3. Método de Valoración Contingente (MVC).

| | Precio a pagar | Porcentaje (Campeonato ITF) |
|--|----------------|-----------------------------|
| Nada | 0 € | 54,76% |
| De 1 a 5 € | 3,0 € | 14,91% |
| De 5 a 10 € | 7,5 € | 15,42% |
| De 10 a 30 € | 20,0 € | 11,05% |
| De 30 a 60 € | 45,0 € | 2,57% |
| De 60 a 120 € | 90,0 € | 0,77% |
| Más de 120 € ^(a) | 120,0 € | 0,51% |
| Precio ponderado por persona | | 6,28 € |
| Población de Sevilla (2006)^(b) | 704.414 | |
| Usuarios asiduos ^(c) | 5,53% | |
| Efectos externos totales | | 244.631,71 € |

Fuente: elaboración propia.

(a) Asumimos que 120 € puede subestimar la media ponderada final, sin embargo, el error no se espera que sea elevado.

(b) Fuente: IEA (2007a).

(c) Porras *et al.* (2006).

En cuanto a los efectos económicos inducidos, éstos se calcularon utilizando unas tablas input-output de 2003 estimadas para la provincia de Sevilla.³ Teniendo presente que no hubo inversiones en nuevas infraestructuras, los costes totales de organización (principalmente servicios) del Campeonato de Tenis femenino generaron 40.056,38 euros. Este resultado se obtiene de aplicar los llamados “multiplicadores hacia atrás” de la matriz inversa de Leontief (Anexo 2) por cada uno de los gastos asociados a cada sector a excepción de los gastos de personal y las gratificaciones.

3.2. Medición de otros efectos externos

A la hora de realizar cualquier estudio sobre impacto económico y social suele ser muy importante la estimación de otros efectos externos, incluidos dentro de los beneficios denominados “efectos externos”, tal como se ha descrito en el epígrafe 2.1.2. de este trabajo. Dichos efectos externos incluyen la mejora de la imagen del municipio junto con el general bienestar de la población en términos de salud, empleo y renta.

Para obtener otros efectos externos, se diseñó una encuesta *ad hoc* para conocer la percepción y el grado de conocimiento y satisfacción del Campeonato de Tenis referido, tanto para los asistentes al evento (150 encuestas) como para los no asistentes al mismo (239 encuestas). La ficha técnica del estudio viene recogida en la Tabla 4.

³ Para un mayor detalle de las técnicas estándar de análisis input-output, véase Miller y Blair (1985) y Pfähler *et al.* (2001).

Tabla 4. Ficha técnica del estudio.

| Características | Encuesta 1 (no asistentes) | Encuesta 2 (asistentes) |
|--|--|--|
| <i>Universo</i> | Habitantes de Sevilla capital, con una edad entre 5 y 75 años | Espectadores, con una edad entre 5 y 75 años |
| <i>Unidad muestral</i> | Persona | Persona |
| <i>Ambito geográfico</i> | Sevilla capital | Lugar de celebración del evento |
| <i>Método de recogida de información</i> | Encuesta personal | Encuesta personal |
| <i>Procedimiento de muestreo</i> | Muestreo estratificado (por distritos) con afijación proporcional estableciendo cuotas por género y por edad | Muestreo aleatorio simple |
| <i>Tamaño de la muestra</i> | 239 | 150 |
| <i>Nivel de confianza</i> | 95% $Z=1,96$ $p=q=50\%$ | 95% $Z=1,96$ $p=q=50\%$ |
| <i>Error muestral</i> | 6,33% | 8,00% |
| <i>Fecha del trabajo de campo</i> | Octubre de 2006 | Octubre de 2006 |

Las principales características sociológicas de los encuestados vienen recogidas en la Tabla 5. Aproximadamente la mitad de los entrevistados eran hombres y la mayoría de ellos tenían una edad comprendida de 15 a 59 años, estudios secundarios o superiores, trabajaba por cuenta ajena o era estudiante y procedía de Sevilla capital.

Tabla 5. Distribución muestral de los encuestados.

| <i>Género</i> | <i>Edad</i> | <i>Estudios finalizados</i> |
|---------------------------|-----------------------|---|
| Hombre 54,0% | De 5 a 14 años 2,1% | Sin estudios 7,7% |
| Mujer 46,0% | De 15 a 24 años 21,6% | Primarios 14,4% |
| | De 25 a 39 años 31,1% | Secundarios (Bachiller, FP1, FP2) 40,6% |
| | De 40 a 59 años 35,0% | Superiores (Universitarios, FP3) 37,3% |
| | De 60 a 74 años 10,3% | |
| <i>Situación laboral</i> | | <i>Procedencia</i> |
| Trabaja por cuenta propia | 13,1% | De Sevilla capital 69,4% |
| Trabaja por cuenta ajena | 38,5% | De la provincia de Sevilla 19,3% |
| Parado, buscando empleo | 6,2% | De otra ciudad de Andalucía 7,2% |
| Parado, sin buscar empleo | 1,3% | De otra ciudad de España 4,1% |
| Estudiante | 22,1% | |
| Sus labores | 9,8% | |
| Pensionista o jubilado | 9,0% | |
| Total: 389 (100%) | | |

Fuente: Elaboración propia.

Se preguntó a los individuos entrevistados por sus percepciones acerca de los efectos sociales y económicos en diferentes ámbitos geográficos (local, regional y nacional), así como por la importancia social y económica y el nivel de impacto general sobre la ciudad de Sevilla. Finalmente, también se les preguntó sobre la conveniencia de la financiación pública de los eventos deportivos y sobre el medio a través del cual tuvieron conocimiento de la celebración de este evento. Todo ello nos aportó información valiosa en relación a la opinión de la población acerca de la conveniencia de la celebración de dicho evento deportivo para la ciudad organizadora.

En general, los individuos encuestados valoraron el Campeonato de Tenis femenino con un alto nivel de importancia deportiva (7,3). La importancia social

otorgada a este evento también fue elevada (6,4), mientras que consideraron que la importancia económica fue la menor, con una puntuación de 5,9.

Considerando los efectos sociales, el 41,6% de los entrevistados pensó que el Campeonato tuvo alguna influencia a nivel nacional, mientras que los que opinaban que la repercusión social a nivel local y regional era significativa fue mucho menor: el 24,7% y el 20,8%, respectivamente. En términos de impacto económico, la mayoría de los entrevistados consideran que la repercusión fue prácticamente a nivel local (51,1%), tal como se puede observar en la Tabla 6.

Tabla 6. Repercusión social y económica en función del ámbito geográfico.

| | Repercusión social | Repercusión económica |
|---------------------|--------------------|-----------------------|
| Influencia local | 24,7% | 51,1% |
| Influencia regional | 20,8% | 15,4% |
| Influencia nacional | 41,6% | 18,3% |
| NS/NC | 12,9% | 15,2% |

Fuente: Elaboración propia.

El valor medio del impacto general de este evento fue de 5,9 según los entrevistados. En cuanto a la valoración de los efectos sociales, hay que señalar que la mayoría de los entrevistados consideran que una mala organización perjudica a la imagen de la ciudad. Asimismo, este tipo de eventos no genera un problema de tráfico y de seguridad, mientras que sí aumenta el reconocimiento y la promoción de la ciudad organizadora, siendo éstos los principales beneficios sociales obtenidos con el Campeonato estudiado (Tabla 7).

Tabla 7. Valoración de los efectos sociales (0 a 10 puntos).

| | |
|---|-----|
| Aumentan el reconocimiento y la promoción de la ciudad organizadora | 6,6 |
| Representan un elemento de orgullo y satisfacción de los ciudadanos | 6,3 |
| Mejoran las relaciones personales y el clima social | 6,0 |
| Generan un problema de tráfico y de seguridad | 4,2 |
| Alteran el ritmo habitual y perjudican a otras actividades | 3,8 |
| Una mala organización perjudica la imagen de la ciudad | 7,0 |

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la valoración de los efectos económicos del Campeonato nos lleva a afirmar que, según los encuestados, las ventajas económicas del mismo se concentran en unas pocas empresas y personas. También hay que señalar, tras las valoraciones obtenidas, que se piensa que este evento apenas hace aumentar el empleo y tampoco genera de manera importante un incremento del turismo durante y después del evento (Tabla 8).

Tabla 8. Valoración de los efectos económicos (0 a 10 puntos).

| | |
|--|-----|
| Ventajas económicas generales (mayor actividad) | 5,7 |
| Generan un incremento del turismo durante y después del evento | 4,9 |
| Aumentan el empleo | 4,4 |
| Pérdidas económicas debidas a que la inversión es mayor que los beneficios obtenidos | 5,1 |
| Las ventajas económicas se concentran en unas pocas empresas y personas | 6,0 |

Fuente: Elaboración propia.

Cerca de un 40% de los entrevistados consideraron que era necesario más gasto público para la celebración de eventos de este tipo. Sin embargo, por otro lado, un porcentaje elevado de encuestados (21,6%) también consideró que no se debía hacer más gasto público en este tipo de eventos, ya que es suficiente.

También es interesante señalar que casi un 55% de los encuestados no estaría dispuesto a pagar nada para que el evento se volviera a celebrar en Sevilla.

En cuanto al medio por el que tuvieron conocimiento del evento, hay que indicar que un 36,8% de los encuestados no conocía el evento hasta el día de la entrevista, mientras que un 19,5% lo conoció por amistades y familiares (Tabla 9).

Tabla 9. Medio para el conocimiento de este evento.

| | |
|--|-------|
| No lo conocía hasta hoy | 36,8% |
| Por la prensa escrita | 8,0% |
| Por televisión y/o radio | 11,3% |
| Por la publicidad municipal por las calles | 5,9% |
| Por las amistades y familiares | 19,5% |
| Otros | 18,5% |

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para contrastar si existen diferencias significativas entre la opinión de los asistentes al evento y la opinión de los no asistentes, se utilizó el contraste no paramétrico de la U de Mann-Whitney, ya que los datos no se ajustaban a una distribución normal. Los resultados vienen recogidos en la Tabla 10. La importancia deportiva y social otorgada por los asistentes es superior a la otorgada por los no asistentes. Por otro lado, los no asistentes otorgan una mayor importancia al hecho de que este tipo de eventos generan un problema de tráfico y de seguridad, alteran el ritmo habitual y perjudican otras actividades de la ciudad y piensan que una mala organización perjudica la imagen de la ciudad. También los asistentes están dispuestos a pagar una mayor cantidad porque el evento se vuelva a celebrar en Sevilla. Por último, puede reseñarse que los asistentes valoran de forma más positiva la labor del IMD que los no asistentes. En el resto de variables no se encontraron diferencias significativas entre un grupo de encuestados y otro.

Tabla 10. Contraste de igualdad de medias entre ambas muestras (asistentes y no asistentes).

| | U de Mann-Whitney | Z | p-valor |
|--|-------------------|--------|---------|
| Importancia deportiva | 14374,000 | -3,389 | 0,001* |
| Importancia social | 15784,500 | -2,006 | 0,045* |
| Importancia económica | 16639,000 | -1,096 | 0,273 |
| Impacto general del evento | 17301,000 | -0,585 | 0,559 |
| EFECTOS SOCIALES DEL EVENTO: | | | |
| 1. Aumenta el reconocimiento y la promoción de la localidad organizadora | 16489,000 | -1,350 | 0,177 |
| 2. Representan un elemento de orgullo y satisfacción de los ciudadanos | 17390,500 | -0,500 | 0,617 |
| 3. Mejoran las relaciones personales y el clima social | 16535,500 | -1,299 | 0,194 |
| 4. Generan un problema de tráfico y de seguridad | 13917,000 | -3,737 | 0,000* |
| 5. Alteran el ritmo habitual y perjudican otras actividades | 14497,000 | -3,198 | 0,001* |
| 6. Una mala organización perjudica la imagen de la ciudad | 14274,500 | -3,416 | 0,001* |
| EFECTOS ECONÓMICOS DEL EVENTO: | | | |
| 1. Ventajas económicas generales (mayor actividad) | 16597,000 | -1,245 | 0,213 |
| 2. Generan un incremento del turismo durante y después del evento | 17743,000 | -0,170 | 0,865 |
| 3. Aumentan el empleo | 16506,000 | -1,323 | 0,186 |
| 4. Pérdidas económicas debido a que la inversión es mayor que los beneficios obtenidos | 14778,500 | -2,940 | 0,003* |
| 5. Las ventajas económicas se concentran en unas pocas empresas y personas | 14195,500 | -3,488 | 0,000* |
| ¿Cree necesario un mayor gasto público para la celebración de este tipo de eventos? | 15920,500 | -1,935 | 0,053 |
| ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar para que este evento volviera a celebrarse en Sevilla? | 15080,000 | -2,897 | 0,004* |
| Valoración del Instituto Municipal de Deportes (IMD) | 15409,000 | -2,354 | 0,019* |

*Diferencias significativas a un nivel de confianza del 95%.

4. CONCLUSIONES

Este trabajo plantea de forma sencilla y concisa una propuesta metodológica para desarrollar anualmente un análisis de impacto económico y social (ya sea *ex-ante* o *ex-post*) de eventos deportivos a nivel municipal, que no requiere gran esfuerzo en términos de tiempo para recopilar la información necesaria ni complejidad en las técnicas a emplear. Este procedimiento se basa, fundamentalmente, en realizar un análisis coste beneficio de la actividad concreta sobre la base de cierta información recopilada a través de los presupuestos organizativos (ingresos y costes directos), técnicas de análisis input-output (efectos económicos inducidos), datos económicos publicados por las agencias estadísticas locales o regionales (efectos directos del turismo) y encuestas *ad hoc* (efectos externos). Asimismo, los resultados obtenidos para el Campeonato de Tenis femenino de la ITF celebrado en Sevilla en 2006 no están en modo alguno sobreestimados por razones de interés ajenas al rigor científico.

En relación con los resultados, los beneficios obtenidos a nivel local han sido casi 10 veces mayores que los costes estimados, la mayor parte de los cuales fueron gastos de mantenimiento y servicios. Asimismo, los efectos económicos inducidos junto con los efectos externos alcanzaron un 85,9% del total de beneficios.

El 45,6% de los participantes del evento eran extranjeros y de los nacionales, el 71% procedían del resto de España, lo que da idea de la importante proyección de imagen que pudo suponer el Campeonato para la ciudad. Por otro lado, los habitantes de la ciudad mostraron estar dispuestos a pagar una media de 6,28 euros por volver a ver este evento organizado en Sevilla.

En cuanto a las características socio-demográficas de los 389 entrevistados, podemos indicar que el 54% eran hombres y casi dos tercios del total tenían entre 25 y 59 años de edad. El 51,6% trabajaban, ya fuese por cuenta propia o ajena; el resto se repartían entre estudiantes, parados, personas dedicadas a sus labores y jubilados o pensionistas. En referencia al nivel de estudios, un 77,9% tenía como mínimo estudios de Secundaria. La mayoría de los encuestados consideraron que el Campeonato en cuestión tenía, preferentemente, efectos sociales a nivel nacional y efectos económicos a nivel local. Asimismo, la mayor parte coincide en señalar el aumento del reconocimiento y la promoción de la localidad organizadora como principal efecto social, mientras que al mismo tiempo muestra cómo una mala organización puede perjudicar, sin duda, mucho la imagen de la ciudad. En términos económicos, la mayor parte de las personas encuestadas piensan que las ventajas económicas se concentran en unas pocas empresas y personas teniendo también algo más de relevancia ciertas ventajas económicas de carácter general.

Finalmente, parece que existen diferencias de valoración entre los espectadores y los no espectadores encuestados en cuanto a los efectos sociales y deportivos, siendo mayor en el caso de los espectadores, mas no en cuanto a los efectos económicos y de impacto general, según ha revelado nuestro análisis estadístico de tipo inferencial.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del Observatorio del Deporte de Sevilla, grupo de trabajo encuadrado en la Universidad Pablo de Olavide, de Sevilla. Los autores quieren expresar su agradecimiento a Manuel J. Porras, Director del Observatorio, por su apoyo logístico en relación con determinados aspectos muestrales,

así como al Instituto Municipal de Deportes del Ayuntamiento de Sevilla por la información facilitada para llevar a cabo este estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baade, R.A. y Matheson, V.A. (1999): “Assessing the economic impact of the Summer Olympic Games: the experience of Los Angeles and Atlanta”. Conference Proceedings of the International Conference on the Economic Impact of Sports, Athens, Greece, pp. 7-24.
- Baade, R.A. y Matheson, V.A. (2000): “An assessment of the economic impact of the American football”, *Reflects et perspectives*, Vol. 34, No. 2-3, pp. 35-46.
- Baade, R.A. y Matheson, V.A. (2001): “Home run or wild pitch? Assessing the economic impact of Major League Baseball’s All-Star Game”, *Journal of Sports Economics*, Vol. 2, No. 4, pp. 307-327.
- Fundación Andalucía Olímpica (2001): *Impacto Económico y Social del Deporte en Andalucía*. Sevilla: FAO.
- Instituto de Estadística de Andalucía (1999): *Sistema de Cuentas Económicas de Andalucía. Marco Input-Output de Andalucía 1995*. Sevilla: IEA.
- Instituto de Estadística de Andalucía (2007a): *Municipios andaluces. Datos básicos*. Sevilla: IEA.
- Instituto de Estadística de Andalucía (2007b): *Encuesta de Coyuntura Turística de Andalucía*. Sevilla: IEA.
- Lee, S. (2001): “A review of economic impact study on sport events”, *The Sport Journal*, Vol. 4, No. 2, Spring. Accesible en: <http://www.thesportjournal.org/2001Journal/Vol4-No2/economic-sports.asp>
- Matheson, V.A. (2002): “Upon further review: an examination of sporting event economic impact studies”, *The Sport Journal*, Vol. 5, No. 1, Spring. Accesible en: <http://www.thesportjournal.org/2002Journal/Vol5-No1/studies.asp>
- Miller, R.E. y Blair, P.D. (1985): *Input-Output Analysis: Foundations and extensions*, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Pfähler, W. *et al.* (2001): *Regional Input-Output Analysis*, Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft.

- Porras, M.J. *et al.* (2006): *Hábitos y actitudes de los sevillanos ante el deporte. Observatorio del deporte de Sevilla.* Instituto Municipal de Deportes. Ayuntamiento de Sevilla. Sevilla.
- Porter, P. (1999): “Mega-sports events as municipal investments: a critique of impact analysis” in: Fizel, J.; Gustafson, E. and Hadley, L., *Sports Economics: Current Research.* Westport, CT: Praeger Press.
- Pulido, A. y Fontela, E. (1993): *Análisis input-output. Modelos, datos y aplicaciones.* Madrid: Pirámide.
- Rueda-Cantuche, J.M. y Ramírez-Hurtado, J.M. (2007): “A simple-to-use procedure to evaluate sporting event social and economic impacts on local communities”, *International Journal of Sport Management and Marketing.* Vol. 2, Nos. 5/6, pp. 510-525.
- USA Congress (1936): *Flood Control Act, 1936.* 74th Congress. Session II. Chs. 651-688. June 20-22, 1936.

ANEXO 1. – TABLA INPUT-OUTPUT ESTIMADA PARA LA PROVINCIA DE SEVILLA, 2003 (en miles de euros).

| Ramas de actividad | Productos agrícolas | Productos manufacturados | Energía, agua, gas ... | Actividades de construcción | Servicios | Demanda intermedia interior | Demanda final | Producción total a precios básicos |
|---|---------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------------------|
| Productos agrícolas | 24.664,92 | 441.390,95 | 0,00 | 11,33 | 29.234,85 | 465.723,31 | 551.044,16 | 1.016.767,47 |
| Productos manufacturados | 48.731,75 | 1.191.294,26 | 15.608,71 | 382.837,35 | 598.753,27 | 2.163.007,24 | 5.323.238,61 | 7.486.245,85 |
| Energía, agua, gas ... | 53.240,72 | 302.150,07 | 283.429,28 | 68.032,59 | 798.676,67 | 1.498.980,23 | 906.135,70 | 2.405.115,93 |
| Actividades de construcción | 16.669,92 | 11.541,28 | 2.695,51 | 495.674,05 | 161.971,52 | 687.262,64 | 2.453.928,39 | 3.141.191,03 |
| Servicios | 73.317,78 | 793.411,40 | 103.549,27 | 233.380,43 | 4.189.096,71 | 5.392.737,96 | 14.738.015,26 | 20.130.753,22 |
| Consumos intermedios interiores | 216.625,09 | 2.739.787,96 | 405.282,77 | 1.179.935,74 | 5.777.733,02 | 10.319.364,58 | 23.860.708,91 | 34.180.073,50 |
| Importaciones | 158.108,75 | 2.657.002,61 | 1.119.592,42 | 582.713,81 | 1.390.171,77 | | | |
| Total de consumos intermedios | 374.733,84 | 5.396.790,57 | 1.524.875,20 | 1.762.649,55 | 7.167.904,79 | | | |
| Impuestos netos sobre productos | -1.507,48 | -154.053,73 | 69.602,13 | 16.563,60 | 316.087,29 | | | |
| VAB a precios básicos | 643.541,11 | 2.243.509,00 | 810.638,60 | 1.361.977,88 | 12.646.761,15 | | | |
| Producción total a precios básicos | 1.016.767,47 | 7.486.245,85 | 2.405.115,93 | 3.141.191,03 | 20.130.753,22 | | | |

Fuente: Elaboración propia e IEA (1999).

ANEXO 2. – MATRIZ INVERSA DE LEONTIEF ESTIMADA.

| Matriz inversa de Leontief | Productos agrícolas | Productos manufacturados | Energía, agua, gas... | Actividades de construcción | Servicios |
|-----------------------------|---------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------|
| Productos agrícolas | 1,0290 | 0,0728 | 0,0008 | 0,0110 | 0,0048 |
| Productos manufacturados | 0,0661 | 1,2008 | 0,0114 | 0,1783 | 0,0476 |
| Energía, agua, gas... | 0,0695 | 0,0671 | 1,1371 | 0,0443 | 0,0601 |
| Actividades de construcción | 0,0213 | 0,0053 | 0,0022 | 1,1893 | 0,0124 |
| Servicios | 0,1083 | 0,1715 | 0,0636 | 0,1388 | 1,2740 |
| Multiplicador | 1,2942 | 1,5175 | 1,2150 | 1,5616 | 1,3989 |

Fuente: Elaboración propia.



Modelo no lineal basado en redes neuronales de unidades producto para clasificación. Una aplicación a la determinación del riesgo en tarjetas de crédito

MARTÍNEZ-ESTUDILLO, F. J.

Departamento de Gestión y Métodos Cuantitativos, ETEA Córdoba (España)

Correo electrónico: fjmestud@etea.com

HERVÁS-MARTÍNEZ, C.

Departamento de Informática y Análisis Numérico, Universidad de Córdoba

Correo electrónico: chervas@uco.es

TORRES-JIMÉNEZ, M.

Departamento de Gestión y Métodos Cuantitativos, ETEA Córdoba (España)

Correo electrónico: mtorres@etea.com

MARTÍNEZ-ESTUDILLO, A. C.

Departamento de Gestión y Métodos Cuantitativos, ETEA Córdoba (España)

Correo electrónico: acme@etea.com

RESUMEN

El principal objetivo de este trabajo es mostrar un tipo de redes neuronales denominadas *redes neuronales basadas en unidades producto* (RNUP) como un modelo no lineal que puede ser utilizado para la resolución de problemas de clasificación en aprendizaje. Proponemos un método evolutivo en el que simultáneamente se diseña la estructura de la red y se calculan los correspondientes pesos. La metodología que presentamos se basa, por tanto, en la combinación del modelo no lineal RNUP y del algoritmo evolutivo; se aplica a la resolución de un problema de clasificación de índole económica, surgido del mundo de las finanzas. Para evaluar el rendimiento de los modelos de clasificación obtenidos, comparamos nuestra propuesta con varias técnicas clásicas, como la regresión logística o el análisis discriminante, y con el clásico modelo de perceptrón multicapa de redes neuronales basado en unidades sigmoides y el algoritmo de aprendizaje de retropropagación (MLPBP).

Palabras clave: clasificación; redes neuronales de unidades producto; redes neuronales evolutivas.

Clasificación JEL: C45; C63.

2000MSC: 68T10; 62M45.

Non-linear model for classification based on product-unit neural networks. An application to determine credit card risk

ABSTRACT

The main aim of this work is to show a neural network model called *product unit neural network* (PUNN), which is a non-linear model to solve classification problems. We propose an evolutionary algorithm to simultaneously design the topology of the network and estimate its corresponding weights. The methodology proposed combines a non-linear model and an evolutionary algorithm and it is applied to solve a real economic problem that occurs in the financial management. To evaluate the performance of the classification models obtained, we compare our approach with several classic statistical techniques such as logistic regression and linear discriminant analysis, and with the multilayer perceptron neural network model based on sigmoidal units trained by means of Back-Propagation algorithm (MLPBP).

Keywords: classification; product unit neural networks; evolutionary neural networks.

JEL classification: C45; C63.

2000MSC: 68T10; 62M45.



I. INTRODUCCIÓN

Las redes neuronales artificiales han surgido en los últimos años, demostrando ser una herramienta eficiente para la resolución de problemas en el ámbito de la economía y las finanzas. Cuestiones como la predicción, la clasificación del riesgo y la selección de información dispersa en los mercados se plantean como elementos claves para una eficiente gestión financiera. Los datos que con frecuencia aparecen en los mercados financieros están afectados por ruido y suelen presentar un comportamiento no lineal. Son numerosos los trabajos que recientemente han abordado la resolución de problemas de predicción y de clasificación en el ámbito económico financiero con redes neuronales artificiales.

Probablemente, el mayor número de aplicaciones de las redes neuronales a la economía se hallan en el ámbito de la predicción de series temporales en mercados de capitales. Los modelos de redes neuronales, unidos en algunos casos a los algoritmos genéticos, han sido usados por ejemplo para la predicción del nivel o el signo de los retornos de índices bursátiles, tanto para índices más grandes y estables, véanse [1] y [2], como en mercados más volátiles, como los asiáticos en [3]. La predicción de la producción de automóviles o de la tasa de impago de bonos corporativos de alto riesgo y la evolución de los márgenes de retorno de estos bonos son otros ejemplos interesantes del uso de la herramienta para la predicción.

También en problemas de clasificación podemos encontrar numerosos ejemplos en los que las redes neuronales han mostrado su rendimiento, mejorando con frecuencia la precisión alcanzada por técnicas clásicas como el análisis discriminante o la regresión logística. La evaluación del riesgo de crédito [4], el análisis de las condiciones y señales que pueden hacer recomendable una intervención bancaria [5], la predicción de la bancarrota [6], aviso previo de insolvencia para las compañías de seguros [7], valoración de propiedades en el condado de San Diego o una clasificación de las empresas españolas en varias categorías [8] son algunos ejemplos claros en este sentido.

En el presente trabajo no nos marcamos como objetivo hacer una revisión exhaustiva de la aportación realizada por las redes neuronales a la economía. Un estudio más extenso y detallado de las numerosas aplicaciones de los modelos de redes neuronales a la resolución de problemas económico-financieros puede consultarse, por ejemplo, en [5,9]. Nuestro propósito es mostrar un tipo de redes neuronales denominadas redes neuronales basadas en unidades producto que, aunque fueron

introducidas por Durbin y Rumelhart en 1989 [1,10], no han sido muy utilizadas por los investigadores en el área de ciencias de la computación y, como consecuencia, tampoco en otras áreas como la economía y las finanzas en las que sin embargo sí han encontrado aplicación las redes neuronales en su formulación clásica determinada por el perceptrón multicapa (MLP).

Las redes unidades producto están basadas en nodos multiplicativos en vez de en nodos de tipo aditivo. La combinación lineal de las variables de entrada en las clásicas redes MLP es ahora sustituida por un producto de estas variables elevadas a exponentes reales. Desafortunadamente, como veremos en el siguiente epígrafe, la superficie de error asociada a las redes de unidades producto es muy rugosa, con numerosos óptimos locales y también con regiones llanas. Este hecho es el que motiva el uso de algoritmos evolutivos como herramienta para optimizar la función de error asociada al problema.

Aunque son numerosas las aplicaciones de las redes neuronales a la economía, nos centraremos en una de las aplicaciones en la resolución de problemas de clasificación. Concretamente, estudiaremos el rendimiento de las redes de unidades producto en un problema de clasificación del impago de tarjeta de crédito surgido del mundo de las finanzas: la base de datos “German card”. Los resultados obtenidos por el modelo RNUP serán comparados con los que obtienen las redes MLP clásicas, basadas en unidades de tipo sigmoide, y con modelos clásicos como el análisis discriminante o la regresión logística.

El trabajo se estructura de la siguiente forma: la sección II revisará de forma no exhaustiva diferentes modelos lineales y no lineales que han sido usados en la resolución de problemas de clasificación; en la sección III se presenta el modelo no lineal basado en unidades producto, mostrándose la estructura funcional, la representación en red neuronal adaptada a un problema de clasificación y un análisis de las fortalezas y debilidades del modelo; la sección IV desarrolla el modelo evolutivo que proponemos para la optimización del modelo; la sección V expondrá los resultados del modelo en el problema de clasificación elegido y la comparación con métodos clásicos como el análisis discriminante y la regresión logística por una parte, y la comparación con las redes MLP entrenadas con retropropagación por otra.

II. MODELOS LINEALES Y NO LINEALES EN CLASIFICACIÓN

Es conocido que el método más simple para asignar un patrón a la clase correspondiente es

a través de una función lineal de las variables de entrada. Este proceso es bastante estable, es decir, la varianza del resultado obtenido con respecto a diferentes conjuntos de datos de entrenamiento es pequeña; aunque el error cometido es mayor que si consideramos modelos no lineales que ajustarán mejor los datos de entrenamiento aunque con una mayor varianza con respecto a la variación del conjunto de datos de entrenamiento¹. Con frecuencia, en un problema con datos reales, no es posible realizar la suposición de linealidad entre las variables. La hipótesis de linealidad resulta bastante restrictiva como punto de partida. A continuación, iniciamos un recorrido breve por algunos métodos que van más allá de la linealidad, introduciendo la no linealidad en el modelo de diferentes formas y en diferente grado.

El primer método que consideramos es el clásico análisis discriminante [11], en el que se supone que las variables de entrada siguen distribuciones normales. Cuando las matrices de covarianzas de las distribuciones normales asociadas a cada clase son las mismas, la regla de decisión determinada por el método está basada en fronteras lineales en las variables independientes. Si esta hipótesis no se cumple, la regla de decisión da como resultado fronteras de tipo cuadrático. El análisis discriminante ha sido usado en numerosas aplicaciones, por lo que en la parte experimental será uno de los métodos frente a los que compararemos el rendimiento de nuestro modelo.

Otro método clásico usado en multitud de aplicaciones en clasificación binaria es la regresión logística. El método trata de estimar las probabilidades a posteriori de pertenencia de cada uno de los patrones de un conjunto de entrenamiento a uno de los dos valores que toma la variable dependiente mediante relaciones lineales entre las variables predictoras [12], bajo la hipótesis de que la función de probabilidad asociada a una de las clases es de tipo sigmoide. La estimación de los parámetros se hace por máxima verosimilitud. Para obtener el óptimo, el procedimiento habitual es un método iterativo de tipo Newton-Raphson denominado Iteratively Reweighted Least Squared (IRLS) [11]. Sobre este método, es interesante destacar su relación con los modelos clásicos de redes neuronales basados en unidades de tipo sigmoidal. Un estudio completo de la relación entre ambos modelos puede verse en [13] y [14].

En problemas reales, con frecuencia se comprueba que el análisis discriminante

¹ Este hecho es conocido como el *dilema bias-varianza* dentro de la comunidad estadística y en el lenguaje de redes neuronales suele plantearse en términos de precisión y complejidad del modelo, asociada a su capacidad de generalización, es decir, de predecir correctamente el valor asignado a aquellos datos nuevos que no pertenezcan al conjunto de entrenamiento.

lineal o cuadrático, o la regresión logística no son capaces de determinar las fronteras de decisión de un problema de clasificación cuando dichas fronteras de decisión alcanzan un alto nivel de no linealidad. Una técnica alternativa es no suponer nada acerca de las distribuciones de probabilidad de los datos y estimar directamente las diferentes clases del problema a partir de los datos de entrenamiento disponibles.

Una técnica tradicional es sustituir las variables de entrada por funciones no lineales convenientemente elegidas y construidas a partir de ellas, denominadas funciones de base, y posteriormente considerar un modelo lineal en el nuevo espacio formado por las variables transformadas. Por ejemplo, un desarrollo en serie de Taylor hasta el orden 2, incluyendo por tanto términos cuadráticos y las interacciones entre la variables, puede ser considerado como un primer intento para pasar de un modelo lineal a uno no lineal.

Métodos como el de aprendizaje siguiendo la proyección² [15], modelos aditivos generalizados³ [16] y PolyMARS [17], un método híbrido basado en funciones de tipo spline (MARS)⁴ [18], diseñado específicamente para resolver problemas de clasificación, pueden ser vistos desde esta perspectiva. En la misma línea se encuentran las propuestas de Bose [19], que determinan las probabilidades condicionales de cada clase a partir de funciones splines cúbicas (CUS), o su posterior afinamiento usando splines lineales y sus productos tensoriales para resolver problemas de clasificación más complejos [20]. La mayor dificultad de estos métodos consiste en determinar de antemano la tipología de las funciones de base y su número.

Por último, las redes neuronales artificiales [21] han sido aplicadas en un amplio rango de problemas de clasificación. Aunque se han utilizado diferentes arquitecturas, la más frecuente ha sido la estructura de red con una sola capa oculta y funciones de activación de las neuronas de tipo sigmoide.

III. REDES NEURONALES BASADAS EN UNIDADES PRODUCTO

A continuación presentamos las redes neuronales basadas en unidades producto. Comenzaremos definiendo la estructura funcional del modelo no lineal y su representación mediante una red neuronal con unas determinadas características. Nos ocuparemos posteriormente de comentar diferentes aspectos del modelo, haciendo un

² Projection pursuit learning.

³ Generalized additive models.

⁴ MultiAdaptive Regression Splines.

recorrido por los métodos de entrenamiento que han sido utilizados hasta el momento para calcular los pesos de una red de este tipo, mostrando a su vez sus limitaciones.

A. ESTRUCTURA FUNCIONAL

Consideremos la familia de funciones definida por $F = \bigcup_{m \in \mathbf{N}} F_m$, donde:

$$F_m = \left\{ f : A \subset \mathbf{R}^k \rightarrow \mathbf{R} : f(x_1, x_2, \dots, x_k) = \beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_j \left(\prod_{i=1}^k x_i^{w_{ji}} \right) \right\}$$

y el dominio de definición de f es el conjunto de \mathbf{R}^k dado por $A = \{(x_1, x_2, \dots, x_k) \in \mathbf{R}^k : 0 < x_i\}$.

Observemos que cada función de la familia puede verse como una expresión polinómica en varias variables en la que los exponentes de cada variable son números reales. En particular, para dos variables independientes, las funciones de la familia F_m tienen la siguiente expresión: $f(x_1, x_2) = \beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_j x_1^{w_{j1}} x_2^{w_{j2}}$.

Por otra parte, es interesante observar que las funciones definidas en el modelo anterior pueden considerarse como una generalización de las superficies de respuesta. Observemos, por ejemplo, que si en el modelo para dos variables se eligen convenientemente los exponentes $w_{ji} \in \{0, 1, 2\}$ se obtiene una superficie de respuesta cuadrática del tipo:

$$f(x_1, x_2) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2.$$

y en general, para k variables, del tipo:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_k) = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j=1}^k \beta_{ij} x_i x_j.$$

Merece atención el problema que surge con este tipo de redes cuando recibe valores negativos de las variables de entrada. En este caso, la salida de la red es un número complejo. Los problemas que vamos a abordar con este tipo de modelos tienen siempre valores reales, por lo que hemos de evitar el trabajo con números complejos. Durbin y Rumelhart [10] sugieren descartar la parte imaginaria y usar solo la parte real de la posible salida compleja de la red. Esta manipulación puede tener como consecuencia un aumento de la dimensión de Vapnik-Chervonenkis (dimensión VC) del modelo, lo que implica la disminución de su capacidad de generalización, es decir, de predecir correctamente datos que no pertenecen al conjunto de entrenamiento (véase [22] para más detalles). Para evitar este problema, restringiremos el dominio al

subconjunto A de \mathbf{R}^k dado por $\{\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_k) \in \mathbf{R}^k : x_i > 0, i = 1, 2, \dots, k\}$.

B. REPRESENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA FUNCIONAL EN UNA ESTRUCTURA DE RED NEURONAL

Las redes de tipo multiplicativo están basadas en nodos de la forma:

$$y_j = \prod_{i=1}^k x_i^{w_{ji}}$$

donde k es el número de variables de entrada. Cuando los exponentes en la expresión anterior son iguales a 0 ó 1, se obtienen las redes neuronales conocidas como sigma-pi. En el caso de las unidades producto, los exponentes w_{ji} son números reales y además no están fijados de antemano. La estructura funcional definida en el epígrafe anterior puede ser representada como una red neuronal con las siguientes características: una capa de entrada con k nodos, tantos como variables de entrada, una capa oculta con m nodos y una capa de salida con 1 nodo. No existen conexiones entre los nodos de una misma capa, ni conexiones directas entre los nodos de la capa de entrada y de salida. La función de activación del nodo j de la capa oculta está dada por $B_j(\mathbf{x}, \mathbf{w}_j) = \prod_{i=1}^k x_i^{w_{ji}}$ donde w_{ji} es el valor del peso que conecta el nodo de entrada i con el nodo j de la capa intermedia. La función de activación del nodo de salida está dada por $\beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_j B(\mathbf{x}, \mathbf{w}_j)$, donde $\mathbf{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, \dots, w_{jk})$.

De forma análoga, es posible definir la estructura de una red producto con J salidas. La función para cada salida está definida por $f_l(\mathbf{x}; \boldsymbol{\theta}_l)$:

$$f_l(\mathbf{x}; \boldsymbol{\theta}_l) = \beta_0^l + \sum_{j=1}^m \beta_j^l B_j(\mathbf{x}, \mathbf{w}_j), \quad l = 1, 2, \dots, J. \quad (1)$$

donde $\boldsymbol{\theta}_l = (\beta^l, \mathbf{w}_1, \dots, \mathbf{w}_m)$ y $\beta^l = (\beta_0^l, \beta_1^l, \dots, \beta_m^l)$.

Es importante observar que la expresión $f(x_1, x_2, \dots, x_k) = \beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_j \left(\prod_{i=1}^k x_i^{w_{ji}} \right)$ es funcionalmente equivalente a la expresión:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_k) = \beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_j \exp\left(\sum_{i=1}^k w_{ji} \ln(x_i)\right).$$

A partir de esta ecuación, una red basada en unidades producto puede verse de forma equivalente a una red en la que se aplica una transformación logarítmica a las variables de entrada x_i y los nodos de la capa oculta son aditivos con función de

transferencia exponencial $\exp(t) = e^t$ ⁵. Esta arquitectura equivalente resulta computacionalmente más eficiente.

C. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS REDES DE UNIDADES PRODUCTO

Las redes neuronales basadas en unidades producto han demostrado buenos resultados en el modelado de datos en los que existen interacciones de diferentes órdenes entre las variables independientes del problema. Se ha comprobado la eficiencia en el modelado de determinado tipo de datos usando un número de nodos en la capa intermedia, inferior al que se necesitarían si se consideraran redes neuronales estándar. Durbin y Rumelhart [10] demostraron que la capacidad de información de una única unidad de tipo producto (medida como la capacidad para el aprendizaje de patrones booleanos aleatorios⁶) es aproximadamente igual a $3N$, comparado con el valor de $2N$ que corresponde a una unidad de tipo aditivo, siendo N el número de entradas de la unidad. Junto a esto, es posible obtener cotas superiores para redes basadas en unidades producto similares a las conocidas para las redes de tipo sigmoide [22]. Por último, como consecuencia del Teorema de Stone–Weierstrass, se ha demostrado que las redes de unidades producto son aproximadores universales [23] (obsérvese que las funciones polinómicas de varias variables son un subconjunto de los modelos basados en unidades producto). Sin embargo, las redes neuronales basadas en unidades producto presentan un inconveniente importante: la superficie de error asociada es especialmente compleja, con numerosos óptimos locales y regiones planas, y por tanto con mayor probabilidad de quedar atrapado en alguno [24, 25]. La estructura potencial del modelo provoca que pequeños cambios en los exponentes tengan como consecuencia un cambio significativo en los valores de la función y en la función de error. Así, los algoritmos de entrenamiento de redes basados en el gradiente quedan con frecuencia, y de forma especial en este tipo de redes neuronales, atrapados en óptimos locales. Por ejemplo, está estudiado el hecho de que el clásico algoritmo de retropropagación no funciona bien en este tipo de redes [26]. Janson y Frenzel [26] diseñan un algoritmo genético para evolucionar los pesos de una red basada en unidades producto con una estructura

⁵ Obsérvese la diferencia que hay desde el punto de vista funcional con el modelo definido por las redes MLP dado por:

$$f_l(\mathbf{x}, \boldsymbol{\theta}) = \beta_0^l + \sum_{j=1}^m \beta_j^l \sigma \left(\sum_{i=1}^n w_{ji} x_i - \theta_j \right), \quad l = 1, 2, \dots, J$$

donde σ es una función sigmoide.

⁶ Random boolean patterns.

predefinida. El mayor problema de este tipo de algoritmos es cómo obtener la arquitectura óptima de antemano. Ismael y Engelbrecht [24, 25] aplicaron cuatro métodos diferentes de optimización para entrenar redes de unidades producto: algoritmo genético estándar, método de optimización mediante cúmulo de partículas (PSO) y LEAPFROG. Los resultados obtenidos muestran que estos algoritmos son eficientes en el entrenamiento de redes basadas en unidades producto, obteniéndose los mejores resultados con el algoritmo genético y con PSO. Es importante señalar, sin embargo, que las funciones usadas en la experimentación corresponden a casos sencillos, funciones polinómicas de baja dimensionalidad. En un trabajo posterior, [27] utilizan un algoritmo de poda donde evolucionan tanto la estructura como los pesos de la red de unidades producto. Leerink *et al.* [28] prueban diferentes métodos de optimización local y global para este tipo de redes. Los resultados obtenidos muestran que los algoritmos de búsqueda local, como el de retropropagación, suelen quedar atrapados en mínimos locales, y los de búsqueda global, como el de búsqueda aleatoria o enfriamiento simulado, no son eficientes para redes grandes. Sugieren alguna heurística para mejorar la retropropagación y la combinación de métodos de búsqueda global y local. En definitiva, los trabajos realizados sobre redes de unidades producto no han afrontado el problema simultáneo del diseño de la estructura de la red y la estimación de los pesos de las conexiones utilizando métodos clásicos o técnicas evolutivas. No obstante, las unidades producto han sido utilizadas en problemas de regresión [23,29,30,31,32].

D. APLICACIÓN DEL MODELO A PROBLEMAS DE CLASIFICACIÓN

Como señalamos en la introducción, una cuestión de especial importancia en el ámbito financiero es la de disponer de técnicas eficientes que permitan decidir si una inversión o un préstamo lleva aparejado un riesgo aceptable o no para la entidad correspondiente. La cuantificación de este riesgo en función de las características del solicitante (edad, cuantía del préstamo, sexo, salario, años de antigüedad en el empleo, estado civil, número de hijos...) es una tarea esencial para una entidad financiera. De la misma forma, una organización puede estar interesada en tener un criterio afinado que permita discriminar entre riesgo bajo, medio y alto, para controlar la exposición a diferentes tipos de riesgo para un problema determinado. Los problemas descritos son en realidad problemas concretos de clasificación⁷ de patrones que pasamos a formular a

⁷ Las técnicas de clasificación han sido aplicadas especialmente en el ámbito del diagnóstico de enfermedades. Las redes neuronales han obtenido resultados muy buenos en el diagnóstico de

continuación en su forma general.

En un problema de clasificación se recopila información acerca de varias características o variables x_i , $i=1,2,\dots,k$, de cada individuo u objeto de la muestra analizada para, posteriormente, asignar dichos individuos a una de las J clases previamente establecidas, según el valor de las mencionadas variables. Se asume que J es finito, y las características x_i son observaciones aleatorias de estas clases.

Se dispone de una muestra de entrenamiento $D = \{(\mathbf{x}_n, \mathbf{y}_n); n=1,2,\dots,N\}$, donde $\mathbf{x}_n = (x_{1n}, \dots, x_{kn})$ es el vector aleatorio de las medidas de las características analizadas, que tomará valores en $\Omega \subset \mathbf{R}^k$, e \mathbf{y}_n es la clase a la que pertenece el n -ésimo individuo. Adoptamos la técnica común de representación de las diferentes clases mediante un vector de codificación “1-de- J ” $\mathbf{y} = (y^{(1)}, y^{(2)}, \dots, y^{(J)})$, de manera que $y^{(l)} = 1$ si \mathbf{x} corresponde a un ejemplo perteneciente a la clase l y, de otro modo $y^{(l)} = 0$. Basándonos en la muestra de entrenamiento, se pretende encontrar una función de clasificación $C: \Omega \rightarrow \{1,2,\dots,J\}$ que nos permita clasificar a los individuos. En otras palabras, dada una partición de Ω , D_1, D_2, \dots, D_J , donde D_l pertenece a la clase l , $l=1,2,\dots,J$, y los valores de las características correspondientes a D_l , será clasificado como la clase l -ésima. El error de clasificación ocurre cuando la regla de decisión Ω asigna a un individuo (según su vector de características) a la clase j cuando realmente pertenece a la clase $l \neq j$. Se define el porcentaje de clasificación correcta por $CCR = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N I(C(\mathbf{x}_n) = \mathbf{y}_n)$, donde $I(\bullet)$ es la función de pérdida 0-1. Un buen clasificador tratará de conseguir el mayor CCR posible para un problema determinado.

Para abordar el problema de clasificación a partir de nuestro modelo de unidades producto, vamos a normalizar las salidas de la red para que sumen la unidad y puedan interpretarse como las probabilidades de pertenencia a cada clase. Consideramos la transformación⁸:

$$g_l(\mathbf{x}, \boldsymbol{\theta}_l) = \frac{\exp f_l(\mathbf{x}, \boldsymbol{\theta}_l)}{\sum_{l=1}^J \exp f_l(\mathbf{x}, \boldsymbol{\theta}_l)}, l=1,2,\dots,J.$$

enfermedades como el cáncer. Otra aplicación importante de las redes neuronales es el reconocimiento de caracteres.

⁸ Esta transformación es conocida en la literatura de redes neuronales como transformación soft-max.

La transformación soft-max produce salidas positivas que suman 1 y que, por tanto, pueden ser interpretadas como probabilidades condicionadas de pertenencia a una clase:

$$p(y^{(l)} = 1 | \mathbf{x}, \boldsymbol{\theta}_l) = g_l(\mathbf{x}, \boldsymbol{\theta}_l), \quad l = 1, 2, \dots, J.$$

La red neuronal correspondiente, después de aplicar la transformación anterior, puede verse en la Figura 1.

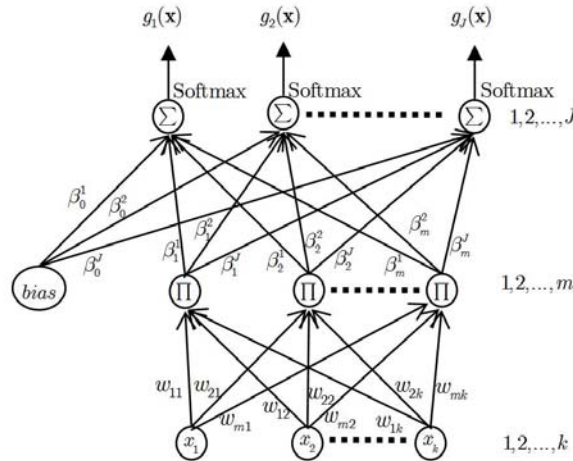


Fig. 1. Modelo de red neuronal de unidades producto para clasificación.

La regla de asignación $C(\mathbf{x})$ para un problema de clasificación es por tanto $C(\mathbf{x}) = \hat{l}$ donde $\hat{l} = \arg \max_l g_l(\mathbf{x}, \hat{\boldsymbol{\theta}})$ para $l = 1, 2, \dots, J$. En otras palabras, cada patrón será asignado a la clase correspondiente a la salida con máxima probabilidad. Por otra parte, la condición de normalización $\sum_{l=1}^J p(y^{(l)} = 1 | \mathbf{x}, \boldsymbol{\theta}_l) = 1$ hace que una de las probabilidades no necesite ser estimada, con la consiguiente reducción del número de parámetros a estimar. Sin pérdida de generalidad, supondremos que $f_J(\mathbf{x}, \boldsymbol{\theta}_J) = 0$.

E. SOBRE LA FUNCIÓN DE ERROR PARA CLASIFICACIÓN: ENTROPÍA

Para la estimación del modelo, consideraremos la entropía cruzada⁹ como función de error¹⁰ [21]. Dados los datos del conjunto de entrenamiento $D = \{(\mathbf{x}_n, \mathbf{y}_n)\}$ con $x_{in} > 0$,

⁹ Cross-entropy, en inglés.

¹⁰ Otra posibilidad es considerar el vector de salidas normalizadas de la red y calcular para cada patrón la distancia euclídea entre dicho vector y el vector objetivo de carácter binario formado por un 1 en la posición correspondiente a la clase a la que pertenece el patrón y ceros en el resto. Esta medida de error, conocida como error cuadrático medio o mean squared error (MSE) en inglés, es muy utilizada en los problemas de clasificación. Sin embargo, es importante destacar que la entropía resulta más adecuada que el error cuadrático medio para resolver problemas de clasificación (véanse por ejemplo

$\forall i, n$, el proceso de estimación del modelo se basa en el método de máxima verosimilitud en el que se intenta maximizar las probabilidades de pertenencia a la clase correspondiente para cada patrón del conjunto de datos de entrenamiento. Equivalentemente, y para simplificar los cálculos, usualmente se minimiza el valor negativo del producto del logaritmo de las probabilidades de pertenencia. De esta forma, la función de error a minimizar es:

$$l(\theta) = -\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^J y_n^{(l)} \log g_l(\mathbf{x}_n, \theta_l) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left[-\sum_{l=1}^J y_n^{(l)} f_l(\mathbf{x}_n, \theta_l) + \log \sum_{l=1}^J \exp f_l(\mathbf{x}_n, \theta_l) \right] \quad (2)$$

donde $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_J)$.

Desde un punto de vista estadístico, con la transformación soft-max y la función de entropía cruzada (2), el modelo puede verse como un modelo de regresión multilogística [11].

La superficie de error asociada a este modelo es generalmente bastante rugosa con numerosos óptimos locales. Además la matriz hessiana de la función de error $l(\theta)$ es en general indefinida. Este hecho, unido a la no linealidad de las funciones $f(\mathbf{x}, \theta)$ y a que el número de funciones de base no esté fijado de antemano, son los motivos que nos han llevado a aplicar las técnicas de computación evolutiva para la optimización de la función de error. No aplicamos por tanto el método de tipo gradiente, denominado IRLS y usado clásicamente para la estimación de un modelo de regresión logística.¹¹

IV. ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS: ALGORITMO EVOLUTIVO

Establecido el modelo no lineal con el que vamos a trabajar, se ha de fijar el procedimiento para determinar la estructura de red y los valores de los pesos que minimicen la función de error elegida. Frente a los métodos clásicos que fijan de antemano la estructura y determinan los pesos a partir de métodos de tipo gradiente, como la retropropagación, el gradiente conjugado o el método de Newton-Raphson, nosotros vamos a usar técnicas de programación evolutiva.

La evolución simultánea de la estructura de la red (nodos y conexiones) y de los valores de los pesos permite una exploración global del espacio de modelos posibles y

los argumentos esgrimidos en [33,34] a favor de la entropía). Junto a los argumentos presentados en las referencias anteriores a favor de la entropía, hay que señalar además que el rango de variación de esta es mucho mayor que en el MSE, al ser potencialmente no acotada (véase a este respecto el análisis en [35]). Este hecho es especialmente importante cuando usamos un esquema de tipo evolutivo en el que es necesario que el proceso no se estanque o bien cuando se utilizan búsquedas locales de tipo gradiente.

evita tener que determinar de antemano la estructura óptima del modelo. Los algoritmos evolutivos y la evolución de la población son por tanto una herramienta adecuada para realizar esta búsqueda en el espacio de conexiones y pesos.

Otra ventaja de los métodos evolutivos es su capacidad para trabajar con situaciones de discontinuidad en los datos o no diferenciabilidad de la correspondiente función de error. A menudo, los métodos clásicos de optimización aplicados en estadística o econometría sobre modelos no lineales fallan o quedan atrapados en óptimos locales cuando se trabaja con problemas reales en los que no se cumplen las hipótesis básicas de continuidad y/o diferenciabilidad.

En el campo de las redes neuronales, han existido diferentes intentos para diseñar la arquitectura de forma automática, como los métodos constructivos y los métodos de poda [36,37]. Sin embargo, estos métodos son propensos a quedar atrapados en óptimos locales.

Los algoritmos evolutivos aplicados a redes neuronales aparecen como una propuesta más eficiente que los métodos constructivos y de poda para diseñar la arquitectura óptima y encontrar los pesos de la red (véase los trabajos siguientes como una muestra de la teoría desarrollada en los últimos años sobre las redes evolutivas [38,39,40,41,42,43,44]). El proceso evolutivo, por tanto, determinará el número de funciones de base del modelo y los correspondientes coeficientes y exponentes.

A. ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS

En este apartado proponemos un algoritmo evolutivo para el aprendizaje de los parámetros de una red neuronal, minimizando la función de error de entropía cruzada. Construimos un algoritmo evolutivo para diseñar la estructura, así como para estimar los pesos de las conexiones de la red de unidades producto.

El proceso de búsqueda comienza a partir de una población inicial de redes de unidades producto y, en cada iteración, la población va modificándose utilizando un algoritmo de actualización. La población está sujeta a operadores de mutación y replicación. No se utiliza cruce por sus potenciales problemas en la evolución de redes neuronales [43,44]. Teniendo en cuenta las características del algoritmo propuesto, podemos concluir que se trata de un algoritmo evolutivo [45,46]. La estructura general del algoritmo evolutivo es la siguiente:

¹¹ Obsérvese a este respecto el aumento en la complejidad de la función de error cuando se sustituye el modelo lineal propio de la regresión logística en (2) por una función $f(\mathbf{x},\theta)$ de tipo producto.

- (1) Generar una población inicial de tamaño N_p .
- (2) Repetir hasta que se cumpla la condición de parada.
 - (a) Calcular la aptitud de cada uno de los individuos de la población.
 - (b) Ordenar los individuos con respecto a su aptitud.
 - (c) El mejor individuo se pasa a la nueva población.
 - (d) El 10% mejor de la población se copian y sustituyen al 10% peor de la población.

Sobre la población intermedia:

- (e) Se aplica mutación paramétrica sobre los individuos del 10% mejor de la población.
- (f) Se aplica mutación estructural sobre los individuos del 90% restante de la población.

Sea $l(\theta)$ la función de error del individuo g de la población. Obsérvese que g es una red de unidades producto y puede ser vista como una función vectorial $g(\mathbf{x}, \theta) = (g_1(\mathbf{x}, \theta_1), \dots, g_l(\mathbf{x}, \theta_l))$. La aptitud es una función estrictamente decreciente de la función de error $l(\theta)$ dada por $A(g) = \frac{1}{1+l(\theta)}$.

La mutación paramétrica se aplica a cada coeficiente w_{ji} , β_j^l introduciendo ruido gaussiano según la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} w_{ji}(t+1) &= w_{ji}(t) + \xi_1(t) \\ \beta_j^l(t+1) &= \beta_j^l(t) + \xi_2(t) \end{aligned} \quad (3)$$

donde $\xi_k(t) \in N(0, \alpha_k(t))$, para cada $k=1,2$, representa una variable aleatoria normal unidimensional normalmente distribuida de media 0 y varianza $\alpha_k(t)$. Una vez que la mutación es aplicada, la aptitud de cada individuo es recalculada y se aplica un algoritmo típico de enfriamiento simulado [47,48]. De esta forma, si ΔA es la diferencia de la función de aptitud entre antes y después de aplicar la mutación, el criterio es: si $\Delta A \geq 0$, la mutación es aceptada, y si $\Delta A < 0$, la mutación es aceptada con una probabilidad $\exp(\Delta A/T(g))$, donde la temperatura $T(g)$ de un individuo g viene dada por $T(g) = 1 - A(g)$, $0 \leq T(g) < 1$.

La varianza $\alpha_k(t)$ se actualiza a lo largo del proceso evolutivo. Hay diferentes métodos para actualizar la varianza. En nuestro caso, utilizamos la regla de 1/5 de éxitos de Rechenberg [49], uno de los métodos más simples. Esta regla establece que la

proporción de mutaciones exitosas ha de ser 1/5. Por tanto, si la proporción de mutaciones exitosas es mayor a 1/5, la desviación de la mutación se incrementa en otro caso disminuye. De esta forma:

$$\alpha_k(t+s) = \begin{cases} (1+\lambda)\alpha_k(t) & \text{si } s_g > 1/5 \\ (1-\lambda)\alpha_k(t), & \text{si } s_g < 1/5 \\ \alpha_k(t) & \text{si } s_g = 1/5 \end{cases} \quad (4)$$

donde $k=1,2$, s_g es la proporción de mutaciones exitosas sobre s generaciones y $\lambda=0.1$. El objetivo de esta adaptación es intentar evitar quedar atrapado en mínimos locales así como acelerar el proceso de búsqueda dentro de la evolución cuando las condiciones del entorno de búsqueda actuales sean buenas.

También hay que señalar que el grado de las modificaciones en los exponentes w_{ji} es diferente a la que se realiza sobre los coeficientes β_j^l , donde $\alpha_1(t) \ll \alpha_2(t)$.

La mutación estructural implica una modificación en la estructura de la red neuronal y posibilita la exploración en diferentes regiones en el espacio de búsqueda, ayudando a mantener la diversidad en la población.

Hay cinco tipos de mutaciones estructurales: eliminar nodos, eliminar conexiones, añadir nodos, añadir conexiones y fusión de nodos. Estas cinco mutaciones son aplicadas secuencialmente a cada red. Las primeras cuatro son similares a las mutaciones expuestas en el modelo GNARL [44]. En la mutación unir nodos, se eligen aleatoriamente dos nodos de la capa oculta, a y b , y se reemplazan por un nuevo nodo c , el cual es combinación de los dos anteriores. Las conexiones comunes entre los dos nodos se mantienen, con un peso dado por:

$$\begin{aligned} \beta_c^l &= \beta_a^l + \beta_b^l \\ w_{jc} &= \frac{w_{ja} + w_{jb}}{2} \end{aligned} \quad (5)$$

Las conexiones no comunes entre los nodos son heredadas por c con una probabilidad de 0.5, manteniéndose el peso. No obstante, los operadores de eliminación y unión se realizan con una mayor probabilidad ($T(g)$ para las mutaciones de eliminación y unión y $T^2(g)$ para las de suma). Si la mutación de eliminación o unión mejoran la aptitud de la red, no se realizan el resto de mutaciones estructurales. Si por probabilidad no se seleccionara ninguna mutación, se elige un tipo aleatoriamente y se aplica a la red.

El criterio de parada se alcanza si se cumple alguna de las siguientes condiciones:

se alcanza un número de generaciones determinado o la varianza de la aptitud del 10% mejor de la población es menor que 10^{-4} .

Los parámetros utilizados en el algoritmo evolutivo son comunes para todos los problemas. Hemos considerado $\alpha_1(0) = 0.5$, $\alpha_2(0) = 1$, $\lambda = 0.1$ y $s = 5$. Los exponentes w_{ji} , y los coeficientes β_j^i se inicializan en el intervalo $[-5,5]$. El máximo número de nodos ocultos es $m = 6$. El tamaño de la población es $N_p = 1000$. El número de nodos que pueden ser añadidos o eliminados en una mutación estructural puede ser $\{1,2\}$. El número de conexiones que pueden ser añadidas o eliminadas de la red se elige dentro del intervalo $[1,c]$, donde c es un tercio de número de conexiones de la red. Se ha considerado un máximo de 400 generaciones.

B. ESCALADO

En las aplicaciones a problemas reales de clasificación que llevaremos a cabo, realizaremos un escalado previo de los datos mediante una transformación lineal en el intervalo $[1,2]$. La cota inferior ha sido elegida para evitar valores de las variables cercanos a cero que podrían generar valores del modelo muy elevados cuando los exponentes son negativos. La cota superior se ha elegido para evitar cambios bruscos en la función de error cuando los exponentes toman un valor elevado.

V. EXPERIMENTOS

Para examinar el riesgo de impago en tarjetas de crédito, hemos usado una base de datos utilizada por Baesens y otros [4] denominada German Credit Card. Incluye información sobre 20 variables explicativas o características correspondientes a 1000 personas titulares de tarjetas de crédito que nos permiten clasificarlas en dos categorías excluyentes según exista o no riesgo de impago.

Por lo tanto, la variable dependiente del modelo de clasificación tomará el valor 0 si no hay riesgo de impago, y 1 si lo hay. La base de datos incluye 300 casos de impago.

Las variables categóricas han sido transformadas en variables binarias, una por cada categoría, por lo que en total se han utilizado 61 variables, tal y como se puede observar en la Tabla 1, la cual incluye la descripción de las variables utilizadas y algunos estadísticos descriptivos sobre las mismas.

TABLA 1: DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES
UTILIZADAS PARA LA CLASIFICACIÓN

| Variable | Definición | Tipo | Mediana | Mín. | Máx. |
|----------|---|--|---------|------|-------|
| 1 a 4 | Estado de la cuenta corriente | Categoría, 4 posibles valores: desde menos de 0 marcos (descubierto) hasta más de 200 marcos (1€=1.95583 marcos alemanes), o no tiene cuenta corriente | 0 | 0 | 1 |
| 5 | Duración (en meses) | Continua | 18 | 4 | 72 |
| 6 a 10 | Historial de crédito | Categoría, 5 categorías: desde no existe historial hasta retrasos en el pago | 0 | 0 | 1 |
| 11 a 21 | Propósito | Categoría, 11 posibilidades según tipo de compra: coche, mobiliario, negocios, etc. | 0 | 0 | 1 |
| 22 | Cantidad de crédito | Continua | 2319.5 | 250 | 18424 |
| 23 a 27 | Cuentas de ahorro | Categoría, 5 posibles valores: desde menos de 100 marcos hasta más de 1000 marcos, o no tiene cuenta de ahorro | 0 | 0 | 1 |
| 28 a 32 | Años en el empleo actual | Categoría, 5 valores posibles: desde desempleado hasta más de 7 años | 0 | 0 | 1 |
| 33 | Cuotas de pago (% sobre ingresos disponibles) | Continua | 3 | 1 | 4 |
| 34 a 38 | Sexo y estado civil | Categoría, 5 posibles combinaciones: entre hombre o mujer, soltero, casado, divorciado, separado o viudo | 0 | 0 | 1 |
| 39 a 41 | Otros deudores-avalistas | Categoría, 3 valores: ninguno, co-solicitante, avalista | 0 | 0 | 1 |
| 42 | Años en la residencia actual | Continua | 3 | 1 | 4 |
| 43 a 46 | Tipo de propiedad | Categoría, 4 categorías: desde propietario de inmueble, seguro de vida, coche u otro, no propiedad o desconocido | 0 | 0 | 1 |
| 47 | Edad en años | Continua | 33 | 19 | 75 |
| 48 a 50 | Otros pagos pendientes | Categoría, 3 posibles valores: banco, tiendas, ninguna | 0 | 0 | 1 |
| 51 a 53 | Régimen de vivienda | Categoría: alquiler, propiedad, renta libre | 0 | 0 | 1 |
| 54 | Número de créditos existentes en este banco | Continua | 1 | 1 | 4 |
| 55 a 58 | Categoría laboral | Categoría, 4 categorías: desde desempleado o incapacitado hasta directivo o autoempleo | 0 | 0 | 1 |
| 59 | Número de personas a su cargo | Continua | 1 | 1 | 2 |
| 60 | Teléfono | Categoría: sí o no | -1 | -1 | 1 |
| 61 | Trabajador extranjero | Categoría: sí o no | 1 | -1 | 1 |

A. COMPARACIÓN CON OTROS MÉTODOS: ANÁLISIS DISCRIMINANTE (AD), REGRESIÓN LOGÍSTICA (RL) Y MLPBP

Para realizar la experimentación, hemos dividido la base de datos en 10 partes del mismo tamaño y hemos aplicado el procedimiento estándar de validación cruzada en las diferentes metodologías consideradas para la comparación (MLPBP, AD Y RL). El algoritmo evolutivo se ha ejecutado 10 veces para cada partición, mientras que los algoritmos de regresión logística (RL) y de análisis discriminante (AD) se ejecutaron una vez para cada partición. En la Tabla 2 se muestran los resultados medios del porcentaje de patrones correctamente clasificados (CCR) y la desviación típica para cada uno de los métodos.

Como puede verse, el algoritmo evolutivo basado en unidades producto obtiene el mejor resultado (mayor CCR medio) entre todas las metodologías consideradas. Se ha realizado un test de comparación de los CCR medios obtenidos con las diferentes metodologías (muestras relacionadas), por el cual se ha detectado la existencia de diferencias significativas entre las redes unidades producto (RNUP) y el resto de metodologías con un nivel de significación del 5%.

TABLA 2: RESULTADOS ESTADÍSTICOS SOBRE EL CONJUNTO DE GENERALIZACIÓN DEL MODELO RNUP Y LOS MÉTODOS MLPBP, AD, RL

| Método | CCR | Desv. Típica |
|--------|------|--------------|
| MLPBP | 73.2 | 3.61 |
| RNUP | 76.3 | 4.8 |
| AD | 71.7 | 6.25 |
| RL | 75.7 | 5.3 |

VI. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En el presente trabajo se ha mostrado un tipo de redes neuronales, denominadas redes neuronales basadas en unidades producto (RNUP), como un modelo no lineal que puede ser utilizado para la resolución de problemas de clasificación en aprendizaje. Estas redes neuronales no han sido muy utilizadas por los investigadores en el área de ciencias de la computación y, como consecuencia, tampoco en otras áreas como la economía y las finanzas en las que, sin embargo, sí han encontrado aplicación las redes neuronales en su formulación clásica determinada por el perceptrón multicapa (MLP). Junto al modelo no lineal, se propone un método evolutivo en el que simultáneamente se diseña la estructura de la red y se calculan los correspondientes pesos. Para evaluar el rendimiento de los modelos de clasificación obtenidos, comparamos nuestra propuesta

con varias técnicas clásicas como la regresión logística o el análisis discriminante y también con el clásico modelo perceptrón multicapa (MLP) de redes neuronales basado en unidades sigmoideas. Los resultados obtenidos por el modelo RNUP muestran que la propuesta realizada puede ser una alternativa interesante en la resolución de problemas de clasificación en el ámbito económico a los métodos clásicos estadísticos, como por ejemplo el análisis discriminante y la regresión logística, e incluso a las redes MLP.

La investigación realizada abre diferentes líneas de trabajo. La primera sería realizar una experimentación más completa, incluyendo un mayor número de bases de datos con diferentes características, que permitiera obtener resultados de comparación más consistentes. En segundo lugar, el mismo modelo puede ser aplicado a problemas de regresión y, con algunas modificaciones en la estructura de la red, a problemas de predicción de series temporales. Por último, una tercera línea de trabajo estaría basada en un enfoque multiobjetivo del problema de clasificación o de regresión, en donde se considerara no solo la precisión del modelo, sino también su complejidad. La obtención de modelos más sencillos, con un menor número de parámetros facilitaría la interpretación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado en parte por el proyecto TIN 2005-08386-C05-02 de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (MICYT) y fondos FEDER. Deseamos también expresar nuestro agradecimiento a los revisores anónimos que con sus valiosas sugerencias han mejorado sin duda la calidad del presente trabajo.

REFERENCIAS

1. Hawley, D., Johnson, J., y Raina, D., Artificial Neural System: A new tool for financial decision-making. *Financial Analysts Journal* 23 (1990) 63-72.
2. Refenes, A.P., *Neural networks in the capital markets*, New York Wiley (1995).
3. Parisi, A., Parisi, F., y Díaz, D., Modelos de Algoritmos Genéticos y Redes Neuronales en la Predicción de Índices Bursátiles Asiáticos. *Cuadernos de Economía*, 43 (2006) 251-284.
4. Baesens, B., Setiono, R., Mues, C., y Vanthienen, J., Using neural network rule extraction and decision tables for credit -risk evaluation. *Management Science*, 49 (2003) 312-329.
5. Mcnelis, P.D., *Neural Networks in Finance: Gaining Predictive Edge in the Market*. Advanced Finance Series Elsevier Academic Press (2005).

6. Coleman, K.G., Graettinger, T.J., y Lawrence, W.F., Neural Networks for Bankruptcy Prediction: The Power to Solve Financial Problems. *AI Review*, (1991) 48-50.
7. Brockett, P.W., Cooper, W.W., Golden, L.L., y Pitaktong, U., A neural network method for obtaining an early warning of insurer insolvency. *The Journal of Risk and Insurance*, 6 (1994) 402-424.
8. Martín-del Brio, B. y Serrano-Cinca, C., Self-organizing Neural networks: The financial State of Spanish Companies, in *Neural networks in the Capital Markets*, A.P. Refenes, Editor: Wiley. 341-357 (1995).
9. Herbrich, D., Keilbach, M., Graepel, T., Bollmann-Sdorra, P., y Obermayer, K., Neural Networks in Economics: Background, applications and new developments, in *Advances in Computational Economics: Computational techniques for Modelling Learning in Economics*, T. Brenner, Editor, Kluwer Academics. 169-196 (2000).
10. Durbin, R. y Rumelhart, D., Products Units: A computationally powerful and biologically plausible extension to backpropagation networks. *Neural Computation*, 1 (1989) 133-142.
11. Hastie, T., Tibshirani, R.J., y Friedman, J., *The Elements of Statistical Learning. Data mining, Inference and Prediction*, in Springer. (2001).
12. McCullagh, P. y Nelder, J.A., *Generalized Linear Models*, 2nd edn., ed. C. Hall, London (1989).
13. Schumacher, M., Robner, R., y Vach, W., Neural networks and logistic regression: Part I. *Computational Statistics & Data Analysis*, 21 (1996) 661-682.
14. Vach, W., Robner, R., y Schumacher, M., Neural Networks and logistic regression: Part II. *Computational Statistics & Data Analysis*, 21 (1996) 683-701.
15. Friedman, J. y Stuetzle, W., Projection pursuit regression. *Journal of the American Statistical Association*, 76 (376) (1981) 817-823.
16. Hastie, T.J. y Tibshirani, R.J., *Generalized Additive Models*, London Chapman & Hall (1990).
17. Kooperberg, C., Bose, S., y Stone, C.J., Polychotomous Regression. *Journal of the American Statistical Association*, 92 (1997) 117-127.
18. Friedman, J., Multivariate adaptive regression splines (with discussion). *Ann. Stat.*, 19 (1991) 1-141.
19. Bose, S., Classification using splines. *Computational Statistics & Data Analysis*, 22 (1996) 505-525.
20. Bose, S., Multilayer statistical classifiers. *Computational Statistics & Data Analysis*, 42 (2003) 685-701.
21. Bishop, M., *Neural Networks for Pattern Recognition* Oxford University Press (1995).

22. Schmitt, M., On the Complexity of Computing and Learning with Multiplicative Neural Networks. *Neural Computation*, 14 (2001) 241-301.
23. Martinez-Estudillo, A., Martinez-Estudillo, F., Hervas-Martinez, C., y Garcia-Pedrajas, N., Evolutionary product unit based neural networks for regression. *Neural Networks*, 19 (4) (2006) 477-486.
24. Ismail, A. y Engelbrecht, A.P. Training products units in feedforward neural networks using particle swarm optimisation. in *Development and practice of Artificial Intelligence Techniques, Proceeding of the International Conference on Artificial Intelligence Durban, South Africa* In V.B. Bajic & D. Sha (Eds). (1999)
25. Ismail, A. y Engelbrecht, A.P. Global optimization algorithms for training product units neural networks. in *International Joint Conference on Neural Networks IJCNN'2000 Como, Italy*. (2000)
26. Janson, D.J. y Frenzel, J.F., Training product unit neural networks with genetic algorithms. *IEEE Expert*, 8 (5) (1993) 26-33.
27. Ismail A., E.A.P. Pruning product unit neural networks. in *Proceedings of the International Conference on Neural Networks Honolulu, Hawaii*. (2002)
28. Leerink, L.R., Giles, C.L., Horne, B.G., y Jabri, M.A., Learning with products units. *Advances in Neural Networks Processing Systems*, 7 (1995) 537-544.
29. Saito, K. y Nakano, R., Extracting Regression Rules From Neural Networks. *Neural Networks*, 15 (2002) 1279-1288.
30. Saito, K. y Nakano, R. Numeric law discovery using neural networks. in *Proc. of the 4th International Conference on Neural Information Processing (ICONIP97)*. (1997)
31. Engelbrecht, A.P. y Ismail, A., Training product unit neural networks. *Stability and Control: Theory and Applications*, 2 (1-2) (1999) 59-74.
32. Martinez-Estudillo, A.C., Hervas-Martinez, C., Martinez-Estudillo, F.J., y Garcia-Pedrajas, N., Hybridization of evolutionary algorithms and local search by means of a clustering method. *Ieee Transactions on Systems Man and Cybernetics Part B-Cybernetics*, 36 (3) (2006) 534-545.
33. Joost, M. y Schiffmann, W., Speeding up backpropagation algorithms by using Cross-Entropy combined with Pattern Normalization. *International Journal of Uncertainty Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 6 (2) (1998) 117-126.
34. Bishop, C.M., *Pattern Recognition and Machine Learning*. Information Science and Statistics, ed. M. Jordan Springer (2006).
35. Baldi, P., Brunak, S., Chauvin, Y., Andersen, C.A.F., y Nielsen, H., Assessing the accuracy of prediction algorithms for classification: an overview. *Bioinformatics*, 16 (5) (2000) 412-424.
36. Reed, R., Pruning algorithms-A survey. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 4 (1993) 740-747.

37. Setiono, R. y Hui, L.C.K., Use of quasinewton method in a feedforward neural-network construction algorithm. *IEEE Trans. Neural Networks*, 6 (1995) 273-277.
38. Yao, X., Evolving artificial neural network. *Proceedings of the IEEE*, 9 (87) (1999) 1423-1447.
39. García-Pedrajas, N., Hervás-Martínez, C., y Muñoz-Pérez, J., Multiobjective cooperative coevolution of artificial neural networks. *Neural Networks*, 15 (10) (2002) 1255-1274.
40. Yao, X. y Liu, Y., Making use of population information in evolutionary artificial neural networks. *IEEE Transactions and System Man and Cybernetics-Part B: Cybernetics*, 28 (3) (1998) 417-425.
41. Yan, W., Zhu, Z., y Hu, R. Hybrid genetic /BP algorithm and its application for radar target classification. in *Proceedings of the IEEE National Aerospace Electronics Conference Piscataway, NJ, USA IEEE Press.* (1997)
42. Fogel, D.B. Using evolutionary programming to greater neural networks that are capable of playing Tic-Tac-Toe. in *International Conference on Neural Networks San Francisco, CA IEEE Press.* (1993)
43. Yao, X. y Liu, Y., A new evolutionary system for evolving artificial neural networks. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 8 (3) (1997) 694-713.
44. Angeline, P.J., Saunders, G.M., y Pollack, J.B., An evolutionary algorithm that constructs recurrent neural networks. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 5 (1) (1994) 54-65.
45. Fogel, D.B., Owens, A.J., y Wals, M.J., *Artificial Intelligence Through Simulated Evolution*, New York Wiley (1966).
46. Fogel, D.B., *Evolutionary Computation: Toward a New Philosophy of Machine Intelligence*, New York IEEE Press (1995).
47. Kirkpatrick, S., Gellat, C.D.J., y Vecchi, M.P., Optimization by simulated annealing. *Science*, 220 (1983) 671-680.
48. Otten, R.H.J.M. y van Ginneken, L.P.P.P., *The annealing algorithm*, Boston, MA. Ed. Kluwer (1989).
49. Rechenberg, I., *Evolutionstrategie: Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der Biologischen Evolution*, Stuttgart Framman-Holzboog Verlag (1975).



UNIVERSIDAD
PABLO
OLAVIDE
SEVILLA



REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA
LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA (3). Páginas 63–79.
Junio de 2007. ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.
URL: <http://www.upo.es/RevMetCuant/art11.pdf>

Unit Root Tests and Structural Breaks: A Survey with Applications

GLYNN, JOHN

Graduate School of Business

University of Wollongong

Correo electrónico: jglynn@uow.edu.au

PERERA, NELSON

Graduate School of Business

University of Wollongong

Correo electrónico: nperera@uow.edu.au

VERMA, REETU

School of Economics

University of Wollongong

Correo electrónico: reetu@uow.edu.au

ABSTRACT

The theme of unit roots in macroeconomic time series have received a great amount of attention in terms of theoretical and applied research over the last three decades. Since the seminal work by Nelson and Plosser (1982), testing for the presence of a unit root in the time series data has become a topic of great concern. This issue gained further momentum with Perron's 1989 paper which emphasized the importance of structural breaks when testing for unit root processes.

This paper reviews the available literature on unit root tests taking into account possible structural breaks. An important distinction between testing for breaks when the break date is known or exogenous and when the break date is endogenously determined is explained. We also describe tests for both single and multiple breaks. Additionally, the paper provides a survey of the empirical studies and an application in order for readers to be able to grasp the underlying problems that time series with structural breaks are currently facing.

Keywords: unit root, structural breaks, multiple breaks.

JEL classification: C12; C22.

2000MSC: 62P20.

Artículo recibido el 28 de mayo de 2007 y aceptado el 6 de junio de 2007.

Contrastes de raíces unitarias y cambios estructurales: un estudio con aplicaciones

RESUMEN

El tema de las raíces unitarias en series temporales macroeconómicas ha recibido gran atención, tanto desde el punto de vista teórico como de investigación aplicada, en las últimas tres décadas. Desde el trabajo clave de Nelson y Plosser (1982), contrastar la presencia de una raíz en datos temporales ha llegado a ser un asunto de gran interés. Esta cuestión ganó incluso preponderancia con el artículo de Perron de 1989, que destaca la importancia de los cambios estructurales al contrastar procesos de raíces unitarias.

Este trabajo revisa la literatura disponible sobre contrastes de raíces unitarias, teniendo en cuenta los posibles cambios estructurales. Se explica la diferencia entre contrastar cambios cuando la fecha del cambio es conocida (o exógena) y cuando el cambio es determinado endógenamente. También describimos contrastes tanto para cambios simples como para cambios múltiples. Además, el artículo revisa los estudios empíricos y da una aplicación para que los lectores puedan comprender los problemas subyacentes que se están afrontando en el estudio de las series temporales con cambios estructurales.

Palabras clave: raíces unitarias; cambios estructurales; cambios múltiples.

Clasificación JEL: C12; C22.

2000MSC: 62P20.



1. Introduction

During the last three decades, the methods of estimation of economic relationships and modeling fluctuations in economic activity have been subjected to fundamental changes. The method of estimation of the standard regression model, Ordinary Least Square (OLS) method, is based on the assumption that the means and variances of these variables being tested are constant over the time. Variables whose means and variances change over time are known as non-stationary or unit root variables. Therefore, incorporating non-stationary or unit root variables in estimating the regression equations using OLS method give misleading inferences. Instead, if variables are non-stationary, the estimation of long-run relationship between those variables should be based on the cointegration method. Since the testing of the unit roots of a series is a precondition to the existence of cointegration relationship, originally, the Augmented Dickey-Fuller (1979) test was widely used to test for stationarity. However, Perron (1989) showed that failure to allow for an existing break¹ leads to a bias that reduces the ability to reject a false unit root null hypothesis. To overcome this, Perron proposed allowing for a known or exogenous structural break in the Augmented Dickey-Fuller (ADF) tests. Following this development, many authors including, Zivot and Andrews (1992) and Perron (1997) proposed determining the break point ‘endogenously’ from the data. Lumsdaine and Papell (1997) extended the Zivot and Andrews (1992) model to accommodate two structural breaks. However, these endogenous tests were criticized for their treatment of breaks under the null hypothesis. Given the breaks were absent under the null hypothesis of unit root there may be tendency for these tests to suggest evidence of stationarity with breaks (Lee and Strazicich, 2003). Lee and Strazicich (2003) propose a two break minimum Lagrange Multiplier (LM) unit root test in which the alternative hypothesis unambiguously implies the series is trend stationary.

The objective of the paper is to survey the recent development of unit root hypotheses in the presence of structural change at the unknown time of the break. The salient feature of the paper is to propose a treatment of this important topic in a non technical way. The structure for the rest of paper is as follows. Section 2 discusses the conventional unit roots tests, which do not take into account structural breaks. Section

¹ This may be the change in the series as a result some unique economic events.

3 explains the unit root testing that takes into account one structural break. Unit root testing that takes into account multiple structural breaks are presented in Section 4. In section 5, the authors review some empirical studies and demonstrate the application of the techniques presented in the previous sections. Finally, in section 6, the authors present some concluding remarks.

2. Traditional Unit Root Tests

Nelson and Plosser (1982) argue that almost all macroeconomic time series one typically uses have a unit root. The presence or absence of unit roots helps to identify some features of the underlying data generating process of a series. In the absence of unit root (stationary), the series fluctuates around a constant long-run mean and implies that the series has a finite variance which does not depend on time. On the other hand, non-stationary series have no tendency to return to long-run deterministic path and the variance of the series is time dependent. Non-stationary series suffer permanent effects from random shocks and thus the series follow a random walk.

If the series is non-stationary and the first difference of the series is stationary, the series contains a unit root. The commonly used methods to test for the presence of unit roots are the Augmented Dickey-Fuller (ADF) tests (Dickey and Fuller, 1979 and 1981). The main thrust of the unit root literature concentrates on whether time series are affected by transitory or permanent shocks. This can be tested by the ADF model, which is primarily concerned with the estimate of α . In the following equation, we test the null hypothesis of $\alpha = 0$ against the alternative hypothesis of $\alpha < 0$:

$$\Delta y_t = u + \beta t + \alpha y_{t-1} + \sum_{i=1}^k c_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (1)$$

where Δ denotes the first difference, y_t is the time series being tested, t is the time trend variable, and k is the number of lags which are added to the model to ensure that the residuals, ε_t are white noise². Schwarz Bayesian Criterion (SBC) and Akaike Information Criterion (AIC) are used to determine the optimal lag length or k . Non-rejection of the null hypothesis implies that the series is non-stationary; whereas the rejection of the null indicates the time series is stationary.

² This means ε_t has zero mean and constant variance that is uncorrelated with ε_s for $t \neq s$.

3. Unit Root Tests in the presence of Structural Break

The debate on unit root hypothesis underwent renewed interest following the important findings of Nelson and Plosser (1982). The traditional view of the unit root hypothesis was that the current shocks only have a temporary effect and the long-run movement in the series is unaltered by such shocks. The most important implication under the unit root hypothesis sparked by Nelson and Plosser (1982) is that the random shocks have permanent effects on the long-run level of macroeconomics; that is the fluctuations are not transitory.

These findings were challenged by Perron (1989), who argues that in the presence of a structural break, the standard ADF tests are biased towards the non-rejection of the null hypothesis. Perron argues that most macroeconomic series are not characterized by a unit root but rather that persistence arises only from large and infrequent shocks, and that the economy returns to deterministic trend after small and frequent shocks. According to Perron, ‘Most macroeconomic time series are not characterized by the presence of a unit root. Fluctuations are indeed stationary around a deterministic trend function. The only ‘shocks’ which have had persistent effects are the 1929 crash and the 1973 oil price shock’ (1989, pp.1361).

Perron’s (1989) procedure is characterized by a single exogenous (known) break in accordance with the underlying asymptotic distribution theory. Perron uses a modified Dickey-Fuller (DF) unit root tests that includes dummy variables to account for one known, or exogenous structural break. The break point of the trend function is fixed (exogenous) and chosen independently of the data. Perron’s (1989) unit root tests allows for a break under both the null and alternative hypothesis. These tests have less power than the standard DF type test when there is no break. However, Perron (2005) points out that they have a correct size asymptotically and is consistent whether there is a break or not. Moreover, they are invariant to the break parameters and thus their performance does not depend on the magnitude of the break.

Based on Perron (1989), the following three equations are estimated to test for the unit root. The equations take into account the existence of three kinds of structural breaks: a ‘crash’ model (2) which allows for a break in the level (or intercept) of series; a ‘changing growth’ model (3), which allows for a break in the slope (or the

rate of growth); and lastly one that allows both effects to occur simultaneously, i.e one time change in both the level and the slope of the series (4).

$$x_t = \alpha_0 + \alpha_1 DU_t + d(DTB)_t + \beta t + \rho x_{t-1} + \sum_{i=1}^p \phi_i \Delta x_{t-1} + e_t \quad (2)$$

$$x_t = \alpha_0 + \gamma DT_t^* + \beta t + \rho x_{t-1} + \sum_{i=1}^p \phi_i \Delta x_{t-1} + e_t \quad (3)$$

$$x_t = \alpha_0 + \alpha_1 DU_t + d(DTB)_t + \gamma DT_t + \beta t + \rho x_{t-1} + \sum_{i=1}^p \phi_i \Delta x_{t-1} + e_t \quad (4)$$

Where the intercept dummy DU_t represents a change in the level; $DU_t = 1$ if $(t > TB)$ and zero otherwise; the slope dummy DT_t (also DT_t^*) represents a change in the slope of the trend function; $DT^* = t - TB$ (or $DT_t^* = t$ if $t > TB$) and zero otherwise; the crash dummy $(DTB) = 1$ if $t = TB + 1$, and zero otherwise; and TB is the break date. Each of the three models has a unit root with a break under the null hypothesis, as the dummy variables are incorporated in the regression under the null. The alternative hypothesis is a broken trend stationary process.

However, Perron's known assumption of the break date was criticized, most notably by Christiano (1992) as 'data mining'. Christiano argues that the data based procedures are typically used to determine the most likely location of the break and this approach invalidates the distribution theory underlying conventional testing. Since then, several studies have developed using different methodologies for endogenously determining the break date. Some of these include Banerjee, Lumisdaine and Stock (1992), Zivot and Andrews (1992), Perron and Vogelsang (1992), Perron (1997) and Lumsdaine and Papell (1998). These studies have shown that bias in the usual unit root tests can be reduced by endogenously determining the time of structural breaks.

Zivot and Andrews (1992) endogenous structural break test is a sequential test which utilizes the full sample and uses a different dummy variable for each possible break date. The break date is selected where the t-statistic from the ADF test of unit root is at a minimum (most negative). Consequently a break date will be chosen where the evidence is least favorable for the unit root null. The critical values in Zivot and Andrews (1992) are different to the critical values in Perron (1989). The difference is due to that the selecting of the time of the break is treated as the outcome of an estimation procedure, rather than predetermined exogenously.

Even though Banerjee, Lumisdaine and Stock (1992) use endogenous structural break test, the tests are rolling and recursive tests. The numbers of breaks are determined by non-sequential tests which use sub-samples. This can be viewed as not having used the full information set, which may have implications for the power of these tests.

This work was extended by Perron and Vogelsang (1992) and Perron (1997) who proposed a class of test statistics that allows for two different forms of structural break. These are the Additive Outlier (AO) and Innovational Outlier (IO) models. The AO model allows for a sudden change in mean (crash model) while the IO model allows for more gradual changes. Perron and Vogelsang (1992, pp.303) argue that these tests are based on the minimal value of t statistics on the sum of the autoregressive coefficients over all possible breakpoints in the appropriate autoregression. While Perron (1997, pp. 356), argues that "if one can still reject the unit root hypothesis under such a scenario it must be the case it would be rejected under a under a less stringent assumption". Perron and Vogelsang (1992) applied these two models for non-trending data (raw data), while Perron (1997) modified them for use with trending data.

Applying the procedure for testing the unit root hypothesis, which allows for the possible presence of the structural break, has at least two advantages. First, it prevents yielding a test result which is biased towards non-rejection, as suspected by Perron (1989). Second, since this procedure can identify when the possible presence of structural break occurred, then it would provide valuable information for analyzing whether a structural break on a certain variable is associated with a particular government policy, economic crises, war, regime shifts or other factors.

However, two important issues need to be raised here. Firstly, the power of these tests has been questioned by Perron himself and others. The issue has been raised by some authors to the trade-off between the power of the test and the amount of information incorporated with respect to the choice of break point (Perron 1997, pp.378). Secondly, these tests only capture the single most significant break in each variable, raising the question: what if there are multiple breaks in each individual variable? We now turn our discussion to multiple breaks in a time series.

4. Multiple Structural Breaks

Several studies³ argue that only considering one endogenous break is insufficient and leads to a loss of information when actually more than one break exists (Lumsdaine and Papell (1997)). Lumsdaine and Papell (1997) introduce a procedure to capture two structural breaks and argue that unit roots tests that account for two significant structural breaks are more powerful than those that allow for a single break. Lumsdaine and Papell extend the Zivot and Andrews (1992) model allowing for two structural breaks under the alternative hypothesis of the unit root test and additionally allow for breaks in level and trend.

Others who have considered multiple breaks are Clemente, Montañés and Reyes (1998) who base their approach on Perron and Vogelsang (1992) but allow for two breaks. Ohara (1999) utilizes an approach based on sequential t-tests of Zivot and Andrews to examine the case on m breaks with unknown break dates. He provides evidence that unit root tests with multiple trend breaks are necessary for both asymptotic theory and empirical applications. Papell and Prodan (2003) propose a test based on restricted structural change, which explicitly allows for two offsetting structural changes.

These endogenous break tests that allow for the possibility of one or multiple breaks; Zivot and Andrews, Banerjee *et al.*, Perron (1997), Lumsdaine and Papell (1997) and Ohara (1999) do not allow for break(s) under the null hypothesis of unit root and thus derive their critical values accordingly⁴. This may potentially bias these tests. Nunes *et al* (1997) show that this assumption leads to size distortions in the presence of a unit root with a break and Perron (2005, pp.55) suggests that there may be some loss of power. Furthermore, Lee and Strazicich (2003) demonstrate that when utilizing these endogenous break unit root tests, researchers might conclude that the time series is trend stationary when in fact the series is non-stationary with break(s).

³ Ben-David *et al* (2003) argue that failure to allow for multiple breaks can cause the non-rejection of the unit root null by these tests which incorporate only one break. Lumsdaine and Papell (1997) argue that consideration of only one endogenous break may be not sufficient and under such circumstances it could lead to loss of information. Maddala and Kim (2003) believe that allowing for the possibility of two endogenous break points provides further evidence against the unit root hypothesis.

⁴ This hypothesis differs from Perron's (1989) exogenous break unit root tests, which allows for the possibility of a break under both the null and the alternative hypothesis.

In this regard ‘spurious rejections’ may occur. Thus, as pointed out by Lee and Strazicich (2003), a careful interpretation of results in empirical work is required.

The minimum Lagrange Multiplier (LM) unit root test proposed by Lee and Strazicich (2003)⁵ not only endogenously determines structural breaks but also avoids the above problems of bias and spurious rejections. Furthermore, the Lee and Strazicich (2003) procedure corresponds to Perron’s (1989) exogenous structural break (Model C) with change in the level and the trend. Lee and Strazicich’s (2003)⁶ model allows for two endogenous breaks both under the null and the alternative hypothesis. They show that the two-break LM unit root test statistic which is estimated by the regression according to the LM principle will not spuriously reject the null hypothesis of a unit root.

5. Empirical Studies

In this section, we, firstly, review the work of many authors based on the data set used by Nelson and Plosser (1982). Secondly, we review the studies by some authors on different data sets from various counties. Finally, we apply the tests discussed in the previous sections to Indian economic data.

Nelson and Plosser Data

Using annual data for 14 macroeconomic variables from the United States of America over the period 1909 to 1970, Nelson and Plosser (1982) could not reject the unit root hypothesis with the standard ADF test for 13 of them including Gross National Product (GNP). They conclude that these series behave more like a random walk than like transitory deviations from steadily growing trend. This led many researchers to believe that time series are influenced by the number of permanent shocks. Subsequent empirical findings such as Stulz and Wasserfallen (1985) and Wasserfallen (1986) supported the unit root hypothesis in the sense that most of the US macroeconomic variables are not stationary at level.

Perron (1989) using the Nelson and Plosser data set allows for a known single break date methodology to test for the presence of unit root. He chooses the stock

⁵ Initially, Amsler and Lee (1995) designed their invariant Lagrange Multiplier (LM) unit root test with one exogenous break.

⁶ If only one break is significant, Strazicich *et al.* (2004) recommend running the one-break LM unit root test proposed by Lee and Strazicich (2004).

market crash of 1929 as a break point that permanently changed the level of series. Perron's result challenged most of Nelson and Plosser's conclusions. He rejects the unit root null for 11 series that Nelson and Plosser found to be non-stationary. The results confirmed the view that where there is a structural break, the ADF tests are biased towards the non-rejection of the unit root. He proposes that such a series are better described as stationary around a trend with a structural break in 1929. Perron also applies the same test using quarterly postwar real GNP series for the US economy from 1947:1 to 1986: III. He includes a one-time change in the slope of the deterministic trend in 1973 due to the oil price shock. The quarterly GNP series is also found to be stationary.

Zivot and Andrews (1992) who test for a single endogenous break date find less evidence against the unit root hypothesis than Perron (1989) does. Zivot and Andrews provide evidence that confirmed Nelson and Plosser's findings, in the sense that the results are mostly in favour of the integrated model. Zivot and Andrews (1992) reject the unit root at the five percent significance level for only three out of 13 variables using the Nelson and Plosser data. However, the results for nominal GNP, real GNP and industrial production are consistent with Perron's as these variables are rejected even after the break was endogenously determined. Lumsdaine and Papell (1997) re-examine the Nelson and Plosser data for two endogenous breaks, finding more evidence against unit roots than Zivot and Andrews but less than Perron (1989). Using finite-sample critical values, they reject the unit root null for five series at the five percent significance level, the three series found by Zivot and Andrews plus employment and capita real GNP. As suggested by various authors, these endogenous tests have some size problems as the break(s) are considered only under the alternative hypothesis.

Lee and Strazicich (2003) also applied their two-break minimum LM unit root test to Nelson and Plosser's (1982) data and compared it with the two-break Lumsdaine and Papell test. They find stronger rejections of the null using the Lumsdaine and Papell test than the LM test. At the five percent significance level, they reject the null for six series with the Lumsdaine and Papell test and four series with the LM test. Only the unit root null of industrial production and the unemployment rate are rejected by both the Lumsdaine and Papell and LM tests. Furthermore, Lee and Strazicich point out that the null is rejected at the five percent

significance level for real GNP, nominal GNP, per-capita real GNP and employment using the Lumsdaine and Papell test, but the null for these variables is only rejected at the higher significance level with the LM test. A summary of the unit root tests using the Nelson and Plosser data set is given below in Table 1.

Table 1: Unit Root Tests with the Nelson and Plosser's Data (1982) Set

| Empirical Studies by: | Model | Unit Root (with possible breaks) | Stationary (with possible breaks) |
|---------------------------------|-------------------------------|---|--|
| Nelson and Plosser (1982) | ADF test with no break | 13 | 1 |
| Perron (1989)** | Exogenous with one break | 3 | 11 |
| Zivot and Andrews (1992)* | Endogenous with one break | 10 | 3 |
| Lumsdaine and Papell (1997)* | Endogenous with two breaks | 8 | 5 |
| Lee and Strazicich (2003)** | Endogenous with two breaks | 10 | 4 |

* Assume no break(s) under the null hypothesis of unit root.

** Assume break(s) under both the null and the alternative hypothesis.

Other studies

There have been a number of other studies that test for an endogenous one break model in both the intercept and slope. These include Raj (1992) who tests for per capita real Gross Domestic Product (GDP) for nine countries; Perron (1994) tests for real GDP for 11 countries; and Ben-David and Papell (1995) tests for both aggregate and per capita real GDP for 16 countries. These studies reject the null of unit root for half the countries. In comparison, Ben-David, Lumsdaine and Papell (2003) apply the Lumsdaine and Papell (1997) approach for two structural breaks to an international dataset for 16 countries. They reject the unit root hypothesis for three-quarters; 24 out of 32 cases. This is fifty percent more rejections than in models that allow for a single break.

Banerjee, Lumsdaine, and Stock (1992) using postwar data for seven OECD countries, were not able to reject the unit root hypothesis for five countries (France, Germany, Italy, United Kingdom, and US). However for Canada and Japan, the unit root is rejected against the alternative of a stationary broken trend.

Ghatak (1997) tests the unit root hypothesis under structural breaks for 12 macro-economic time series data for India for the period 1900-1988. He finds that the conventional ADF tests allowing for no structural breaks cannot reject the unit root hypothesis for any of the series supporting Nelson and Plosser (1982). Allowing for exogenous breaks in the level and rate of growth, Ghatak finds that Perron's (1989) tests reject the unit root hypothesis for three series. The Zivot and Andrews tests (1992) for endogenous breaks for India confirm the Perron's test and lead to the rejection of the unit root null hypothesis for three more series.

Strazicich *et al* (2004) apply the endogenous two-break LM unit root test for annual data on per capita GDP for 15 OECD countries for the period 1870-1994 to determine if per capita incomes are stochastically converging. They find that 10 of the 15 log relative income series reject the null of unit root at the ten percent significance level, concluding that significant support for income convergence among OECD countries. Strazicich *et al* (2004) find stronger support for convergence than previous studies which are conducted without structural breaks.

Application to Indian Data

In this section, we use Indian data from 1950 to 2005 to illustrate the testing of unit root hypothesis with structural breaks. The data includes annual Gross Domestic Savings (GDS), Gross Domestic Investment (GDI) and Gross Domestic Product (GDP). The first stage tests for unit root without allowing for any structural breaks. The empirical evidence reported in Table 2 indicates that the ADF test for GDS and GDI are stationary while the unit root null for GDP cannot be rejected at the five percent significance level.

However, the criticism of the conventional ADF method was that the failure to allow for existing breaks leads to a bias that reduces the ability to reject a false unit root null hypothesis. Therefore, in the next stage, we test whether the unit root tests for the variables were biased because possible breaks in the series were ignored. We consider two cases: (1) one-break endogenous model (Perron 1997); and (2) two-break endogenous model (Lee and Strazicich 2003). We reject the unit root null for GDP with both one and two-break models at the five percent significance level. Thus, the GDP data for India supports Perron's (1989) findings that failure to allow for an

existing break leads to a bias that reduces the ability to reject a false unit root null hypothesis.

Table 2: Unit Root Tests with Indian Data

| Variables | ADF Tests | Perron (97) IO Model* | Perron (97) AO Model* | Lee and Stratizich (2003) ** |
|-----------|------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|
| LGDS | Stationary | Stationary with one break | Stationary with one break | Stationary with two breaks |
| LGDI | Stationary | Stationary with one break | Stationary with one break | Stationary with two breaks |
| LGDP | Unit root | Stationary with one break | Stationary with one break | Stationary with two breaks |

* Assume no break under the null hypothesis of unit root.

In the IO model (Innovational Outlier model), changes are assumed to take place gradually, allowing for a break in both the intercept and slope and in the AO model (Additive Outlier), changes are assumed to take place rapidly, allowing for a break in the slope.

** Assume breaks under both the null and the alternative hypothesis.

6. Concluding Remarks

The main objective of the paper has been to review the recent developments in testing of the unit root hypotheses in the presence of structural change. This survey reveals that there is a significant amount of literature that has focused on the unit root hypothesis in the presence of structural change. The original, Augmented Dickey-Fuller tests was criticized on the basis of a failure to allow for an existing break leading to a bias that reduces the ability to reject a false unit root null hypothesis. To overcome this, Perron (1989) initially proposed a one known or exogenous structural break in the Augmented Dickey-Fuller tests. As a result of the personal judgment involved in determining the breaks, Zivot and Andrews (1992) and Perron (1997) proposed determining the break point ‘endogenously’ from the data. Lumsdaine and Papell (1997) extended the Zivot and Andrews (1992) model to allow for two structural breaks. Unlike Perron’s (1989) null hypothesis, these endogenous tests assume no breaks under the unit root null. Given the breaks are absent under the null hypothesis of unit root there may be tendency for these tests to suggest evidence of stationarity with breaks (Lee and Strazicich, 2003). The two-break Lee and Strazicich (2003) procedure not only allows for the breaks to be determined endogenously from the data but breaks are allowed under both the null and the alternative hypothesis.

The secondary objective of the paper was to review empirical studies based on the Nelson and Plosser (1982) data and other studies. Nelson and Plosser (1982) cannot reject the unit root hypothesis with the standard ADF test for 13 of them including GNP. Perron (1989) using the Nelson and Plosser data set allows for a known single break date as the stock market crash of 1929 rejects the unit root null for 11 series that Nelson and Plosser found to be non-stationary. Zivot and Andrews (1992) who test for a single endogenous break date find evidence that confirmed Nelson and Plosser's findings, in the sense that the results are mostly in favour of the integrated model. Zivot and Andrews (1992) reject the unit root at the five percent significance level for only three out of 13 variables using the Nelson and Plosser data. Lumsdaine and Papell (1997) re-examine the Nelson and Plosser data for two endogenous breaks, finding more evidence against unit roots than Zivot and Andrews but less than Perron (1989). Lee and Strazicich (2003) also applied their two-break minimum LM unit root test to Nelson and Plosser's (1982) data and compared it with the two-break Lumsdaine and Papell test. They find stronger rejections of the null using the Lumsdaine and Papell test than the LM test.

The empirical evidence based on the Indian data shows that savings and investment series are stationary with a break. This is consistent with the results obtained by the conventional ADF unit root test without a break. However, GDP is found to be non-stationary using the conventional ADF test, but stationary with breaks at the five percent level with both Perron's (1997) one break model and Lee and Strazicich (2003) two break model.

We conclude that there is no consensus on the most appropriate methodology to perform unit root tests or no consensus about the empirical results of unit root tests has emerged from this survey. An important point to note here is that testing for structural breaks when the series is otherwise non-stationary will affect whether there is evidence of a structural break.⁷

The development of testing for unit roots with structural breaks in the univariate framework raises a question of incorporation of breaks in the cointegration framework. The basic question here is how we can incorporate breaks of each time series into the cointegration framework. The development in this area is very limited

⁷ See Perron (2005).

and is indeed an area for further research. Methods based on cointegration incorporating breaks have been proposed by Gregory and Hansen (1996) and Saikkonen and Lütkepohl (2000) and potentially these perform better than the univariate approaches.

REFERENCES

- Amsler, C and Lee, J. (1995), "An LM test for unit root in the presence of a structural change", *Econometric Theory*, 11, pp. 359-368.
- Banerjee, A., Lumsdaine, R. L., and Stock, J.H. (1992), "Recursive and Sequential Tests of the Unit Root and Trend-Break Hypothesis: Theory and International Evidence", *Journal of Business and Economic Statistics*, 10, pp. 271-287.
- Ben-David, D and Papell, D.H. (1995), "The Great Wars, the Great Crash and the Unit Root Hypothesis", *Journal of Monetary Economics*, Vol. 36, pp. 453-475.
- Ben-David, D., Lumsdaine, R., and Papell, D.H. (2003), "Unit Root, Postwar Slowdowns and Long-Run Growth: Evidence from Two Structural Breaks", *Empirical Economics*, 28(2), pp. 303-319.
- Christiano, L.J. (1992), "Searching for a Break in GNP", *Journal of Business and Economic Statistics*, 10, pp. 237-249.
- Clemente, J., Montañés, A., and Reyes, M. (1998), "Testing for a unit root in variables with a double change in the mean", *Economics Letters*, Vol. 59, pp.175-182.
- Dickey, D.A and Fuller, W. A. (1979), "Distributions of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root", *Journal of American Statistical Association*, 74(366), pp.427-481.
- Dickey, D.A and Fuller, W.A. (1981), "Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series with a Unit Root", *Econometrica*, 49(4), pp.1057-1072.
- Gregory, A. W and Hansen, B. E. (1996) "Tests for cointegration in models with regime and trend shifts", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, Vol. 58, pp. 555-560.
- Ghatak, A. (1997), "Unit roots and structural breaks: The case of India 1900-1988", *Journal of Applied Statistics*, 24:3, pp. 289-300.

- Lee, J. and Strazicich, M.C. (2003), “Minimum LM Unit Root Test with Two Structural Breaks”, *Review of Economics and Statistics*, 63, pp.1082-1089.
- Lee, J. and Strazicich, M.C. (2004), “Minimum LM Unit Root Test with One Structural Break”, Working Paper, Department of Economics, Appalachian State University.
- Lumsdaine, R. L and. Papell, D. H. (1997), “Multiple Trend Breaks and the Unit Root Hypothesis”, *Review of Economics and Statistics*, 79 (2), pp. 212-218.
- Maddala, G.S. and Kim, I.M. (2003), *Unit Root, Cointegration and Structural Change*, Cambridge University Press, Fifth Edition, UK.
- Nelson, C.R. and Plosser C.I. (1982), “Trends and random walks In Macroeconomic Time Series”, *Journal of Monterey Economics*, 10, pp.139-162
- Nunes, L., Newbold, P. and Kuan, C. (1997), “Testing for Unit Roots with Breaks: Evidence on the Great Crash and the Unit Root Hypothesis Reconsidered”, *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 59, pp.435-448.
- Ohara, H.I. (1999), “A unit root test with multiple trend breaks: A theory and application to US and Japanese macroeconomic time series”, *The Japanese Economic Review*, Vol. 50, pp. 266-290.
- Pappel, D.H. and Prodan, R. (2003), “The uncertain unit root in US real GDP: Evidence with restricted and unrestricted structural change”, *Journal of Money Credit and Banking*, Vol. 36, pp. 423-427.
- Perron, P. (1989), “The great crash, the oil price shock, and the unit root hypothesis”, *Econometrica*, 57, pp.1361-1401.
- Perron, P. (1994), “Trend, Unit Root Hypothesis and Structural Change in Macroeconomic Time Series”, in Roa, B.Bhasakara, ed., *Cointegration for Applied Economists*, St. Martin’s Press,
- Perron, P. (1997), “Further Evidence on Breaking Trend Functions in Macroeconomic Variables, *Journal of Econometrics*, 80 (2), pp.355-385.
- Perron, P. (2005), “Dealing with Structural Breaks”, Mimeo forthcoming in the Vol. 1 Handbook of Econometrics: Econometric Theory.
- Perron, P. and Vogelsang, T. J. (1992), “Nonstationarity and Level Shifts with an Application to Purchasing Power Parity”, *Journal of Business and Economic Statistics*, 10, pp. 301–320.

- Phillips, P. and Perron, P. (1988), "Testing for a Unit Root in Time Series Regression", *Biometrika* 75(2), pp. 335-346.
- Raj, B. (1992), "International evidence on persistence in output in the presence of an episodic change", *Journal of Applied Econometrics*, 7, pp. 281-293.
- Saikkonen, P. and Lütkepohl, H. (2000) "Testing for the cointegrating rank of a VAR process with structural shifts". *Journal of Business and Economic Statistics*, Vol. 18, pp. 451-464.
- Stulz, R.M. and Wasserfallen, W. (1985), "Macroeconomic Time Series, Business Cycles and Macroeconomic Policies," *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 22, pp. 9-54.
- Strazicich, M.C., Lee J. and Day, E. (2004), "Are countries converging among OECD countries? Time series evidence with two structural breaks", *Journal of Macroeconomics*", 26, pp.131-145.
- Wasserfallen, W. (1986), "Non-stationarities in macro-economic time series - further evidence and implications", *Canadian Journal of Economics*, 19, pp. 498- 510.
- Zivot, E. and Andrews, K. (1992), "Further Evidence On The Great Crash, The Oil Price Shock, and The Unit Root Hypothesis", *Journal of Business and Economic Statistics*, 10 (10), pp. 251-70.

Volumen 3 (junio de 2007)

Configuración de la materia troncal de Métodos Cuantitativos de Organización Industrial en las universidades españolas

Configuration of the Core Subject of Quantitative Methods for Industrial Organization in the Spanish Universities

Mula Bru, Josefa; Poler Escoto, Raúl

Páginas 3–19

Evaluación del impacto económico y social de la celebración de grandes eventos deportivos a nivel local: el caso del Campeonato de Tenis femenino de la ITF en Sevilla en 2006

Social and economic impact assessment of relevant sporting events in local communities: the case of the ITF Female Tennis Championship held in Seville in 2006

Ramírez Hurtado, José Manuel; Ordaz Sanz, José Antonio; Rueda Cantuche, José Manuel

Páginas 20–39

Modelo no lineal basado en redes neuronales de unidades producto para clasificación. Una aplicación a la determinación del riesgo en tarjetas de crédito

Non-linear model for classification based on product-unit neural networks. An application to determine credit card risk

Martínez-Estudillo, F.J.; Hervás Martínez, C.; Torres Jiménez, M.; Martínez-Estudillo, A.C.

Páginas 40–62

Unit Root Tests and Structural Breaks: A Survey with Applications

Contrastes de raíces unitarias y cambios estructurales: un estudio con aplicaciones

Glynn, John; Perera, Nelson; Verma, Reetu

Páginas 63–79