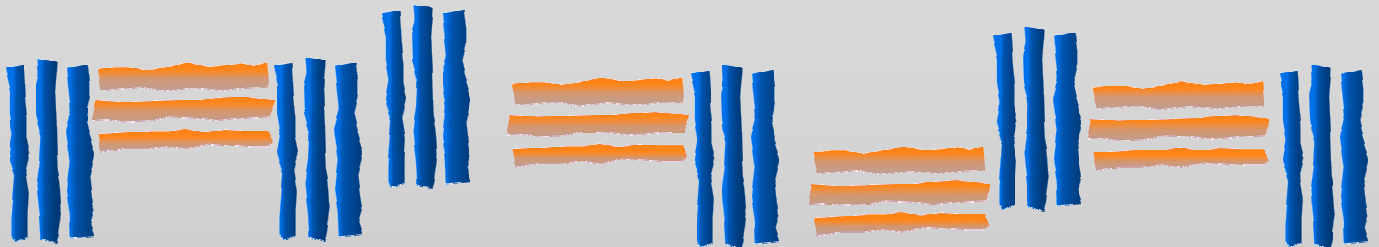


REVISTA DE
MÉTODOS CUANTITATIVOS
PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA



UNIVERSIDAD
**PABLO_D
OLAVIDE**
SEVILLA

Número 5
Junio de 2008
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 5. Junio de 2008.
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. S. Ejaz Ahmed, University of Windsor, Ontario (Canadá)
Dr. Ignacio Contreras Rubio, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla (España)
Dr. Miguel Ángel Hinojosa Ramos, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla (España)
Dr. Matías Irigoyen Testa, Universidad Nacional del Sur, Buenos Aires (Argentina)
Dr. M. Kazim Khan, Kent State University, Ohio (EE.UU.)
Dra. María Amparo León Sánchez, Universidad de Pinar del Río (Cuba)
Dr. Jesús López-Rodríguez, Universidad de A Coruña, (España)
Dr. Cecilio Mar Molinero, University of Kent, Canterbury (Reino Unido)
Dra. Ana M. Martín Caraballo, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla (España)
Dra. M^a Carmen Melgar Hiraldo, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla (España)
Dr. José Antonio Ordaz Sanz, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla (España)
Dr. Andrés Rodríguez-Pose, London School of Economics, Londres (Reino Unido)
Dr. José Manuel Rueda Cantuche, IPTS-DG J.R. Centre-European Commission
Dra. Mariagrazia Squicciarini, VTT Technical Research Centre (Finlandia)

Análisis de la aparición de discapacidades en personas mayores de Cataluña

BERMÚDEZ MORATA, LLUÍS

Departamento de Matemática Económica, Financiera y Actuarial, RFA-IREA
Universidad de Barcelona
Correo electrónico: lbermudez@ub.edu

BLAY BERRUETA, DANIEL

Departamento de Econometría, Estadística y Economía Española, RFA-IREA
Universidad de Barcelona
Correo electrónico: dblay@ub.edu

GUILLÉN ESTANY, MONTSERRAT

Departamento de Econometría, Estadística y Economía Española, RFA-IREA
Universidad de Barcelona
Correo electrónico: mguillen@ub.edu

RESUMEN

El presente trabajo se centra en el estudio del tiempo hasta la discapacitación para las actividades de la vida diaria en la población activa de Cataluña mayor de 60 años. El riesgo de sufrir discapacidades es mayor para este grupo de edad que en los más jóvenes y, además, se incrementa con la edad. La aparición de discapacidades resta habilidades a la hora de realizar las distintas actividades de la vida diaria, por ello hemos centrado nuestro interés en la variable *tiempo hasta que una persona de 60 años que no muestra discapacidad alguna, se discapacita*, identificando factores ligados a los incrementos del riesgo de discapacitación.

A partir de los datos que proporciona la Encuesta sobre Discapacidades, Deficiencias y Estado de Salud (EDDES, INE 1999) y, utilizando el estimador de Kaplan-Meier, se estiman las funciones de supervivencia que permiten calcular probabilidades relacionadas con la edad de discapacitación. Asimismo, se ha realizado un análisis del modelo de regresión de Weibull que permite interpretar cómo y en qué medida afectan las características individuales.

Palabras clave: análisis de supervivencia; dependencia; actividades de la vida diaria.

Clasificación JEL: C24; I12; J15.

2000MSC: G2N99.

Analysis of disability onset of the elderly in Catalonia

ABSTRACT

In Spain individuals aged 60 years and above are major consumers of the health care system. The risk of becoming unable to perform daily life activities is higher for the elderly than for the younger population, and in addition, it increases with age. As a consequence we focus on the study of the period of life after an abled person who is 60 years old becomes disabled and we also study the factors that are related to the risk of disability.

Using data from the Survey of Disabilities, Handicaps and Health Status (EDDES, INE 1999), and using the Kaplan-Meier estimator, we estimate the survival functions to calculate the probability of becoming disabled at different age points. Besides, a Weibull regression model is estimated in order to interpret the effects of individual characteristics on the disability risk.

Keywords: survival analysis; dependence; activities of daily living.

JEL classification: C24; I12; J15.

2000MSC: G2N99.



Introducción

El paso de los años y la aparición progresiva de alteraciones y enfermedades crónicas, provocan dificultades a la hora de realizar ciertas actividades cotidianas. Ello, unido a un progresivo envejecimiento de la población, como consecuencia de un incremento de la esperanza de vida y una baja tasa de fecundidad, está provocando una mayor preocupación por parte de la mayoría de países frente al fenómeno de la dependencia.

En España, la aprobación de la Ley de Promoción de la Autonomía Personal y Atención a las personas en situación de dependencia (Ley 39/2006, de 14 de diciembre de 2006), ha permitido la creación de un Sistema para la Autonomía y Atención a la Dependencia (SAAD), que completará el cuarto pilar del Estado de Bienestar y proporcionará unos niveles de cobertura similares a los existentes en otros países de nuestro entorno. Este Sistema sentará las bases para que las personas dependientes tengan los cuidados básicos que les garanticen una calidad de vida digna.

La mayoría de países desarrollados disponen actualmente de sistemas que dan cobertura a las situaciones de dependencia (Karlsson *et al.*, 2004; Comas-Herrera y Wittenberg, 2003). Por ello, los modelos vigentes en otros países pueden servir de referencia al caso español. Por ejemplo, en Alemania, donde la Seguridad Social es similar a la española, ésta se enfrenta a problemas de financiación por lo que se cree que el seguro privado puede ser una buena solución para permitir un sistema sostenible económicamente en el futuro. Por otro lado, cabe destacar el modelo francés y el americano, ya que han desarrollado de forma muy importante el seguro privado, aunque con modelos distintos, uno basado en rentas monetarias y el otro en el reembolso de gastos por servicios asistenciales recibidos.

En el presente estudio, centramos nuestro interés en la variable tiempo (en años) hasta que una persona de 60 años que no tiene dificultades para realizar las tareas de la vida diaria, se discapacita, es decir, no puede realizar alguna de estas actividades o, en otras palabras, requiere asistencia en su cuidado y desplazamiento personal, así como en la realización de las tareas del hogar. Para ello, se han analizado una serie de factores (sexo, provincia de residencia,...) con el objetivo de conocer cómo afecta cada uno de ellos a la aparición de la discapacidad. En los últimos años han aparecido algunos estudios que analizan los factores que inciden en la aparición de la discapacidad en las personas mayores. Grundy y Glaser (2000) llevan a cabo un estudio en el Reino Unido, centrado en factores socio-económicos, y concluyen que variables como la propiedad de la vivienda, la clase social y el nivel educativo son relevantes para explicar la aparición de la discapacidad. Otros estudios similares son Matthews *et al.* (2005), y Taş *et al.* (2007).

La dimensión de esta problemática es amplia, ya que obliga a plantearse ciertas preguntas vinculadas a la situación de dependencia de los ancianos, sus cuidados y sus necesidades de atención para la realización de las actividades de la vida diaria. Por un lado, habrá que tomar una serie de medidas para satisfacer la creciente demanda de servicios de cuidados de larga duración y, por otro lado, será necesario conocer de qué recursos se disponen, tanto a nivel de financiación de la dependencia como a nivel de tratamiento de las discapacidades.

El resto del artículo se estructura como sigue. En el segundo apartado se describen el material y los métodos utilizados. En el tercero, se describen los resultados obtenidos tras la aplicación de los métodos descritos y, en el último, se presentan las conclusiones y líneas de investigaciones futuras.

Material y métodos

Para nuestro estudio hemos tomado la información de la Encuesta sobre Discapacidades, Deficiencias y Estado de Salud (EDDES), realizada por el Instituto Nacional de Estadística (INE) durante el segundo trimestre del año 1999. Se trata de un estudio transversal que cubre buena parte de las necesidades de información sobre los fenómenos de la discapacidad, la dependencia, el envejecimiento de la población y el estado de salud de la población residente en España, y por ello, representa una fuente de información fiable para el estudio de la población dependiente en este país.

En la encuesta se definen un total de 36 actividades (agrupadas en 10 tipos de discapacidades), de las cuales 13 son consideradas Actividades de la Vida Diaria (AVD). Las restricciones en AVD son las que generan mayores necesidades de cuidados personales, es decir, mayor nivel de dependencia de otras personas. De ahí que nuestro estudio se centre en el colectivo de personas que sufren restricciones en este tipo de actividades. En concreto, nos interesa conocer los años hasta que una persona sin ninguna discapacidad empezará a sufrir restricciones en AVD. De esta forma, cuando analizamos el tiempo hasta la discapacitación de una persona, nos referimos a las definidas como restricciones en AVD.

Por lo tanto, nos disponemos a realizar un estudio longitudinal sobre el tiempo hasta la discapacitación de una persona activa de 60 años de edad. Sin embargo, como hemos comentado, la información de la Encuesta sobre Discapacidades, Deficiencias y Estado de Salud (EDDES) es de tipo transversal. Para solventar este inconveniente, se ha utilizado la pregunta que aparece en el cuestionario de la encuesta acerca de la edad en la que apareció la discapacidad y, sobre la base de la disponibilidad de esa información, se han seleccionado todos aquellos sujetos de la muestra mayores de 60 años que presentaban restricciones en alguna de las 13 AVD definidas, excluyendo aquellos que presentaban una discapacidad adquirida cuando tenían una edad inferior a 60 años.

Las 13 Actividades de la Vida Diaria consideradas son: realizar cambios y mantenimiento de las diversas posiciones del cuerpo; levantarse, acostarse, permanecer de pie o sentado; desplazarse dentro del hogar; deambular sin medio de transporte; asearse solo, lavarse solo y cuidarse de su aspecto; controlar las necesidades fisiológicas y utilizar solo el servicio; vestirse, desvestirse y arreglarse; comer y beber; cuidarse de las compras y del control de suministros y servicios; cuidarse de las comidas; cuidarse de la limpieza y el planchado de la ropa; cuidarse de la limpieza y mantenimiento de la casa; y cuidarse del bienestar de los demás miembros de la familia.

La submuestra escogida se centra en la población discapacitada para AVD residente en

Cataluña que sufrió su discapacidad más tarde los 60 años. Así pues, disponemos de una muestra de 4867 datos individuales sobre la población catalana mayor de 60 años en 1999. Se trata de una muestra que incluye ponderaciones (Guillén y Ayuso, 2004). Dado que los sujetos de la población española residente en hogares familiares no tienen equiprobabilidad de ser seleccionados bajo el esquema muestral de la EDDDES, se introducen ponderaciones (o equivalentemente factores de elevación) para evitar el sesgo en las estimaciones. Debido a la complejidad del diseño, las anteriores ponderaciones deben ser tenidas en cuenta en el análisis estadístico posterior (Pfeffermann, 1993). Así pues, cada individuo tiene asociado un factor de elevación específico que corresponde al inverso de la probabilidad de ser seleccionado. Por lo tanto, cada individuo representa a un conjunto de individuos de la población de Cataluña, en este caso. Cada elemento de la muestra contiene, además, las variables que se describen en la Tabla 1.

Tabla 1: Descripción de las variables.

Variable	Descripción
<i>Sex</i>	Sexo (1=hombre, 6=mujer).
<i>Prov</i>	Provincia de residencia (8=Barcelona, 17=Gerona, 25=Lérida, 43=Tarragona).
<i>Estu</i>	Nivel de estudios (0=sin estudios, 1=primario, 2=secundario, 3=superior).
<i>Tmun</i>	Población del municipio de residencia (1=hasta 10000 habitantes, 2=entre 10001 y 50000, 3=entre 50001 y 500000, 4=más de 500000).
<i>Sup</i>	Tiempo (en años) hasta la discapacidad ¹ .
<i>Ind</i>	Indicador de censura por la derecha (0=dato censurado, 1=dato observado).

La EDDDES dispone de otras variables asociadas a cada individuo, no obstante, no ha sido posible utilizarlas todas. En primer lugar, algunas no habían sido contestadas por todos los individuos de la muestra. En segundo lugar, debíamos considerar sólo aquellas que razonablemente no experimentarían un cambio significativo con el paso del tiempo. Esta limitación es consecuencia de no haber seguido realmente a cada individuo, ya que los datos de la encuesta son transversales y, por lo tanto, resultado de haber observado a los individuos a edades diferentes.

La metodología estadística utilizada es el análisis de supervivencia. La razón por la que se ha escogido este marco teórico viene determinada por la naturaleza de la variable que queremos analizar (una duración). Ya hemos visto cómo hemos adaptado la estructura de los datos a nuestra disposición al problema planteado.

El análisis de supervivencia estudia variables que se definen como el tiempo hasta un suceso o evento, denominado usualmente tiempo de supervivencia. Son variables aleatorias positivas y con distribución continua. Una dificultad propia del análisis de supervivencia es la posibilidad de que el tiempo hasta que se produce el suceso no se haya observado. Esta característica peculiar de los estudios de supervivencia se conoce bajo el nombre de

¹ Este tiempo ha sido calculado como la diferencia entre la edad a la que aparece la discapacidad (obtenida a partir de la EDDDES) y la edad de 60 años considerada como el punto de partida del estudio longitudinal. Para ser más concretos, a la edad que aparece en la Encuesta se le ha añadido medio año, suponiendo que las discapacidades aparecen uniformemente a lo largo de dicho año.

censura. En particular, si el suceso no se observa porque cuando finaliza el estudio éste aún no ha acontecido, la censura se produce por la derecha. En nuestro caso, muchos de los individuos encuestados todavía no presentaban una discapacidad en 1999, pero podrían llegar a presentarla en el futuro. Por ello, consideramos que nuestro estudio presenta datos con censura por la derecha.

Denotaremos por T el tiempo hasta la discapacidad de un individuo de 60 años de edad y por S su función de supervivencia, definida como la probabilidad de que un individuo sobreviva más de t unidades de tiempo (años), es decir, la probabilidad de que el suceso discapacidad ocurra después de t años: $S(t) = \text{Prob}(T > t)$.

Utilizamos la estadística no paramétrica (Klein y Moeschberger, 1997) para estimar las funciones de supervivencia, más concretamente, el estimador de Kaplan-Meier (1958) adecuado para datos con censura por la derecha. A partir de dicha estimación, podremos calcular probabilidades relacionadas con la edad de discapacidad. En segundo lugar, definimos un modelo paramétrico adecuado a nuestros datos. El modelo de regresión de Weibull, con la inclusión de las variables que tengan efectos significativos sobre la duración, permitirá interpretar cómo y en qué medida afectan las características individuales en la probabilidad de discapacitarse a una edad determinada.

Resultados

En primer lugar, calculamos el estimador de la función de supervivencia de Kaplan-Meier para la muestra global y, a continuación, los respectivos estimadores para los distintos grupos que determinan las variables sexo, provincia, nivel de estudios y tamaño del municipio (Sex , $Prov$, $Estu$ y $Tmun$).

Por razones de espacio, omitimos las tablas con la estimación completa de las funciones de supervivencia. No obstante, en la Tabla 2 mostramos los estimadores de la mediana para cada grupo y los límites de confianza superior e inferior al 95% (LCI y LCS). Para completar la información, la Figura 1 contiene los gráficos de las funciones de supervivencia por grupos. Ambos resultados han sido obtenidos mediante el uso del paquete *survival* de R.

En general, y sin diferenciar por grupos, podemos concluir que, en mediana, la población activa (aquella que no presenta discapacidades en AVD) a los 60 años se discapacita a la edad de 87.5 años ($60+27.5$). Es decir, la probabilidad de que una persona de 60 años esté discapacitada a los 87.5 años es del 50%.

Si diferenciamos por sexo, la diferencia entre las medianas de los dos grupos es de 5 años. Es decir, en términos de mediana, las mujeres activas a los 60 años se discapacitan cinco años antes que los hombres. Concretamente, el 50% de la población femenina activa a los 60 años estará discapacitada a los 85.5 años, y la masculina a los 90.5.

Tabla 2: Medianas de los grupos según Kaplan-Meier.

VARIABLES	número	observados	mediana	0.95 LCI	0.95 LCS
<i>Total</i>	4867	718.5	27.5	25.5	28.5
<i>Hombre</i>	2157	206	30.5	29.5	35.5
<i>Mujer</i>	2710	512	25.5	24.5	26.5
<i>Barcelona</i>	3674	549.2	26.5	25.5	28.5
<i>Gerona</i>	424	49.7	33.5	26.5	Inf
<i>Lérida</i>	325	58.9	25.5	23.5	Inf
<i>Tarragona</i>	444	60.8	28.5	25.5	Inf
<i>Sin estudios</i>	1633	172.9	Inf	Inf	Inf
<i>Primario</i>	2500	332.1	36.5	36.5	Inf
<i>Secundario</i>	471	127.9	Inf	24.5	Inf
<i>Superior</i>	263	85.5	32.5	30.5	35.5
<i>Hasta 10000</i>	1145	174	26.5	25.5	Inf
<i>Entre 10001 y 50000</i>	1001	150	28.5	26.5	30.5
<i>Entre 500001 y 500000</i>	1219	176	28.5	24.5	Inf
<i>Más de 500000</i>	1503	219	26.5	25.5	29.5

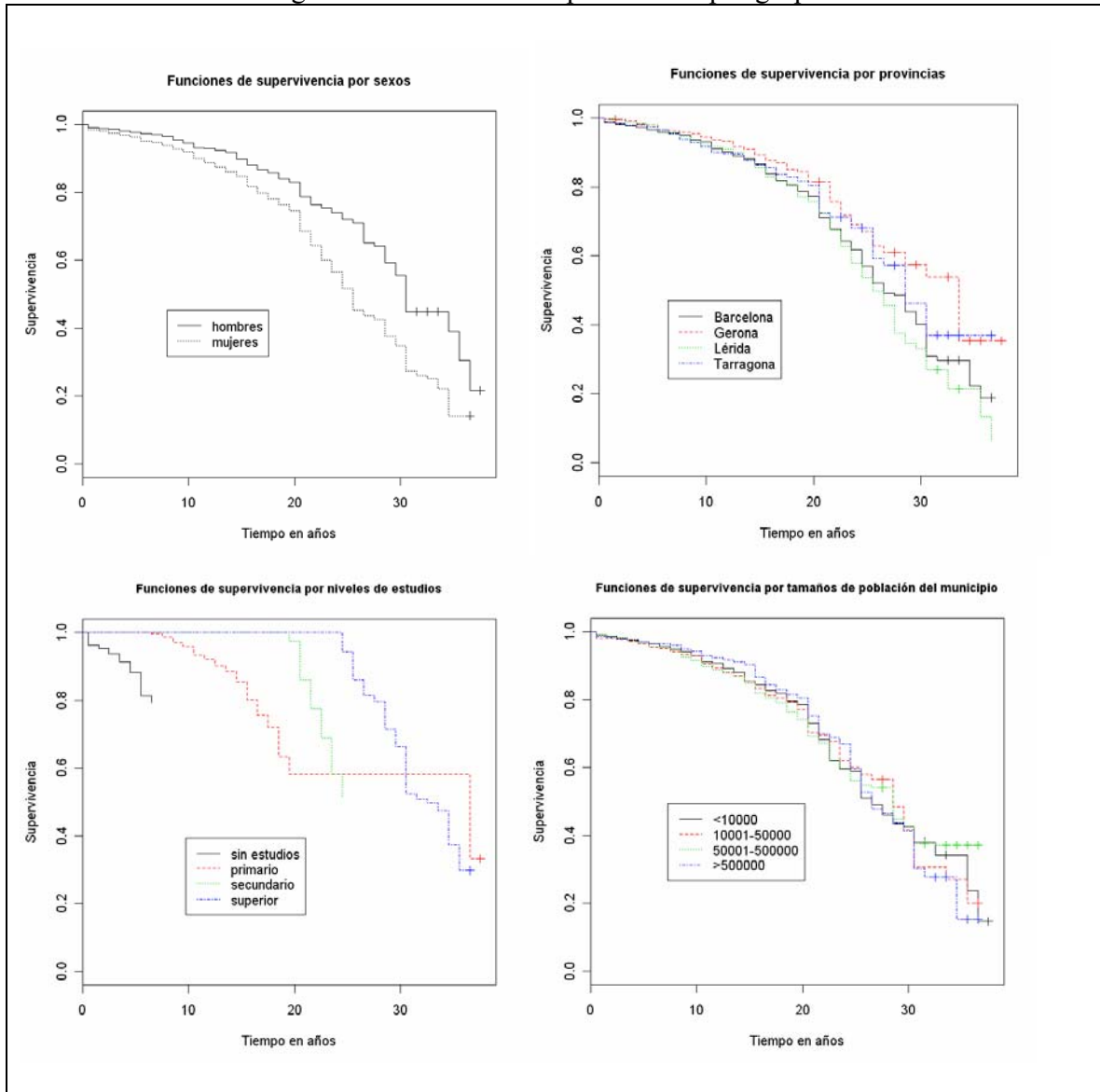
Gerona es la provincia que presenta una mediana más diferenciada frente al resto. En concreto, los residentes en esta provincia se discapacitan a la edad mediana de 33.5 años, mientras que en Barcelona, Tarragona y Lérida lo hacen a los 26.5, 28.5 y 25.5 años respectivamente. Cabe señalar que, debido a la estructura de los datos censurados, en tres de las provincias no ha sido posible calcular el límite superior del intervalo.

Respecto al nivel de estudios, la estructura de los datos censurados implica que en dos casos la función de supervivencia no alcance el 50%, por lo que no se presentan las medianas. Así pues, nos hemos centrado en observar cuánto tiempo es necesario para que al menos el 20% de los individuos estén discapacitados. De este modo, basándonos en las respectivas funciones de supervivencia estimadas, para los individuos del nivel sin estudios son necesarios 6.5 años, para aquellos con estudios primarios 16.5 años, 21.5 años para los que tienen estudios secundarios y, finalmente, 27.5 para aquellos con estudios superiores. Como puede observarse, el nivel de formación tiene un gran impacto en el tiempo hasta la discapacitación.

En cuanto a los grupos diferenciados según el tamaño de la población del municipio de residencia, no parecen existir diferencias significativas entre sus medianas. De este modo, la edad a la que se discapacitan los individuos de los diferentes grupos está muy cercana a la edad de la población general.

En resumen, de la información presentada en la Figura 1, podemos observar que la función de supervivencia para las mujeres es claramente inferior a la de los hombres, es decir, las mujeres se discapacitan antes que los hombres. Por lo que a las provincias se refiere, observamos diferencias apreciables. En este sentido, la provincia con mayor nivel de renta per cápita presenta una supervivencia superior al resto de provincias. Para la variable nivel de estudios, las respectivas funciones de supervivencia muestran diferencias obvias. Apreciamos que un mayor nivel de estudios retarda el tiempo hasta la discapacitación. Por último, si atendemos al tamaño de la población del municipio, no se aprecian diferencias.

Figura 1: Funciones de supervivencia por grupos.

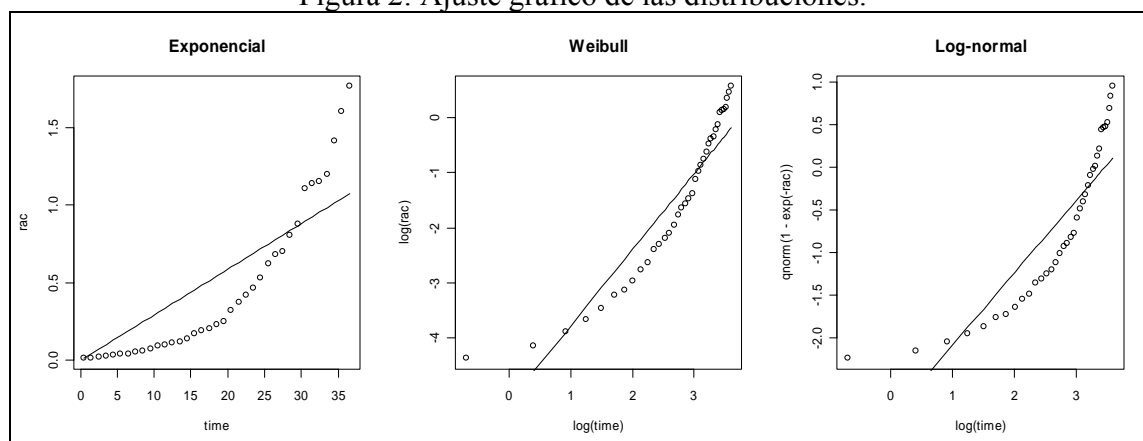


Para contrastar estadísticamente las diferencias percibidas anteriormente, aplicamos las pruebas de contraste log-rang y Peto-Peto (Klein y Moeschberger, 1997). Ésta última centra su atención en la detección de diferencias tempranas. De las pruebas realizadas podemos concluir que existen diferencias entre las funciones de supervivencia de los grupos que se derivan de las variables sexo, nivel de estudios y provincia.

En segundo lugar, para valorar a través de un modelo de regresión en qué medida influyen las características individuales en la edad de discapacidad, es necesario determinar a qué distribución paramétrica se ajustan las observaciones. Para ello, basándonos en Klein y Moeschberger (1997), hemos realizado un ajuste gráfico que permite evaluar qué distribución de probabilidad es la más adecuada. Las distribuciones de probabilidad

comúnmente usadas para ajustar variables del tipo tiempo hasta un suceso son: exponencial, weibull y log-normal. En la Figura 2 presentamos los gráficos de las variables transformadas que nos permiten comprobar el ajuste paramétrico. En este sentido, la nube de puntos debería aproximarse, cuanto más mejor, a una recta. En nuestro caso, la distribución de Weibull es la más apropiada, dado que la nube de puntos se ajusta más a la recta que para las otras distribuciones. La comprobación gráfica es preferible a la analítica ya que las pruebas para la bondad de un ajuste (goodness-of-fit tests), o bien tienen potencias muy bajas para muestras pequeñas y moderadas, o bien tienden a rechazar cualquier modelo cuando el tamaño de la muestra es grande.

Figura 2: Ajuste gráfico de las distribuciones.



Una vez escogida la distribución de Weibull y tras incluir en el modelo las cuatro variables, se comprueba que el coeficiente del tamaño del municipio no resulta significativo. Tampoco las distintas combinaciones de interacciones resultan significativas. Por lo tanto, nos decidimos por el modelo de regresión de Weibull que incluye sexo, nivel de estudios y provincia como variables explicativas. En la Tabla 3 se presentan los resultados de la estimación del modelo de regresión de Weibull, obtenidos con la ayuda del paquete *survival* de R.

Tabla 3: Resultados del modelo de regresión de Weibull.

Factores	coeficiente	desviación	p-valor
(Constante)	2.2508	0.0585	0.00E+00
<i>factor(mujer)</i>	-0.2175	0.0295	1.70E-13
<i>factor(primario)</i>	1.0924	0.0327	1.06E-244
<i>factor(secundario)</i>	1.3579	0.0408	1.44E-242
<i>factor(superior)</i>	1.5644	0.0465	3.35E-248
<i>factor(Barcelona)</i>	0.0738	0.0478	1.23E-01
<i>factor(Tarragona)</i>	0.0690	0.0636	2.78E-01
<i>factor(Gerona)</i>	0.1545	0.0672	2.15E-02
Log(Escala)	-1.0564	0.0315	4.90E-247

Parámetro de Escala (σ) = 0.348.

$X^2 = 659.53$ con 7 grados de libertad, $p = 0$.

Número de iteraciones Newton-Raphson: 9, $n = 4867$.

En la Tabla 4, resumimos los coeficientes de riesgo relativo (RR), los factores de aceleración (FA) y las medianas del tiempo hasta la discapacidad (FA^{-1}) asociados al modelo de regresión de Weibull para ayudar a la interpretación de los resultados.

Tabla 4: Coeficientes de riesgo relativo, factores de aceleración y medianas del tiempo hasta la discapacidad.

Factores	RR	FA	FA⁻¹
<i>mujer</i>	1.8690	1.2429	0.8046
<i>primario</i>	0.0432	0.3354	2.9815
<i>secundario</i>	0.0201	0.2572	3.8881
<i>superior</i>	0.0111	0.2092	4.7800
<i>Barcelona</i>	0.8088	0.9289	1.0766
<i>Tarragona</i>	0.8200	0.9333	1.0714
<i>Gerona</i>	0.6412	0.8568	1.1671

Para la variable sexo, el coeficiente $factor(mujer) = \gamma_2 = -0.2175$ indica que las mujeres se discapacitan antes que los hombres, en otras palabras, el grupo de las mujeres presenta peor supervivencia que el grupo de los hombres. Basándonos en el modelo de Weibull ajustado, el riesgo relativo para una mujer es $e^{\frac{-\gamma_2}{\sigma}} = e^{\frac{0.2175}{0.348}} \approx 1.87$, es decir, el riesgo de discapacidad para una mujer de 60 años es 1.87 veces superior al riesgo para un hombre. Además, el denominado factor de aceleración es $e^{-\gamma_2} \approx 1.2429$, por lo tanto, la mediana para una mujer es $\frac{1}{1.2429} \approx 0.8046$ veces la de un hombre. En otras palabras, la mediana del tiempo hasta la discapacidad para una mujer es aproximadamente un 20% inferior a la de un hombre.

Para la variable nivel de estudios, los coeficientes positivos y crecientes confirman que un mayor nivel de estudios retarda la edad de discapacidad. Así, por ejemplo, el coeficiente $factor(secundario) = \gamma_4 = 1.3579$ indica que los individuos con nivel de estudios secundarios se discapacitan más tarde que el grupo de referencia, sin estudios. De nuevo, basándonos en el modelo de Weibull ajustado, el riesgo relativo para un individuo con estudios secundarios es $e^{\frac{-\gamma_4}{\sigma}} = e^{\frac{-1.3579}{0.348}} \approx 0.0201$, es decir, el riesgo de discapacidad para un individuo con estudios secundarios es 0.02 veces el riesgo para un individuo sin estudios. Además el factor de aceleración es $e^{-\gamma_4} \approx 0.2572$, por lo que la mediana para un individuo con estudios secundarios es $\frac{1}{0.2572} \approx 3.89$ veces superior a la de un individuo sin estudios.

En cuanto a las provincias, centrándonos en la única de ellas que presenta un coeficiente significativo respecto a la provincia de referencia (Lérida), podemos concluir que la población de Gerona presenta un retardo en la edad de discapacidad. Si comparamos el coeficiente para Gerona ($factor(Gerona) = \gamma_8 = 0.1545$) con los coeficientes del resto de provincias, podemos ver que la supervivencia hasta la aparición de la discapacidad de la población de Gerona difiere substancialmente de la del resto. Así pues, el riesgo relativo para un individuo residente en Gerona es $e^{\frac{-\gamma_8}{\sigma}} = e^{\frac{-0.1545}{0.348}} \approx 0.6415$, es decir, es 0.64 veces el

riesgo para un individuo de Lérida. Además, el factor de aceleración es $e^{-\gamma s} \approx 0.8568$, por lo que la mediana para un individuo de Gerona es $\frac{1}{0.8568} \approx 1.17$ veces superior a la de un individuo de Lérida.

Discusión

Teniendo en cuenta las limitaciones existentes en términos de censura en los datos de la Encuesta, para desarrollar nuestro objetivo, hemos utilizado dos líneas paralelas dentro de la teoría del análisis de la supervivencia. Por un lado, hemos recurrido a los estimadores propuestos desde la inferencia no paramétrica, básicamente el estimador de Kaplan-Meier, a partir del cual hemos obtenido una visión general del comportamiento de la variable de interés y de la influencia de las variables explicativas sobre la misma. Por otro lado, para concretar el grado de dicha influencia, nos hemos basado en la inferencia paramétrica, en este caso, mediante el ajuste del modelo de regresión de Weibull. En ambos casos se ha tenido en cuenta el diseño muestral.

De los resultados obtenidos a partir de la inferencia no paramétrica, en primer lugar, se estima que un 50% de la población activa a los 60 años estará discapacitada a los 87.5 años. Este resultado conduce a las mismas conclusiones que los análisis efectuados para la población de EEUU y Europa (Fialová *et al.*, 2005; Zhan *et al.*, 2001). Además, sexo, provincia de residencia y nivel de estudios se constata que inciden en la variable tiempo hasta la discapacidad.

A partir de la observación de las respectivas funciones de supervivencia, concluimos que las mujeres se discapacitan antes que los hombres (Murtagh y Hubert, 2004). En mediana, según el estimador de Kaplan-Meier, las mujeres lo hacen cinco años antes. Si nos fijamos en la provincia de residencia, observamos que la función de supervivencia de Gerona se sitúa por encima del resto, lo que indica un retraso en la edad de discapacidad para los residentes en dicha provincia. En concreto, su edad mediana de discapacidad es de 93.5 años, frente a los 87.5 de la población de Cataluña. Por lo que al nivel de estudios se refiere, basándonos en los gráficos de las funciones de supervivencia, constatamos que a mayor nivel de estudios se obtienen mayores tiempos hasta la discapacidad. Por último, no detectamos diferencias apreciables en la edad de discapacidad según el número de habitantes del municipio de residencia.

Las diferencias que se han hallado referidas al sexo son ampliamente conocidas, pero la diferencia observada para la provincia de Gerona respecto al resto, puede explicarse a partir de sus mayores niveles de renta per cápita y calidad de vida (Gutiérrez-Fisac *et al.*, 2000). En último lugar, podemos justificar el retraso en la edad de discapacidad de los individuos con mayor nivel de estudios por el menor desgaste físico de los trabajos que realizan, su mejor actividad preventiva y posiblemente también su mayor renta.

Por todo ello, creemos que las conclusiones de nuestro estudio no deben dejar indiferentes a los responsables de los organismos públicos y privados que tienen cuidado de la salud de las personas mayores. Poder conocer el perfil general de los pacientes con mayor riesgo de

discapacitarse puede ayudar en la toma de decisiones por parte del médico que lo tratará. Por ejemplo, según los datos analizados, un hombre mayor de 60 años residente en un lugar de elevada renta y con un nivel de estudios universitarios tiene mayor probabilidad de seguir de manera adecuada el tratamiento, al no padecer ninguna restricción en las AVDs. Una mujer de la misma edad, pero residente en una zona de menor renta (como la provincia de Lérica) y sin estudios, tendría un mayor riesgo esperado de aparición de las discapacidades, y por lo tanto un mayor riesgo de requerir el apoyo de una tercera persona para sus cuidados.

Una de las principales limitaciones del estudio, se debe a los datos utilizados que se extraen de la EDDDES (INE, 1999). A pesar de que dicha encuesta se trata de un estudio transversal, se han usado los datos como si éstos fueran longitudinales, “siguiendo artificialmente” al individuo, para de este modo, utilizar el marco teórico más adecuado para el estudio del tiempo hasta la realización de un suceso, esto es, el análisis de la supervivencia.

Por esta razón, la variable analizada (tiempo hasta la aparición de la discapacidad) estará sobrestimada, por dos motivos: primero, los datos de la encuesta no incluyen a la población institucionalizada, es decir, en la Encuesta sólo se recoge información sobre personas que residen en viviendas familiares; segundo y más importante, los individuos que sobreviven son los más sanos. En efecto, únicamente hemos “seguido artificialmente” a aquellos individuos que han llegado vivos al año 1999, fecha de la encuesta, en cambio, los individuos de su mismo año de nacimiento que murieron antes de realizarse la encuesta no han podido ser observados y, probablemente, sufrieron discapacidades a una edad más temprana. Este fenómeno, puede considerarse como una censura por la izquierda dentro del análisis de la supervivencia. Una posibilidad para hacer frente, desde el marco del análisis de la supervivencia, a los dos tipos de censura que presentan los datos transversales de la EDDDES es mediante los métodos conocidos como “Current Status Data” (Jewell y Van der Laan, 2002). Este enfoque es el objetivo fijado para nuestros próximos trabajos.

En este sentido, otra posibilidad de estudio se centraría en analizar el tiempo hasta la discapacidad de una persona activa de 60 años, teniendo en cuenta las actividades básicas de la vida diaria definidas en el Libro Blanco de la Dependencia (MTAS, 2005). La definición que se hace en dicho estudio es más restrictiva, ya que sólo incluye 9 actividades (que son las consideradas actividades generadoras de dependencia), mientras que en la EDDDES (INE, 1999) se incluyen hasta 13 actividades. De esta forma, se podrían comparar los resultados obtenidos en ambos estudios.

Sin lugar a dudas un estudio más detallado de éstas y otras variables que revelen un mayor riesgo de discapacidad, puede ayudar a decidir sobre la atención a las personas mayores dependientes. Por esta razón, disponer de datos de estos pacientes con más factores que los caractericen y, utilizando una metodología similar a la presentada aquí, permitiría ahondar más en cómo debe ser el procedimiento y el protocolo a seguir para mejorar la calidad de vida de estas personas. Como se concluye en otros trabajos (Pedrera, 1999; Gurwitz *et al.*, 2003) es imprescindible tener en cuenta la situación socio-sanitaria del anciano (Holmes *et al.*, 2006; Bonk *et al.*, 2006; Maio *et al.*, 2006) para realizar una adecuada valoración de sus necesidades personales.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación del Ministerio de Educación / FEDER SEJ2004-05052.

Referencias

Avorn J. Improving Drug Use in Elderly Patients: Getting to the Next Level. *Journal of the American Medical Association* 2001; 286: 2866-2868.

Bonk ME, Krown H, Matuszewski K, Oinonen M. Potentially inappropriate medications in hospitalized senior patients. *American Journal of Health-System Pharmacy* 2006; 63: 1161-1165.

Comas-Herrera A, Wittenberg R, editors. *European Study of Long-Term Care Expenditure: Investigating the Sensitivity of Future Long-term Care Expenditure in Germany, Spain, Italy and the United Kingdom to Changes in Assumptions about Demography, Dependency, Informal Care, Formal Care and Unit Costs*. London: London School of Economics, Health and Social Care, 2003.

Fialová D, Topinková E, Gambassi G, Finne-Soveri H, Jónsson PV, Carpenter I, et al. Potentially Inappropriate Medication Use Among Elderly Home Care Patients in Europe. *Journal of the American Medical Association* 2005; 293: 1348-1358.

Guillen M, Ayuso M. La importancia del efecto del diseño. *Medicina Clínica* 2004; 122: 35-38.

Gurwitz JH, Field TS, Harrold LR, Rothschild J, Debellis K, Seger AC, et al. Incidence and Preventability of Adverse Drug Events Among Older Persons in the Ambulatory Setting. *Journal of the American Medical Association* 2003; 289: 1107-1116.

Gutiérrez-Fisac JL, Gispert R, Solà J. Factors explaining the geographical differences in Disability Free Life Expectancy in Spain. *Journal of Epidemiology and Community Health* 2000; 54: 451-455.

Grundy E, Glaser K. Socio-demographic differences in the onset and progression of disability in early old age: a longitudinal study. *Age & Ageing* 2000; 29(2): 149-157.

Holmes HM, Hayley DC, Alexander GC, Sachs GA. Reconsidering Medication Appropriateness for Patients Late in Life. *Archives of Internal Medicine* 2006; 166: 605-609.

Instituto Nacional de Estadística (INE). *Encuesta sobre Discapacidades, Deficiencias y Estado de Salud*. Madrid: INE, 1999.

Jewell NP, Van der Laan MJ. Current Status Data: Review, Recent Developments and Open Problems. U.C. Berkeley Division of Biostatistics Working Paper Series, 2002.

Kaplan EL, Meier P. Nonparametric estimation from incomplete observations. *Journal of the American Statistical Association* 1958; 53: 457-481.

Karlsson M, Mayhew L, Plumb R, Rickayzen B. An International Comparison of Long-Term Care Arrangements: An Investigation into the Equity, Efficiency and sustainability of the Long-Term Care Systems in Germany, Japan, Sweden, the United Kingdom and the United States. London: Faculty of Actuarial Science and Statistics, 2004.

Klein JP, Moeschberger ML. *Survival Analysis: Techniques for Censored and Truncated Data*. New York: Springer-Verlag, 1997.

Lam S, Ruby CM. Impact of an interdisciplinary team on drug therapy outcomes in a geriatric clinic. *American Journal of Health-System Pharmacy* 2005; 62: 626-629.

Maio V, Hartmann CW, Poston S, Liu-Chen X, Diamond J, Arenson C. Potentially Inappropriate Prescribing for Elderly Patients in 2 Outpatient Settings. *American Journal of Medical Quality* 2006; 21: 162-168.

Matthews RJ, Smith LK, Hancock RM, Jagger C, Spiers NA. Socioeconomic factors associated with the onset of disability in older age: a longitudinal study of people aged 75 years and over. *Social Science & Medicine* 2005; 61: 1567-1575.

Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales (MTAS). *Libro Blanco de la Dependencia*. Madrid: MTAS, 2005.

Murtagh KN, Hubert HB. Gender differences in physical disability among an elderly cohort. *American Journal of Public Health* 2004; 94(8): 1406-1411.

Pedreira JL, Canal ML, Lavado JM, Postigo S, Sánchez M, Durán N. Estudio de salud de las personas mayores en Extremadura: consumo de fármacos y patologías crónicas más frecuentes. *Revista Española de Salud Pública* 1999; 73: 677-686.

Pfeffermann D. The Role of Sampling Weights When Modeling Survey Data. *International Statistical Review* 1993; 61(2): 317-337.

Taş Ü, Verhagen AP, Bierma-Zeinstra MA, Hofman A, Odding E, Pols AP, Koes BW. Incidence and risk factors of disability in the elderly: The Rotterdam Study. *Preventive Medicine* 2007; 44: 272-278.

Zhan C, Sangl J, Bierman AS, Miller MR, Friedman B, Wickizer SW, et al. Potentially Inappropriate Medication Use in the Community-Dwelling Elderly Findings From the 1996 Medical Expenditure Panel Survey. *Journal of the American Medical Association* 2001; 286: 2823-2829.

Validity Examination of EFQM's Results by DEA Models

ZERAFAT ANGIZ LANGROUDI, MADJID
School of Mathematical Sciences
University Sains Malaysia, Penang (Malaysia)
Correo electrónico: mzarafat@yahoo.com

JANDAGHI, GHOLAMREZA
Faculty of Management, Qom Campus
University of Tehran (Iran)
Correo electrónico: jandaghi@ut.ac.ir

BEN MUSTAFA, ADLI
School of Mathematical Sciences
University Sains Malaysia, Penang (Malaysia)
Correo electrónico: adli@cs.usm.my

ABSTRACT

The European Foundation Quality Management is one of the models which deal with the assessment of function of an organization using a self-assessment for measuring the concepts some of which are more and more qualitative. Consequently, complete understanding and correct usage of this model in an organization depend on the comprehensive recognition of that model and different strategies of self-assessment. The process of self-assessment on the basis of this model in an organization needs to use the experienced auditors. This leads to reduce the wrong privilege making to the criteria and to subcriteria probable way.

In this paper, first some of the weaknesses of the EFQM model are studied, then with the usage of structure of input-output governing of the model and using of Data Envelopment Analysis, a method is offered to recognize the lack of the proportion between Enablers and the results of organization which may occur due to problems and obstacles hidden in the heart of organization.

Keywords: European Foundation Quality Management; Data Envelopment Analysis.

JEL classification: C02; L25.

2000MSC: 62C99; 90B50.

Examen de la validez de los resultados de EFQM mediante modelos DEA

RESUMEN

La Fundación Europea de Gestión de la Calidad (EFQM) significa uno de los modelos para la evaluación de las funciones de las organizaciones, utilizando la autoevaluación para medir aspectos que, algunos de los cuales, son cada vez más cualitativos. Consecuentemente, la comprensión completa y el uso correcto de este modelo en una organización depende del conocimiento profundo del modelo y de las diferentes estrategias de autoevaluación. El proceso de autoevaluación en la base de este modelo, en cualquier organización, necesita la intervención de auditores experimentados. Esto es precisamente lo que lleva a reducir el uso incorrecto de los criterios y de los subcriterios.

En este artículo, primero se estudian algunas de las debilidades del modelo EFQM y después, mediante la utilización de estructura de control de entradas y salidas y el uso del Análisis Envoltante de Datos, se ofrece un método para reconocer la falta de proporción entre *Enablers* (consultores del potencial empresarial) y los resultados de la organización, lo que puede ocurrir debido a problemas y obstáculos escondidos en el corazón de la propia organización.

Palabras clave: Fundación Europea de Gestión de la Calidad (EFQM); Análisis Envoltante de Datos (DEA).

Clasificación JEL: C02; L25.

2000MSC: 62C99; 90B50.



1 Introduction

The European Foundation for Quality Management (EFQM) was founded by the presidency of 14 major European companies in 1988, to stimulate and assist organizations throughout Europe to participate in improvement activities leading ultimately to excellence in customer and employee satisfaction, influence society and business results, and to support the managers of European organizations in accelerating the process of making Total Quality Management (TQM) (Besterfield and Besterfield-Michna, 1999) a decisive factor for achieving global competitive advantage.

Until 1995, almost 60% of European organizations used the EFQM model to assess their organization. Many papers in this area have been published and each of them tried to complete this model. For example, EFQM (1999) describes the Radar Logic which is known as the heart of the excellence model. EFQM (2000) considers the aspects of Deployment and Assessment and Review within the Radar Logic. Lascelles and Peacock (1996) studied how to score the aspects of Deployment and Assessment and Review, the results of which are considered in EFQM (2000). In 2003, new edition of the model was presented which, in comparison with previous edition, had considerable amendments in sub criteria and in the guidance points (EFQM, 2003a).

In contrast, Charnes, Cooper and Rhodes (1978) developed data envelopment analysis (DEA) as a methodology (CCR model) aimed at evaluating the relating efficiency of decision making units (DMUs) solely on the basis of their observed performance.

In recent years, a growing number of researchers have looked into ways to incorporate judgment into DEA. Golany and Roll (1997) suggested an alternative approach for introducing judgment into the DEA methodology by allowing an incorporation of engineering standards into the analyzing. The present study uses the method proposed by Golany and Roll (1997).

This paper has been organized in five sections. The next section presents a brief review on CCR model and structure of EFQM. The suggested methods are presented in Section 3. The theoretical finding of a numerical example is solved in Section 4. Finally, Section 5 draws some concluding remarks. Based on our knowledge, there is not any similar study with this approach; therefore, we have not presented such studies in the literature review.

2 Back ground

2.1 CCR Model

Since the seminal paper by Charnes, Cooper and Rhodes in 1978, a variety of DEA models have appeared in the literature. Two of the DEA models that are most often associated with the DEA methodology are the CCR and BCC (Banker, Charnes and Cooper, 1984) models. Let inputs x_{ij} ($i=1, \dots, m$) and outputs y_{rj} ($r=1, \dots, s$) be given for DMU_{*j*} ($j=1, \dots, n$).

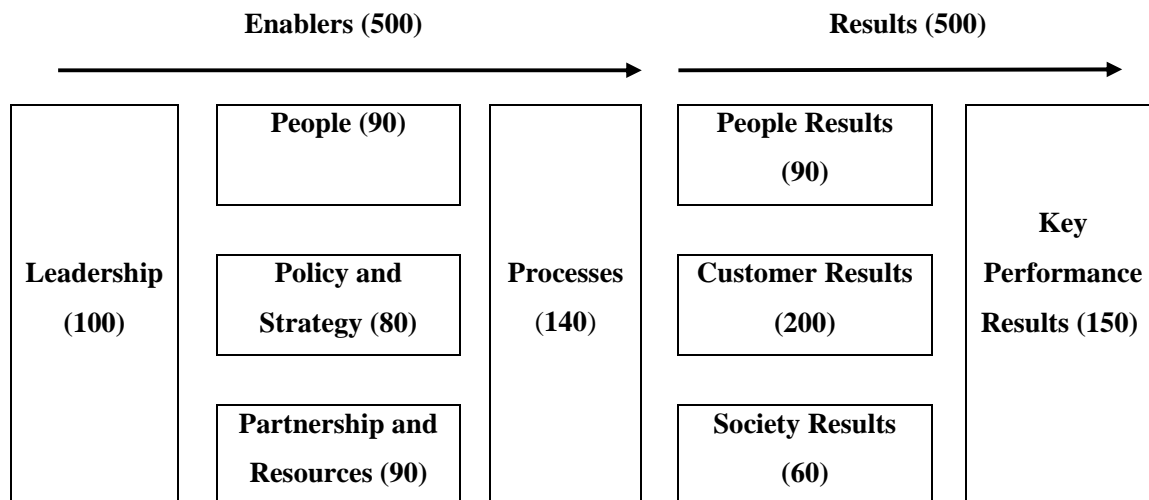
The linear programming statement for the (output oriented) CCR model is:

$$\begin{aligned} \min \quad & Z = \sum_{i=1}^m v_i x_{ip} & (1) \\ \text{s.t:} \quad & \sum_{r=1}^s u_r y_{rp} = 1 \\ & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 & j = 1, \dots, n, \\ & u_r, v_i \geq \varepsilon & i = 1, \dots, m, r = 1, \dots, s. \end{aligned}$$

Where, ε are a non-Archimedean infinitesimal and, x_{ip} and y_{rp} denote, respectively, the i^{th} input and r^{th} output values for DMU_{*p*}; the DMU under consideration and u and v are some coefficients (weights) which are not of interest in Golany method.

2.2 EFQM

The EFQM Excellence model (EFQM, 2003b) is a non-prescriptive framework that recognizes there are many approaches to achieving sustainable excellence. The model's framework is based on nine criteria. Five of these are "Enablers" and four are "Results". The "Enablers" criteria cover what an organization does. "Results" criteria cover what an organization achieves. "Results" are caused by "Enablers", and feedback from "Results" helps to improve "Enablers". The linkage between these criteria is illustrated in the next page:



The numbers in the parentheses are the points assigned to the nine criteria of the model which shows the extent of achievement of the aims. For example, the number 100 shows the maximum points in leadership of the organization.

The model recognizes there are many approaches to achieving sustainable excellence in all aspects of performance. It is based on the premise that: excellence results with respect to Performance, Customer, People and Society are achieved through Leadership driving Policy and Strategy, that is delivered through People, Partnerships and Resources, and Processes.

2.3 Critics on EFQM

A reason of not using mathematical models in designing EFQM is their tendency in simplification. But this may cause some irrecoverable damages to performance appraisal. In fact, we can claim that we have done a true performance appraisal, if we make use of comprehensive methods and models. That an EFQM model possesses all the characteristics of the complete model has a negative answer. In the following, we list some disadvantages of this model:

I. EFQM is an additive model in which the interaction effects of variables and indices cannot be assessed. These interaction effects are known as synergic effects which may be more than the total of individual effects.

II. There is a trade off between the model's criteria that results in covering the weakness of a criterion by the strength of another. Since the purpose of an assessment in this model

is the evaluation of the realization of model's concepts, the rate of this trade off must be determined. For example, in the process of getting promotions, the satisfaction of customers cannot be sacrificed.

III. Since achieving a maximum of 1,000 points in the nine criteria is the purpose of EFQM, no realistic promotion strategy is in the hand of decision maker. In other words, there is often a big gap between the evaluated unit and the standards of the ideal unit so that no useful information toward improvement can be gained from the evaluation.

IV. Because of qualitiveness of criteria and sub criteria, there is a high probability of wrong evaluations.

3 DEA and Errors of Assessment in EFQM

As has been mentioned in the previous section, some of the criteria recognized in EFQM model are qualitative and measuring of these criteria would not be easily possible. As the incorrect assessment may give an unreal image of the organization and then the organization would fall non-existence, so it deems necessary to design a control system which, in such situation, may alarm and warn the organization that the assessment is untrue.

Because some of nine criteria in the model are so qualitative that the measurement needs the experienced individuals and experts, there is probability of arising errors in the self-assessment on the basis of EFQM.

With regard to difficult scoring to "Enablers", probability of mistake scoring in this area is very high. So, it seems necessary to design a system to control the accuracy of the results. To this end, we propose the method which Golany and Roll (1997) have designed to standardize through DEA. For more description, we assume that the assessment criteria in organization include one Enabler criteria and one Result criteria. We collect the results of assessment which obtained by expert assessors in the past from different organizations to make standard level. In Figure 1, the DMUs A, B, C, D, E and F are such units. Efficiency frontier is making by A, B, C and D. Gained frontier indicates that we expect to obtain scale of "Results" in organization by using the specified scale of "Enablers". With regard to the criteria of EFQM being qualitative, assessment error may be ignored, more or less. For example, the units E and F which are not on the efficiency frontier, but with regard to closeness to efficiency frontier, result in acceptable evaluation. Thus, inefficient units are divided in two groups. First group consists of inefficient DMUs or organizations whose assessments are not acceptable, and second group contains efficient

units or organizations whose assessment results are acceptable. In Figure 1, the units G and H are DMUs which are scored by expert assessors. For DMU G two possibilities are under consideration:

- 1) The error has occurred in scoring.
- 2) There are problems in organization, which are not observed by managers.

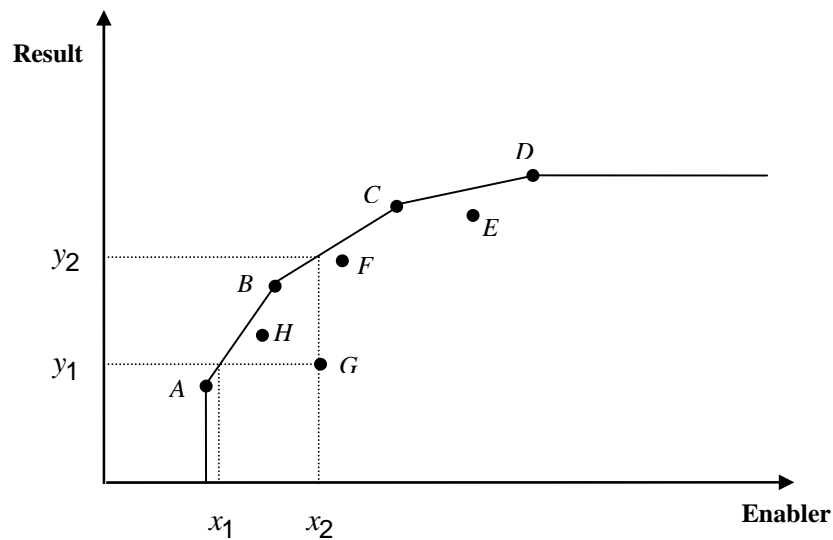


Figure 1

If we accept that assessment of organization A and B has been realistic, the expectation is that organization G with use of amount x_2 Enabler achieves amount y_2 Result, while this organization has achieved to y_1 Result. As mentioned, this could be due to assessment error or a problem within organization has caused this situation. Therefore, it seems necessary to restudy the assessment in order to find the cause and in the case of occurring error, scores should be amended. If the second situation was happened, the cause should be studied. In order to distinguish the organizations which their assessment results are not acceptable, the proposed method by Golany and Roll (1997) is used.

Organizations which have been assessed by EFQM model are considered as DMU. The five criteria of “Enablers” are Inputs and other four results criteria are considered as Outputs.

We collect the information relating to these units which were success or not in the past but were given the scores by expert assessors. We evaluate these units by DEA. Some of them place on the efficiency frontier. These units will make the standard DMUs.

After the standard units are recognized, again with adding DMUs which have been given the scores in a certain period to the aforementioned units, once more the evaluation being done by CCR model? If a DMU causes that a standard DMU is inefficient, then the data of the organization is in question and therefore it should be studied again. In the case of confirmation, the accuracy of the relevant data should be presented as a standard organization. Otherwise, the given scores will not change the standard frontier.

Once more the organization is being studied by ignoring the standard units and then calculating the ratio of two efficiencies for each organization (DMU) and gaining the average of the obtained numbers. Again, we calculate the distance of each number from average and calculate the average of these distances, with subtraction of average from the gained number; we will have the number which will be the base for accepting the results of EFQM. If the gained result of assessment of a DMU be lesser than this number, either it has not been calculated correctly or the obstacle factors which are not able to be recognized by assessment indexes have played the role to make this results.

Because we expect that the organization is using leadership with certain power, policy and strategy, people, partnerships and resources and processes, each has been shown by a number, and achieve to series of results close together. The flow chart of the methods is shown in Figure 2 (next page).

4 Numerical Examples

Now we consider Table 1. The decision making units D1 until D25 in this table are the units that have been assessed by the experienced assessors in the past and allocated scores to them are confirmed. Hereafter, these units should be called standard units. The columns 2 up to 10 are nine criteria relating to the areas of EFQM. Certainly, this does not mean that the other units have the unreal scores, because the existence of some errors may be accepted less and more. The proposed method specifies the land of these errors. The units D27 up to D35 are the organizations which have been assessed in a certain period, and the accuracy of their results must be studied. To this end, we compare them with standard units.

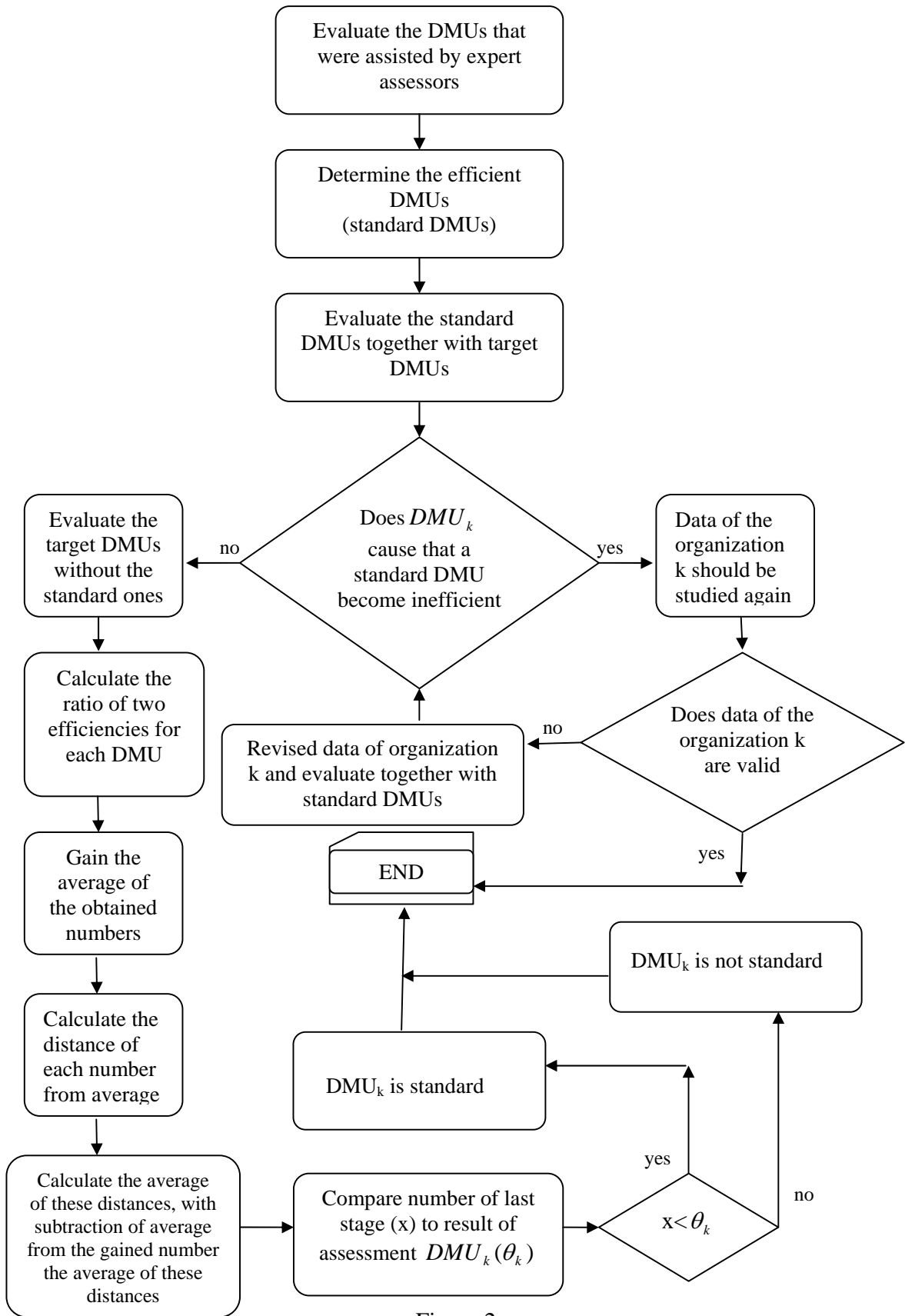


Figure 2

Table 1. Data used in the numerical example

DMUs	Leadership	Policy & Strategy	People	Partnership & Resources	Processes	Customer Results	People Results	Society Results	Key Performance Results
D1	50	40	44	45	70	105	44	31	74
D2	65	49	55	57	68	129	56	38	97
D3	70	53	65	67	80	141	63	40	103
D4	55	42	45	46	73	112	43	34	83
D5	60	47	52	54	75	119	52	37	92
D6	70	50	64	68	79	142	64	41	101
D7	74	53	70	73	83	150	74	43	112
D8	80	65	76	77	90	159	79	47	118
D9	75	63	72	74	80	151	75	43	114
D10	55	45	46	49	69	110	47	35	80
D11	64	49	53	54	69	127	55	39	95
D12	85	68	80	82	110	169	82	52	126
D13	80	63	77	79	95	161	79	47	121
D14	40	31	35	37	62	75	38	22	63
D15	35	24	30	33	51	71	31	22	53
D16	51	40	45	46	71	104	43	30	73
D17	65	51	56	58	69	128	55	37	96
D18	71	52	64	69	79	141	63	40	100
D19	65	49	54	55	69	126	54	38	94
D20	86	63	78	80	96	160	79	46	120
D21	36	25	31	34	51	70	30	21	53
D22	83	67	79	81	108	163	80	48	122
D23	42	31	36	37	63	74	37	22	63
D24	57	43	46	48	69	110	45	34	79
D25	75	54	73	75	83	149	77	43	113
D26	32	26	29	28	45	45	28	19	48
D27	65	49	54	55	69	126	54	38	94
D28	71	50	64	69	79	140	63	41	99
D29	65	50	52	56	73	125	52	35	90
D30	49	45	42	45	76	63	37	20	53
D31	37	25	35	39	56	70	25	21	50
D32	87	73	75	80	109	156	75	48	121
D33	51	41	46	46	70	104	42	29	74
D34	72	54	64	69	80	126	53	37	93
D35	35	27	29	30	46	44	27	20	47

Table 2 shows the results from using the method for recognizing the organizations which have been assessed unreal. The amount 0.979 in the last row of Table 2 is the average of the amounts of last column. By calculating the average of distance of each amount in the last column, the amount of 0.019 is obtained. The amount of 0.967 is the difference between 0.979 and 0.012, which the accepted criteria for accuracy of data relating each DMU. As the allocated amount to units 30, 31, 32 and 35 is lesser than aforementioned number, so the results of assessment these units are doubtful, and restudying of these units is recommended. For example, we consider the D31. The criteria of Enabler of this unit compared with D21 are more; in turn the results are lesser. In other words, it has been obtained the weaker results from greater Enabler. And this means either the assessment is unreal or some problems are within organization which hair-splitting study is needed.

Table 2. The results of proposed method

DMUs	Efficiencies of inefficient standard DMUs and under evaluation {1}	Efficiencies of standard DMUs and under evaluation {2}	$\frac{\{2\}}{\{1\}}$
D3	1	0.992	0.992
D13	1	0.999	0.999
D16	1	0.977	0.977
D17	1	0.988	0.988
D18	1	0.983	0.983
D19	1	0.986	0.986
D20	0.998	0.963	0.965
D21	1	0.972	0.972
D22	0.987	0.976	0.989
D23	1	0.996	0.996
D24	1	0.985	0.985
D26	1	0.989	0.989
D27	1	0.986	0.986
D28	1	0.998	0.998
D29	1	0.990	0.990
D31	0.998	0.945	0.947
D32	0.981	0.943	0.961
D33	1	0.976	0.976
D30	0.853	0.809	0.948
D34	0.887	0.869	0.980
D35	0.957	0.921	0.962
	0.012 variance	0.979 average	

Second column shows the efficiency and third column shows the reference units suitable to each decision making unit. To specify the scale of accuracy of the results of data for each decision making unit under assessment, we compare this unit with the standard units which have at least one common reference. In the event that the figure of efficiency of this unit at least is greater than the figure of efficiency of one of these units, the results from the assessment by EFQM model are confirmed. Otherwise, restudying of the points in nine areas is recommended. For example, we consider the unit Q28. The units D15 and D4 have been recognized as references for this unit, D9, D4, D11, D13, D15, D16, D17, D18, D21, D22, D23, and D24 have at least one common reference with D28 decision making unit. The figure of the efficiency of this decision making unit is greater than the figure of the efficiency of unit 19 (0.986) and its result is confirmed. In turn, the results from point-giving in EFQM model for D30 meet for a more precise study as this unit in comparison with all decision making standard units which have a common reference with it, has a lesser figure of the efficiency. The units 20, 21, 23, and 26 have at least one common reference with decision making unit 30. For this reason, the results of the units 31, 32, 34, and 35 need to be studied.

5 Conclusions

Complete understanding and correct using of the EFQM model in an origination required the comprehensive familiar of this model and the different strategies of self-assessment of organization and proportion; due to being qualitative more than enough of current assessment criteria's, the experienced assessors are very reporting. Consequently, there are too many possibilities to occur errors in point-giving to the criteria and to the sub criteria. On the other hand, sometimes, there should be possible that coordination between enablers and the results has been made due to same problems within the organization which recognizing of this failure allows the organization to be aware of problem inside it. In this article the structure of input-output governing EFQM model, which has been taken from nine criteria, is used and, with the help of CCR model, technical efficiency concept, the existence of probable errors in assessment and or possible non-coordination between enablers and their result, have been studied carefully.

References

- Banker, R.D., A. Charnes and W.W. Cooper (1984) "Some Methods for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis", *Management Science*, Vol. 30, pp. 1078-1092.
- Besterfield, D.H. and C. Besterfield-Michna (1999) "Total Quality Management", 2nd edition, *Prentice Hall*, New Jersey, p.135.
- Charnes A., W.W. Cooper and E. Rhodes (1978) "Measuring the efficiency of decision making units", *European Journal of Operation Research*, Vol. 2, pp. 429-444.
- EFQM (1999) "Assessing for excellence, a practice guide for self-assessment". *EFQM*, Brussels.
- EFQM (2000) "Assessor Training Model", *EFQM*, Brussels.
- EFQM (2003a) "EFQM Levels of Excellence," *European Quality Award Information Brochure for 2003*, V 6 321.
- EFQM (2003b) "The EFQM Excellence Model", *European Foundation for Quality Management Brussels Representative Office, Belgium*, p.2.
- Golany, B. and Y. Roll (1997) "In corporating standard via DEA," *Data Envelopment Analysis* (Edited by Charnes A., Cooper W., Lewin A.Y. and Seiford L.M.), *Kluwer Academic Publishers, Boston*.
- Lacselles, D. and R. Peacock (1996) "Self-assessment for business excellence", *McGraw-Hill*.

Efectos olvidados en las relaciones de causalidad de las acciones del sistema de capacitación en las organizaciones empresariales

RODRÍGUEZ RUBINOS, JESÚS MIGUEL

Escuela de Hotelería y Turismo

Ciudad de Camagüey (Cuba)

Correo electrónico: rubino@ehtc.co.cu

RAMÍREZ REYES, MIGUEL ARMANDO

Escuela de Hotelería y Turismo

Ciudad de Camagüey (Cuba)

Correo electrónico: miguelito@ehtc.co.cu

DÍAZ PONTONES, VICENTE

Escuela de Hotelería y Turismo

Ciudad de Camagüey (Cuba)

Correo electrónico: vicente@ehtc.co.cu

RESUMEN

Se propone y se desarrolla un procedimiento desde el paradigma de la complejidad que, partiendo de las características más generales que permiten identificar a las organizaciones turísticas como sistemas sociales humanos complejos, valora los impactos de la capacitación en la consecución de las metas organizacionales.

El procedimiento se aborda desde la aplicación del modelo de valoración de los efectos olvidados en las relaciones de causalidad del sistema de acciones de capacitación, identificando a través de la matriz de relación incidencia-dependencia, la cohesión estructural de la estrategia de capacitación y los lazos de interacción entre las diferentes acciones expresadas en grafos.

Finalmente, en las conclusiones, se destacan los valores del modelo propuesto y aplicado, como contribución al perfeccionamiento de las estrategias de capacitación.

Palabras clave: efectos olvidados; impacto sistémico; capacitación; comportamiento complejo.

Clasificación JEL: C65; M53.

2000MSC: 90B99.

Forgotten effects of the causality relationships in the knowledge management in tourism organizations

ABSTRACT

A procedure is developed from the paradigm of the complexity, starting from their most general characteristics to identify tourism organizations as social human complex systems. This procedure values the impacts of the training in the achievement of the organizational goals.

The model of forgotten effects to the causality relationships of the system of training actions and, by using the relationship matrix of incidence-dependence, the structural cohesion is identified in the training strategy. The interaction links among the different actions have been expressed by graphs.

Finally, the conclusions bring out the values of the proposed and applied method as a contribution to the improvement of the training strategies.

Keywords: forgotten effects; systemic impact; training; complex behavior.

JEL classification: C65; M53.

2000MSC: 90B99.



1. Introducción

Un tema que cobra especial importancia para las organizaciones empresariales, en el contexto de la llamada *era del conocimiento* y de una economía global competitiva, es la capacitación como vía para el desarrollo del capital humano y, en consecuencia, la valoración del impacto que estas tienen en los resultados de la organización.

Abordar este tema conlleva profundizar en: a) la relación de causalidad entre las acciones del sistema de capacitación, que dan respuesta a las necesidades cognitivas para el logro de las metas organizacionales trazadas; b) la dinámica interna de las interrelaciones que favorezcan y catalicen la emergencia de mejores resultados organizacionales.

Se presenta, por tanto, un problema práctico en la valoración de la relación de causalidad entre las acciones de desarrollo del capital humano de las organizaciones como vía para compulsar y facilitar el éxito empresarial y los resultados que, en término de realización de objetivos estratégicos, se proponen estas.

La limitación metodológica para enfrentar este problema radica en que los métodos tradicionales evalúan el impacto de las acciones del sistema de capacitación centrándose en la valoración de las cantidades de acciones, nivel de preparación de los docentes o entrenadores, pertinencia y actualización del conocimiento y otros indicadores de impacto económico (Cabrera, 2001; Zuvanic, 2004). Estas variables se resumen por medio de un indicador de carácter integrador, que caracteriza el cambio en la organización. Sin embargo, la capacidad del sistema de capacitación en una organización empresarial para catalizar los resultados estratégicos que se proponen, no están solo en correspondencia con las cualidades intrínsecas de cada una de las acciones que lo componen, sino además en sus interrelaciones como sistema, donde las propiedades emergen de sus relaciones y no pueden ser reducidas a sus componentes por separado. Las influencias del sistema de capacitación en los resultados organizacionales, que se centren en la modificación de los resultados de la organización, presuponen una relación causa-efecto del tipo $c \rightarrow e$ (c-acciones de capacitación implican e-efectos en los resultados organizacionales). Esta relación de influencia es característica, sin embargo, de sistemas simples, mientras que aquellos que tienen un comportamiento complejo, como es el caso de las organizaciones empresariales, se caracterizan por un tipo de causalidad recursiva y no lineal, donde se manifiesta no solo la relación $c \rightarrow e$ (c-acciones de capacitación implican e-efectos en los resultados organizacionales). Tanto el sistema de capacitación como el sistema de objetivos

organizacionales muestran, acorde a su carácter sistémico, interrelaciones mutuas que se condicionan e influyen, o sea $c \rightarrow c$ (incidencia mutua entre las c-acciones de capacitación) y $e \rightarrow e$ (incidencias mutuas entre los e-efectos de los resultados organizacionales). Este tipo de relación en el sistema organizacional perturbado por las acciones de capacitación es posible explicarlo, dentro de los límites de la lógica borrosa en su comportamiento no lineal, a través de la relación de causalidad que toma en cuenta los efectos olvidados¹, para describirlo como una relación $c \rightarrow c \rightarrow e \rightarrow e$, obteniendo un cuadro explicativo en correspondencia con su comportamiento complejo que contribuye a develar su causalidad recursiva.

Como una aplicación de este enfoque y de las implicaciones metodológicas del paradigma de la complejidad, en este trabajo se propone el estudio de la relación de causalidad acciones de capacitación-resultados organizacionales, tomando en cuenta la teoría de los efectos olvidados desarrollada por Kaufman y Gil Aluja (1989), que permite con un enfoque lógico borroso la identificación del aporte de las relaciones internas entre las acciones de capacitación, por una parte, y entre las metas organizacionales, por otra, brindando información útil al proceso de toma de decisiones, para el diseño y la mejora de las estrategias de capacitación en las organizaciones.

El objetivo del trabajo es mostrar una aplicación de la teoría de los efectos olvidados que sustenta una propuesta de procedimiento para valorar el impacto sistémico de la capacitación sobre los resultados estratégicos de la organización.

El artículo se estructura en una sección, tras esta introducción, que resume las características más generales que permiten identificar a las organizaciones empresariales como sistemas sociales humanos complejos. La siguiente sección aborda la aplicación del modelo de valoración de los efectos olvidados, consistente en la matriz de convolución $[C \chi C] \circ [C \chi E] \circ [E \chi E]$, para la valoración del impacto sistémico de las acciones de capacitación que desarrolla una organización sobre los resultados medidos en la consecución de sus metas organizacionales. Finalmente, en las conclusiones, se destacan los valores del modelo propuesto y aplicado, indicando cómo contribuye al perfeccionamiento de las estrategias de capacitación.

2. Las organizaciones empresariales: sistemas sociales humanos

Desde las últimas décadas del pasado siglo, son varias las teorías científicas que han sufrido un considerable y remarcable crecimiento y avance, tanto en resultados como en aplicaciones. Nos

¹ Kaufmann, Arnold y Gil Aluja, Jaime, 1989. Modelos para la investigación de efectos olvidados. España. Ed. Milladoiro. 152 pp.

referimos a teorías como la del Caos, la de los sistemas dinámicos no lineales o la de la Complejidad. Dichas teorías han revolucionado las ciencias, ya que manifiestan una ruptura entre el saber tradicional y la emergencia de un nuevo saber (Sotolongo y Delgado, 2005).

En el ámbito de las ciencias sociales y en el específico de las ciencias empresariales, los conceptos derivados de estas teorías se han empezado a aplicar, en su primera instancia, desde la perspectiva de sus implicaciones epistemológicas, derivando en nuevos caminos del saber para abordar los problemas de sus procesos y, en un segundo nivel, en sus implicaciones metodológicas, aportando nuevos métodos y herramientas prácticas de capacidad explicativa acorde al carácter no lineal de sus relaciones.

Las teorías organizacionales, dentro del saber tradicional, se han desarrollado desde la perspectiva de una ontología que responde al paradigma del orden, caracterizado por el equilibrio y la causalidad lineal, basado en una epistemología que se sustenta en el comportamiento según reglas, hasta otras perspectivas cuyo alto grado de ambigüedad requieren de un enfoque heurístico y sistémico adecuado al proceso (Snowden y Stanbridge, 2004).

Los ambientes de alta incertidumbre, permanente transición al cambio, impacto de las tecnologías e internalización de los procesos de generación de conocimientos han desembocado en la necesidad del nuevo saber. Este saber, en el contexto empresarial, se expresa en teorías organizacionales capaces de explicar sus complejos procesos, caracterizados por el desorden creativo e innovador y la emergencia de patrones de comportamiento; patrones que pueden ser estudiados por las herramientas de la complejidad, desde las matemáticas hasta la interpretación sociológica, reconociendo esta última los aspectos únicos de los sistemas humanos que se expresan, en la comunicación, la participación, la impredecibilidad de su accionar y su condicionamiento contextual.

Las organizaciones empresariales se constituyen en la interacción de sus componentes socio-tecnológicos (personas, materiales y tecnologías) y, como tales, tienen un comportamiento complejo (Stacey, 2000; Snowden, 2004; Navarro, 2000; Diegoli, 2003) en el que resaltan características como la no linealidad y la emergencia de la autoorganización (Goldstein, 1997). Las teorías mencionadas anteriormente se basan en un cambio fundamental de las técnicas matemáticas lineales a las no lineales. En un sistema lineal los resultados son proporcionales a las causas o condiciones iniciales, mientras que en los sistemas no lineales se manifiesta la falta de proporcionalidad y, por tanto, sus partes o componentes interactúan de tal forma que hay una

continua influencia mutua o relación causal que se retroalimenta, obteniendo un resultado diferente a la simple aportación de sus partes. Esta influencia mutua puede describirse, entre otros, mediante modelos de relaciones borrosas (Kosko, 1995), de preferencias y reglas de inferencia, adecuados al tipo de relaciones causales no lineales característico de los sistemas sociales humanos.

Otra característica de los sistemas organizacionales empresariales es la emergencia de la auto-organización como un proceso adaptativo que se activa como consecuencia de la interacción de los componentes de un sistema no lineal. Este comportamiento del sistema se caracteriza por una mayor coordinación y coherencia entre los componentes del sistema. Cuando el sistema se auto-organiza, se manifiesta la capacidad de autogestión y de emergencia de un comportamiento donde el resultado es mayor que el aporte de sus componentes, al complementarse a través de las interrelaciones.

La gestión del conocimiento es un enfoque gerencial que identifica y utiliza el valor de los recursos humanos y el conocimiento que estos poseen y aportan a la organización. Como modelo de gestión, se orienta a la mejor explotación del conocimiento en función de los procesos y de la ventaja competitiva. Entre sus formas de expresión tiene: el aprender de la práctica, incorporar mayor conocimiento a los productos y servicios y utilizar el conocimiento interno y externo en la toma de decisiones. La gestión del conocimiento tiene en la capacitación, como forma de aprendizaje organizacional, una de sus principales herramientas que le permite aumentar las capacidades de la organización; es un medio para que la empresa pueda resolver problemas cada vez más complejos que se encuentran en la ruta hacia sus objetivos estratégicos.

Al desarrollar una estrategia de capacitación para incidir y favorecer la emergencia de resultados superiores en correspondencia con los presupuestos estratégicos que la organización se ha impuesto, se espera que esta estrategia de capacitación impacte favorablemente sobre los resultados de la organización con efectividad, siendo ello una expresión del acierto de las decisiones tomadas por los gestores, desde la identificación de las necesidades de conocimientos y de desarrollo de habilidades hasta la incorporación de los nuevos conocimientos en la organización como valor agregado a sus productos y servicios. Los cambios en el comportamiento organizacional dependerán en alguna medida de la capacidad de incidencia de las acciones de capacitación, por lo que el proceso de causalidad es objeto de atención para

revelar las oportunidades de mejora con el fin de favorecer constantemente el aprendizaje organizacional.

3. Efectos olvidados en las relaciones de causalidad: una aplicación de las relaciones de implicación borrosas

Al valorar las relaciones de causalidad que se manifiestan en los procesos de las organizaciones empresariales, resulta de utilidad describir su sistema de interacciones, haciendo uso del término *incidencia* para destacar la idea y describir la influencia de un conjunto de entidades (causas) sobre otras entidades (efectos). Los sistemas empresariales, en tanto que son sistemas sociales humanos complejos, se caracterizan por la no linealidad en las relaciones de sus componentes, siendo sus incidencias recursivas. Este hecho es obviado, por simplificación, al reducirse la relación causa-efecto solo a la incidencia directa de una entidad sobre otra e ignorar la auto-causalidad y retroacción del sistema. Un proceso de este tipo puede modelarse empleando las propuestas de Kauffman y Gil Aluja (1989) en su desarrollo de la “Teoría de los efectos olvidados” y en las aplicaciones de Gento, Lazzari y Machado (2001) y Sarasola (2003), recibiendo el nombre de *efectos olvidados* al identificar las incidencias indirectas de primera y segunda generación de las relaciones de causalidad.

La evaluación de la incidencia de una entidad sobre otra tiene un carácter subjetivo y, por tanto, difícilmente medible. Si se conoce el universo de todos los estados probables de esta relación, puede hacerse uso de su distribución de frecuencia probabilística, pero en los ámbitos de toma de decisiones empresariales (con cambios continuos e incertidumbre) es más adecuado describir la relación de incidencia mediante un juicio semántico borroso, asignado por expertos y que evalúe la posibilidad (Kosko, 1995) de la veracidad de la noción de incidencia. Es aceptada comúnmente la propuesta de Kauffman y Gil Aluja (1989) de juicios semánticos para unificar y disponer de un criterio único de evaluación de la veracidad de la incidencia, tal como se presenta en la Tabla 1, que introduce una escala matizada en el intervalo [0,1].

La estructura matemática del modelo, así como las operaciones necesarias, sustentadas en la lógica borrosa (Zadeh, 1965), para definir las relaciones de causalidad y los efectos olvidados, es un desarrollo relativamente sencillo, el cual se describe como sigue:

Sea el conjunto discreto de causas identificadas:

$$C = \{c_1, c_2 \dots c_n\},$$

y el de posibles efectos producidos por estas:

$$E = \{e_1, e_2 \dots e_m\}.$$

Entre ellos se puede definir una relación de implicación borrosa del tipo siguiente:

$$IF C THEN E (si C entonces E),$$

la cual define la matriz de relación de implicación borrosa directa R_{CE} , definida como la matriz resultante del producto cartesiano $C \times E$, cuyos elementos $x(i, j) \in [0,1]$ representan la certeza o la intensidad de la relación de incidencia entre la causa i -ésima, desde $i = 1, n$ y el efecto j -ésimo, desde $j = 1, m$, de acuerdo a las escalas semánticas de la Tabla 1:

Tabla 1

0	Sin incidencia.
0,1	Prácticamente sin incidencia.
0,2	Casi sin incidencia.
0,3	Muy débil incidencia.
0,4	Débil incidencia.
0,5	Media incidencia.
0,6	Considerable incidencia.
0,7	Bastante incidencia.
0,8	Fuerte incidencia.
0,9	Muy fuerte incidencia.
1	La mayor incidencia.

Fuente: adaptada de Kauffman y Gil Aluja, 1989.

Resultando el arreglo matricial:

$$R_{CE} = \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,m} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & x_{2,m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n,1} & x_{n,2} & \dots & x_{n,m} \end{bmatrix}$$

Esta matriz de relación de implicación borrosa permite clarificar las relaciones directas de causa-efecto, las cuales, dado el comportamiento complejo que los sistemas organizacionales presentan, son una simplificación o linealización de sus relaciones, por lo que se debe explorar la auto-causalidad que explique la emergencia de un comportamiento cualitativamente diferente en el sistema, más que la simple relación de aportación directa.

Entre los componentes (intrarelaciones) de los conjuntos $C = \{c_1, c_2 \dots c_n\}$ y $E = \{e_1, e_2 \dots e_m\}$ existen entonces relaciones de incidencia representadas por las matrices R_{CC} y R_{EE} , definidas a partir de los productos cartesianos $C \times C$ y $E \times E$, respectivamente, que modifican la relación de implicación directa a través de las relaciones que se expresan como:

$$R_{CC} = \begin{bmatrix} c_{1,1} & c_{1,2} & \dots & c_{1,n} \\ c_{2,1} & c_{2,2} & \dots & c_{2,n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ c_{n,1} & c_{n,2} & \dots & c_{n,n} \end{bmatrix},$$

donde los elementos $c(i, j) \in [0,1]$ representan la certeza o la intensidad de la relación de auto-incidencia entre las causas i -ésima y j -ésima, mientras que la relación:

$$R_{EE} = \begin{bmatrix} e_{1,1} & e_{1,2} & \dots & e_{1,m} \\ e_{2,1} & e_{2,2} & \dots & e_{2,m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{m,1} & e_{m,2} & \dots & e_{m,m} \end{bmatrix}$$

expresa en sus elementos $e(i, j) \in [0,1]$ la certeza o la intensidad de la relación de auto-incidencia entre los efectos i -ésimo y j -ésimo.

Para la obtención de una nueva matriz que exprese las incidencias acumuladas entre el conjunto de causas y sus efectos y que, por tanto, englobe la información tanto directa como indirecta de esta relación de causalidad, se efectúa la convolución max-min, que se representa con el símbolo \circ , quedando las expresiones:

$$R_{CE}^1 = R_{CC} \circ R_{CE},$$

$$R_{CE}^2 = R_{CE}^1 \circ R_{EE},$$

donde: R_{CE} es la relación de implicación borrosa directa (causa \rightarrow efecto) dada;

R_{CC} es la relación de auto-incidencia causa \rightarrow causa;

R_{EE} es la relación de auto-incidencia efecto \rightarrow efecto;

R_{CE}^1 y R_{CE}^2 son las relaciones de implicación borrosas (causa \rightarrow efecto) de primera y segunda generación.

También la relación de implicación borrosa de segunda generación puede expresarse como:

$$R_{CE}^2 = R_{CC} \circ R_{CE} \circ R_{EE}.$$

La operación de convolución ‘ \circ ’ es semejante a la multiplicación de matrices, haciendo uso de los operadores de la *lógica borrosa* “AND” (para la multiplicación) y “OR” (para la suma). Para la obtención de la relación de implicación de primera generación, se aplica la expresión lógica utilizando la t-norma “min” para el operador “AND” y la t-conorma “max” para el “OR”, respectivamente, obteniendo la expresión:

$$r_{i,j}^1 = \max \left[\min \{c_{i,1}, x_{1,j}\}, \min \{c_{i,2}, x_{2,j}\}, \dots, \min \{c_{i,n}, x_{n,j}\} \right] \quad (1)$$

Por tanto, resulta:

$$R_{CE}^1 = \begin{bmatrix} c_{1,1} & c_{1,2} & \cdots & c_{1,n} \\ c_{2,1} & c_{2,2} & \cdots & c_{2,n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ c_{n,1} & c_{n,2} & \cdots & c_{n,n} \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \cdots & x_{1,m} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \cdots & x_{2,m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n,1} & x_{n,2} & \cdots & x_{n,m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{1,1}^1 & r_{1,2}^1 & \cdots & r_{1,m}^1 \\ r_{2,1}^1 & r_{2,2}^1 & \cdots & r_{2,m}^1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n,1}^1 & r_{n,2}^1 & \cdots & r_{n,m}^1 \end{bmatrix}$$

De este modo, los elementos $r_{i,j}^1$ conforman la matriz de n filas y m columnas que expresa la incidencia conjunta de las interrelaciones causales sobre los efectos.

Esta nueva relación modifica la obtenida de forma directa. Considerando el caso trivial, cuando cada causa produce un solo efecto y la matriz R_{CE} es cuadrada con los elementos diferentes de cero solo en la diagonal principal, se tiene que R_{CE} no sufre modificación alguna si R_{CC} es una matriz unitaria (o sea, cada causa incide solo en ella misma). Cuando un elemento $c_{i,j}$ de R_{CC} es diferente de cero, el elemento $r_{i,j}^1$ de R_{CE}^1 cambia por un nuevo elemento, cuyo valor es:

- igual a $x_{i,j}$ de R_{CE} , si $c_{i,j} \geq x_{i,j}$;
- igual a $c_{i,j}$ de R_{CC} , si $c_{i,j} < x_{i,j}$.

La matriz de relación de implicación borrosa de segunda generación, R_{CE}^2 , se obtiene por similar procedimiento: expresando con los elementos $r_{i,j}^2$ la evaluación global de las incidencias causales y la retroacción de los efectos sobre sí mismo.

Igual que en R_{CC} , la matriz unitaria R_{EE} no produce modificaciones en la relación R_{CE}^1 . Cuando R_{CE}^1 tiene un elemento $r_{i,j}^1$ diferente de cero, en la casilla similar $r_{i,j}^2$ de R_{CE}^2 aparece un elemento nuevo, cuyo valor es:

- igual a $r_{i,j}^1$ de R_{CE}^1 , si $e_{i,j} \geq r_{i,j}^1$;
- igual a $e_{i,j}$ de R_{EE} , si $e_{i,j} < r_{i,j}^1$.

Para obtener la *matriz de incidencias indirectas* (también denominada *de los efectos olvidados*) en los análisis de causalidad, S_{EO}^2 , se procede, para obtener cada uno de los elementos, mediante la expresión:

$$s_{i,j} = r_{i,j}^2 - x_{i,j}.$$

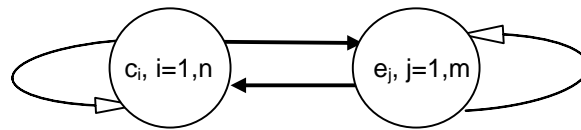
Esta matriz pone al descubierto efectos que los expertos no toman en cuenta al valorar las relaciones del proceso que se indaga; porque, al descomponerlo en sus partes componentes y valorar, en un proceso de linealización, solo las incidencias directas de una relación única y directa del tipo $c \rightarrow e$ (las causas inciden sobre los efectos), desconocen las incidencias $c \rightarrow c$ (las causas inciden sobre ellas mismas) y $e \rightarrow e$ (los efectos inciden sobre sí mismos).

La representación gráfica del universo de incidencias, que se manifiestan en las relaciones de causalidad del proceso bajo indagación, nos permite visualizar la red de relaciones que se establece entre los diferentes componentes del sistema, representando en los nodos a los componentes actuantes y a través de las aristas, la intensidad de sus relaciones evaluadas por las matrices de relaciones de implicación borrosa (el valor de la intensidad se guardará como el peso de la arista).

Se representan comúnmente aquellas incidencias cuya membresía sea superior a 0,7 (*bastante incidencia*), pero esta es una decisión que se adecua a los intereses del proceso de indagación. En general, el grafo muestra el aspecto siguiente:

² Esta matriz engloba la información de las incidencias no dadas en la relación de implicación directa R_{CE}^1 .

Figura 1. Representación esquemática del grafo ponderado de incidencias de causalidad.



Fuente: elaboración propia.

4. Estudio de caso. Efectos olvidados en la evaluación del impacto de la capacitación en los resultados organizacionales

Cuba, en general (y la ciudad de Camagüey, en particular), cuenta con un rico patrimonio de singulares valores culturales, paisaje urbano tradicional e historia. Desarrolla una importante actividad turística que mantiene una relación de atracción entre los valores turísticos gestionados por la comunidad receptora y las necesidades turísticas de los mercados emisores, caracterizados por motivaciones de índole cultural. Entre estos se han establecido, tras un adecuado proceso de comercialización, importantes flujos de visitantes e intercambios de significados turísticos entre estos y las comunidades.

Las tendencias actuales del turismo apuntan a una transición desde el modelo masivo de consumo hacia un modelo más individualizado, especializado y participativo del turista, que va desde la conformación de su viaje (*e-carta*) hasta el viaje de experiencia vivida de forma libre (Martín, 2003). Dado este nuevo y emergente escenario del desarrollo de la actividad turística en este territorio se requiere, en un mercado cada vez más globalizado y competitivo, la diferenciación y mejora de los productos turísticos con una creciente aportación en el valor de los servicios turísticos del conocimiento y las habilidades de los empleados (Beltrán, 2002).

Las autoridades encargadas del desarrollo local del turismo en la ciudad de Camagüey y los gestores de las empresas turísticas han apostado por una estrategia de capacitación apoyada por las universidades y escuelas turísticas, encargando a estas, además, el estudio del impacto que esta estrategia va obteniendo en su aplicación.

El Hotel Ensueños (de cuatro estrellas) de la cadena hotelera Islaverde, tomado como caso de estudio para la validación de este procedimiento, ha definido, como parte de su proceso estratégico con horizonte temporal al 2009, los objetivos que anualmente actualiza, en correspondencia con el comportamiento de sus escenarios. Para el periodo 2007 definió un

sistema de objetivos de trabajo con sus indicadores de consecución. La síntesis de los enunciados estratégicos de los objetivos de trabajo para este periodo se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Objetivos de trabajo del año 2007.

Orden	Descripción
O1	Desarrollo del comportamiento ético y del compromiso social y ambiental.
O2	Calidad del producto turístico como elemento diferenciador.
O3	Diversificación de la comercialización en los mercados emergentes.
O4	Gestión económico-financiera eficientemente superior.
O5	Perfeccionamiento del sistema integrado de gestión empresarial.
O6	Informatización de los procesos operacionales y tecnológicos.

Fuente: elaboración propia.

Como vía general para favorecer que se logren los objetivos organizacionales en la empresa turística, se desarrollaron múltiples acciones para enriquecer el capital humano desde la perspectiva cognitiva (tanto de sus habilidades como de su motivación), todas las cuales se pudieron sistematizar en las acciones de capacitación de la Tabla 3.

Tabla 3. Acciones de capacitación desarrolladas.

Orden	Descripción
A1	Tendencias de la hotelería moderna competitiva.
A2	Papel de los recursos humanos en la nueva economía.
A3	Seminario del sistema de gestión medioambiental ISO 14 001.
A4	Seminario del sistema de calidad ISO 9 001.
A5	Sistema HACCP.
A6	Herramientas en la lucha contra la corrupción administrativa.
A7	Postgrado “Análisis de los Estados Financieros y el Control Interno”.
A8	La estrategia empresarial en ambientes de incertidumbre.
A9	Tendencia en la logística mundial
A10	Informática avanzada.

Fuente: elaboración propia.

Se define el conjunto *A* como el conjunto de acciones realizadas en la organización para la preparación y desarrollo del capital humano y el conjunto *O* como el de objetivos organizacionales estratégicos, siendo necesario evaluar el impacto que ha tenido el fomento del capital humano a través de la capacitación sobre los resultados organizacionales.

Según el modelo matemático de la investigación de los efectos olvidados expuesto, para la evaluación de la influencia de las actividades de capacitación sobre los resultados de la

organización, se debe valorar cuantitativamente el impacto de la capacitación sobre el cumplimiento de los objetivos, aplicando la relación de implicación borrosa directa R_{CE} a partir de la siguiente pregunta a los expertos: ¿en qué grado la acción de capacitación de la fila i ha incidido en el cumplimiento del objetivo de la columna j ? (aplicando la escala de juicios de valor semántico indicada en la Tabla 1). En la matriz R_{CE} (fórmula 2) se representan los resultados de la evaluación realizada en este ejemplo de caso de estudio, mostrando solo aquellas incidencias superiores a una incidencia de grado *considerable* ($>0,6$).

$$\begin{array}{r}
 A \chi O \quad O_1 \quad O_2 \quad O_3 \quad O_4 \quad O_5 \quad O_6 \\
 A_1 \quad - \quad - \quad - \quad - \quad 0,7 \quad 0,7 \\
 A_2 \quad 0,8 \quad 0,8 \quad 0,7 \quad 0,8 \quad 0,8 \quad - \\
 A_3 \quad 0,9 \quad 0,7 \quad - \quad - \quad - \quad - \\
 A_4 \quad - \quad 0,8 \quad - \quad - \quad 0,7 \quad - \\
 R_{CE} = A_5 \quad 0,7 \quad 0,8 \quad 0,7 \quad - \quad 0,7 \quad - \\
 A_6 \quad 0,7 \quad - \quad - \quad - \quad 0,7 \quad - \\
 A_7 \quad - \quad - \quad - \quad 0,8 \quad - \quad 0,7 \\
 A_8 \quad 0,7 \quad 0,7 \quad 0,7 \quad 0,7 \quad 0,7 \quad 0,7 \\
 A_9 \quad - \quad 0,7 \quad - \quad - \quad 0,7 \quad - \\
 A_{10} \quad - \quad - \quad - \quad 0,7 \quad 0,7 \quad 1
 \end{array} \quad (2)$$

La incidencia borrosa detectada mediante las relaciones de implicación de la matriz R_{CE} (fórmula 1) solo expresa la incidencia directa, donde se destaca en este caso de estudio que la acción de capacitación “ A_2 ” (véase Tabla 3) ha incidido de forma “fuerte” o al menos “bastante” en los resultados de la organización en cuanto a los objetivos “ O_1 , O_2 , O_3 , O_4 y O_5 ” (véase Tabla 2). Similar comportamiento muestran las acciones A_5 y A_8 , mientras que las acciones de capacitación A_1 , A_3 , A_4 , A_6 , A_7 , A_9 y A_{10} han tenido escasa incidencia sobre los objetivos organizacionales.

Para conocer las relaciones de incidencia que se pueden dar entre los elementos del conjunto A , se determina la relación de incidencia en la matriz de implicación borrosa R_{CC} a partir de la pregunta a los expertos: ¿en qué grado la acción de capacitación de la fila i ha incidido en la acción de capacitación de la columna j ? (aplicando la escala de juicios de valor semántica indicada en la Tabla 1). En la matriz R_{CC} (fórmula 3) se representan los resultados de la evaluación realizada en este ejemplo de caso de estudio, mostrando solo aquellas incidencias superiores a una incidencia de grado *considerable* ($>0,6$).

$$R_{CC} = \begin{matrix}
A \setminus A & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 & A_5 & A_6 & A_7 & A_8 & A_9 & A_{10} \\
A_1 & 1 & - & - & 0,7 & 0,7 & - & - & 0,8 & - & - \\
A_2 & 0,8 & 1 & - & 0,7 & - & - & - & 0,7 & - & - \\
A_3 & - & - & 1 & - & 0,8 & - & - & 0,7 & 0,7 & - \\
A_4 & 0,7 & - & - & 1 & 0,8 & - & - & 0,7 & - & - \\
A_5 & 0,8 & - & 0,7 & 0,7 & 1 & - & - & - & - & - \\
A_6 & - & 0,7 & - & - & - & 1 & 0,8 & - & 0,7 & - \\
A_7 & - & - & - & - & - & 0,8 & 1 & 0,7 & 0,7 & 0,7 \\
A_8 & 0,9 & 0,8 & 0,7 & 0,8 & 0,7 & 0,7 & 0,7 & 1 & 0,7 & 0,7 \\
A_9 & - & - & - & - & - & - & - & 0,7 & 1 & - \\
A_{10} & - & - & - & - & - & - & - & 0,7 & - & 1
\end{matrix} \quad (3)$$

La auto-incidencia borrosa detectada mediante las relaciones de implicación de la matriz R_{CC} (fórmula 3) expresa el reforzamiento de la causalidad y aporta, respecto a los enfoques tradicionales, la posibilidad de indagar en el comportamiento sistémico y la emergencia de un resultado que difiere del aporte dado solo por sus partes componentes.

La relación global de incidencia, que explica el impacto de las acciones realizadas sobre los resultados organizacionales y revela el carácter de las relaciones que favorecen la emergencia del comportamiento estratégico de la organización, se obtiene a partir de la relación de implicación que considera los efectos olvidados de primera generación R_{CE}^1 , obtenida mediante la convolución de las matrices R_{CE} (fórmula 2) y R_{CC} (fórmula 3), aplicando la regla lógica borrosa descrita en (1).

$$R_{CE}^1 = \begin{bmatrix}
1 & - & - & 0,7 & 0,7 & - & - & 0,8 & - & - \\
0,8 & 1 & - & 0,7 & - & - & - & 0,8 & - & - \\
- & - & 1 & - & 0,8 & - & - & 0,7 & 0,7 & - \\
0,7 & - & - & 1 & 0,8 & - & - & 0,7 & - & - \\
0,8 & - & 0,7 & 0,7 & 1 & - & - & - & - & - \\
- & 0,7 & - & - & - & 1 & 0,8 & - & 0,7 & - \\
- & - & - & - & - & 0,8 & 1 & 0,7 & 0,7 & 0,7 \\
0,9 & 0,8 & 0,7 & 0,8 & 0,7 & 0,7 & 0,7 & 1 & 0,7 & 0,7 \\
- & - & - & - & - & - & - & 0,7 & 1 & - \\
- & - & - & - & - & - & - & 0,7 & - & 1
\end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix}
- & - & - & - & 0,7 & 0,7 \\
0,8 & 0,8 & 0,7 & 0,8 & 0,8 & - \\
0,9 & 0,7 & - & - & - & - \\
- & 0,8 & - & - & 0,7 & - \\
0,7 & 0,8 & 0,7 & - & 0,7 & - \\
0,7 & - & - & - & 0,7 & - \\
- & - & - & 0,8 & - & 0,7 \\
0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,7 \\
- & 0,7 & - & - & 0,7 & - \\
- & - & - & 0,7 & 0,7 & 1
\end{bmatrix} \quad (4)$$

$$R_{CE}^1 = \begin{bmatrix} 0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,7 \\ 0,8 & 0,8 & 0,7 & 0,8 & 0,8 & 0,7 \\ 0,9 & 0,8 & 0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,7 \\ 0,7 & 0,8 & 0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,7 \\ 0,7 & 0,8 & 0,7 & - & 0,7 & 0,7 \\ 0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,8 & 0,7 & 0,7 \\ 0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,8 & 0,7 & 0,7 \\ 0,8 & 0,8 & 0,7 & 0,8 & 0,8 & 0,7 \\ 0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,7 \\ 0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,7 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

La matriz R_{CE}^1 (fórmula 5) muestra las incidencias acumuladas de primera generación, aportando nueva información acerca de las relaciones de causalidad, información que estaba oculta o ignorada en la relación R_{CE} (fórmula 2) y que ha sido develada al considerar las relaciones intercausales. Este aporte puede ser cuantificado a partir de la expresión $s_{i,j} = r_{i,j}^1 - x_{i,j}$, resultando:

$$s_{i,j} = \begin{bmatrix} 0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,7 & - & - \\ - & - & - & - & - & 0,7 \\ - & 0,1 & 0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,7 \\ 0,7 & - & 0,7 & 0,7 & - & 0,7 \\ - & - & - & - & - & 0,7 \\ - & 0,7 & 0,7 & 0,8 & - & 0,7 \\ 0,7 & 0,7 & 0,7 & - & 0,7 & - \\ 0,8 & 0,1 & - & 0,1 & 0,1 & - \\ 0,7 & - & 0,7 & 0,7 & - & 0,7 \\ 0,7 & 0,7 & 0,7 & - & - & - \end{bmatrix}$$

La representación mediante el grafo permite esclarecer en el entramado de relaciones causa-efecto aquellas de mayor densidad de aristas, teniendo en cuenta el número de conexiones por nodo y su intensidad, resultando una red de interacción global que, al destacar aquellas de al menos una “fuerte incidencia”, toma la estructura que se muestra en la Figura 2.

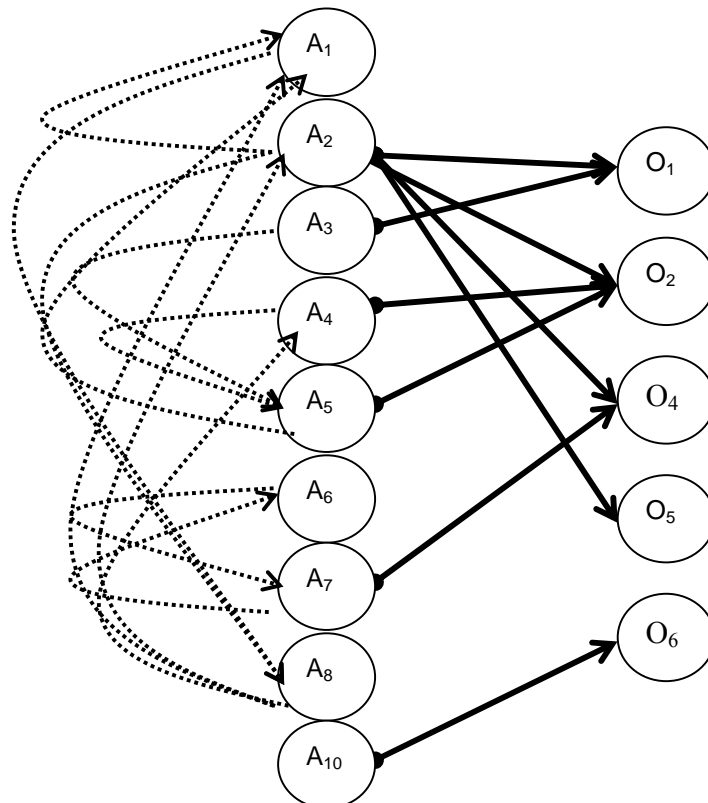
Este grafo permite hacer una lectura más adecuada de las relaciones que se establecen. Por ejemplo, se destaca, entre otras posibles conclusiones, que:

- Los seminarios de las normas ISO 14000 de gestión ambiental (A_3) y de las normas ISO 9000 de la gestión de la calidad (A_4) han reforzado la efectividad de la preparación sobre el Sistema HACCP (A_5) en su impacto sobre los resultados en el objetivo

estratégico organizacional de diferenciación del producto turístico sustentado en la calidad (O_2).

- La preparación recibida acerca de la estrategia empresarial en ambientes de incertidumbre (A_8) refuerza el impacto que la concienciación del papel de los recursos humanos en la nueva economía (A_2) ha tenido sobre los objetivos estratégicos de: calidad del producto turístico como elemento diferenciador (O_2), diversificación de la comercialización en los mercados emergentes (O_3), gestión económico-financiera eficientemente superior (O_4) y perfeccionamiento del sistema integrado de gestión empresarial (O_5).
- Similares valoraciones ofrecen las rutas del grafo: A_8, A_4, O_2 y A_6, A_7, A_4 .

Figura 2. Grafo de incidencias de la causalidad *capacitación-objetivos*, para valores de incidencia de grado $\geq 0,8$ (*fuerte incidencia, muy fuerte incidencia y la mayor incidencia*).



Fuente: elaboración propia.

La evaluación de las relaciones de causalidad aportada por el modelo de efectos olvidados aplicado al estudio de los impactos de la capacitación sobre las metas organizacionales,

demuestra que, más que una relación directa y lineal entre ambos, se requiere una relación donde se manifiesta la influencia del autoreforzamiento causal dado por el carácter sistémico del conjunto de acciones de capacitación, convirtiéndose el aporte de sus relaciones internas en una fuente de no linealidades.

5. Conclusiones

El comportamiento de las organizaciones empresariales, caracterizado por el rumbo estratégico y sus indicadores enunciados en objetivos, demanda desarrollar capacidades cognitivas y de habilidades de su capital humano, como contribución a que se favorezca el logro de sus metas organizacionales. La actuación mediante la implementación de un grupo de acciones de capacitación es una de las vías para lograr estos fines, siendo necesario valorar su impacto.

Al valorar los efectos olvidados que se manifiestan en un sistema de acciones de capacitación sobre una organización, se ponen al descubierto relaciones de causalidad que los enfoques lineales tradicionales ignoran al privilegiar en los modelos, fundamentalmente, los efectos de los componentes sobre el todo, en menoscabo de la valoración de las relaciones que se manifiestan entre los componentes de ese sistema.

El procedimiento propuesto y desarrollado a partir de la aplicación de la teoría de los efectos olvidados de Kaufman y Gil Aluja, permite la evaluación de los efectos olvidados en las relaciones de un sistema de acciones de capacitación y profundizar en las relaciones de causalidad que se manifiestan entre las acciones de ese sistema, que tienen como fin influir en la mejora de los resultados de una organización, facilitando a los gestores la toma de decisiones para el perfeccionamiento de estos procesos y la evaluación de su efectividad o impacto.

Al aplicar en una organización este procedimiento, se pudo demostrar que las acciones más interdependientes impactan o tienen una mayor incidencia sobre los resultados organizacionales medidos a través del cumplimiento de sus metas. La efectividad o el impacto de las acciones de capacitación sobre la organización se corresponde con el comportamiento sistémico de estas y serán favorecidos en la medida en que actúen de forma interrelacionada y mutuamente condicionada, por lo que no solo es importante el efecto causado por ellas, sino que además es necesario estimular, desde la concepción del programa de intervención, la complementariedad e interconectividad de las diferentes acciones de capacitación.

Bibliografía

- BELTRÁN, L.C. *et al.* 2002. Diseño y Comercialización de Productos Turísticos. *Ed. Universitaria*. Colombia.
- CABRERA, K. 2001. Evaluación de Impacto de la Capacitación. Herramientas para una gestión efectiva de la capacitación. *Ed. Universidad Santo Tomás*. Chile.
- CUADRADO, J.R.; MANCHA, T.; GARRIDO, R. 1997. Estrategia y coherencia de un Programa de Desarrollo Regional. *XXIII Reunión de Estudios Regionales*. Valencia, España.
- DIEGOLI, S. 2003. El comportamiento de los grupos pequeños de trabajo bajo la perspectiva de la complejidad. *Tesis en la opción al grado científico de Doctor en Ciencia. Universidad de Barcelona*. Barcelona, España.
- GENTO, A.; LAZZARI, L.; MACHADO, E. 2001. Reflexiones acerca de las matrices de incidencia y la recuperación de efectos olvidados. Cuaderno n°4. *CIMBAGE*. Buenos Aires, Argentina.
- GODET, M. 2000. La caja de herramientas de la prospectiva estratégica. 4ª ed. *Gerpa*. Francia.
- GOLDSTEIN, J. 1997. Organizations as Nonlinear Systems: Implications for Managers. *School of Management and Business. Adelphi University*. New York, USA. [En línea. Consultado el 12 de agosto del 2007]. Disponible en <http://www.psychomedia.it/pm/science/nonlin/front/goldlec2.htm>
- KAUFMANN, A.; GIL ALUJA, J. 1989. Modelos para la investigación de efectos olvidados. *Ed. Milladoiro*. España.
- KAUFMANN, A.; GIL ALUJA, J. 1995. Grafos neuronales para la economía y la gestión de empresas. *Ed. Pirámide*. Madrid, España.
- KIEL, L.D.; ELLIOT, E. 2000. Chaos Theory in the Social Science. Foundations and Applications. *Ed. University Michigan Press*. USA.
- KOSKO, B. 1995. Pensamiento Borroso. La nueva ciencia de la lógica borrosa. *Crítica*. Barcelona, España.

MARTÍN, R. 2003. El desarrollo de productos turísticos: perfeccionamiento de los estudios de concepto y diseño. *Tesis para optar por el título de Master en Gestión Turística. Universidad de la Habana*. La Habana, Cuba.

NAVARRO, J. 2000. Las Organizaciones como Sistemas Abiertos Alejados del Equilibrio. La Organización como Sistema Dinámico Complejo. *Tesis en la opción al grado científico de Doctor en Ciencia. Universidad de Barcelona*. Barcelona, España.

PÉREZ, M. 2004. Instrumento para la definición de políticas de desarrollo local. *Tesis de opción al grado científico de Doctor en Ciencia. Universidad de Camagüey*. Camagüey, Cuba.

RODRÍGUEZ, J.M. 2004. Estudio de Competitividad de la oferta turística del destino Las Tunas. *Tesis para optar por el título de Master en Dirección. Universidad de Camagüey*. Camagüey, Cuba.

SARASOLA, M. 2003. Efectos olvidados en el diseño de una campaña proselitista. *Revista Científica Visión de Futuro*. Vol. 1, n°1, pp. 24–35.

SECTUR. 2002. Competitividad y desarrollo de productos turísticos exitosos. *Serie de documentos técnicos en competitividad*. México.

SNOWDEN, D.; STANBRIDGE, M. 2004. The Landscape of Management: Creating the Context for Understanding Social Complexity. *E:CO Special Double Issue*. Vol. 6, n°s .1–2, pp. 140–148.

SOTOLONGO,P.; DELGADO,C. 2005. La revolución contemporánea del saber y la complejidad social. Hacia unas ciencias sociales de nuevo tipo. *CLACSO*. Argentina. [En línea. Consultado el 22 de Octubre del 2007]. En: <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/grupos/soto/pres.pdf>

STACEY, R. 2000. Complexity and Management: ¿Fad or Radical Challenge? (Complexity In Organisations). *Routledge*.

ZADEH, L. 1965. Fuzzy Sets. *Inf. Contr.* 1965, n°8, pp. 338–353.

ZUVANIC,L.; BECCIO,B. 2004. Evaluando el impacto de la capacitación: una visión cualitativa. [En línea. Consultado en marzo del 2007]. Disponible en <http://www.clad.org.ve/anales4/beccio.html>

Consecuencias del efecto Bullwhip según distintas estrategias de gestión de la cadena de suministro: modelado y simulación

CAMPUZANO BOLARÍN, FRANCISCO

Departamento de Economía de la Empresa

Universidad Politécnica de Cartagena

Correo electrónico: Francisco.campuzano@upct.es

LARIO ESTEBAN, FRANCISCO CRUZ

Departamento de Organización de Empresas

Universidad Politécnica de Valencia

Correo electrónico: fclario@omp.upv.es

ROS McDONNELL, LORENZO

Departamento de Economía de la Empresa

Universidad Politécnica de Cartagena

Correo electrónico: Lorenzo.ros@upct.es

RESUMEN

El efecto Bullwhip es uno de los principales causantes de las inestabilidades en el proceso de gestión de demanda que se producen a lo largo de la cadena de suministro. El presente artículo expone un modelo capaz de recrear diferentes escenarios para la gestión de demanda en una cadena de suministro determinada, con independencia del número de niveles definidos en la cadena de suministro considerada.

El modelo, realizado utilizando la metodología de la dinámica de sistemas, incorpora las variables necesarias para simular dicho proceso de gestión de demanda, como por ejemplo: niveles de inventario, órdenes de reabastecimiento, fabricación, previsiones u otras.

Se muestra la utilidad del modelo propuesto, comparando los resultados que ofrecen dos escenarios diferentes, como son los representados por una *cadena tradicional* y el de una *cadena reducida*.

Palabras clave: efecto Bullwhip; dinámica de sistemas; diagrama de Forrester.

Clasificación JEL: C51; C52; C67.

2000MSC: 91B74; 91B62; 82C70.

Bullwhip Effect Consequences according to Different Supply Chain Management Strategies: Modelling and Simulation

ABSTRACT

The Bullwhip effect is one of the main causes of instability in the management demand process along the Supply Chain. We introduce a model which is able to reproduce different Supply Chain Management Scenarios within a determinate Supply Chain with whichever the levels of this one.

The model has been built using Systems Dynamics Methodology and incorporates the main variables which are required for simulating the Management Demand Process (Inventory levels, Replenishment orders, manufacturing process, forecasting etc.).

This paper demonstrates the utility of the proposed model comparing the results offered by two different scenarios namely *Traditional supply chain* and *Reduced supply chain*.

Keywords: Bullwhip effect; systems dynamics; Forrester diagram.

JEL classification: C51; C52; C67.

2000MSC: 91B74; 91B62; 82C70.



1. Introducción

En una cadena de suministro, los fabricantes, intermediarios comerciales, transportistas, proveedores y organismos oficiales deberán participar y colaborar con el objeto de entregar los productos de forma rápida y eficaz, de modo que el dinero fluya a través de la economía. Una cadena de suministro optimizada, supone mejoras de eficiencia que pueden reducir las necesidades de inventario, ahorrar costes de transporte y otros gastos de distribución, acelerar el flujo de caja y reforzar el área de gestión de cobros.

Forrester (1958), analizando una cadena de suministro, los distintos niveles existentes en la misma, así como las empresas participantes y el papel que cada una de ellas participa en el conjunto global de la citada cadena, observó que un pequeño cambio en el patrón de demanda de un cliente se magnificaba según fluía a través de los procesos de distribución, producción y aprovisionamiento. En cada nivel, esta desviación se amplificaba. Este efecto es conocido como el *efecto Forrester* y es uno de los indicadores de eficacia de la cadena de suministro. Esa amplificación se debía, según Forrester, a los problemas derivados de la existencia de tiempos de suministro (“non zero lead times”) y a la inexactitud de las previsiones realizadas por los diferentes miembros de la cadena ante la variabilidad de la demanda. Más tarde, Lee *et al.* (1997) identifican que la distorsión de la demanda con respecto a las ventas debida al efecto Forrester se amplifica aún más debido a los siguientes efectos que pueden darse incluso de forma simultánea en la cadena de suministro: la lotificación de pedidos, la fluctuación de los precios de los productos y al racionamiento y escasez de productos terminados. La distorsión en la demanda de productos que la combinación de estos cuatro elementos produce, distorsión que va aumentando según nos separamos del consumidor final y nos adentramos en la cadena de suministro (“aguas arriba de la cadena de suministro”), se denomina *efecto Bullwhip*.

El flujo de información entre cada uno de los integrantes de una determinada cadena de suministro es aprovechada de forma diferente según la estructura de la cadena. Sterman (1989) muestra que la información utilizada en una cadena de suministro tradicional se deteriora (es menos exacta) según se transmite entre los diferentes escalones de la cadena a causa de errores en previsiones, malas comunicaciones, desconfianza entre los miembros de la cadena etc. Considerando este aspecto, fundamental sobre la calidad de la información, existen diversas estrategias de gestión de la cadena de suministro (Disney *et al.*, 2004), basadas algunas de ellas en el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones, que pretenden paliar el uso de información deteriorada e imprecisa entre los integrantes de la cadena. En Particular, Disney *et al.* (2004) citan las estrategias EPOS (Electronic Point of Sales), VMI (Vendor Management Inventory), Reducida y E-shopping.

La amplificación que la demanda del cliente final sufre al fluir por cada uno de los niveles que componen la cadena de suministro, representa un problema que ha sido analizado por diversos autores. Las aportaciones de estos autores pueden clasificarse de la siguiente forma:

- Publicaciones dedicadas a la reducción del efecto Bullwhip, que proponen un alisamiento de las órdenes de reabastecimiento o nuevas estructuras colaborativas de intercambio de información entre los miembros de la cadena. Cabe destacar los trabajos de Disney y Towill (2003a, 2003b), Disney *et al.* (2004) y Dejonckheere *et al.* (2004).
- Las publicaciones que enfocan su análisis al efecto de una serie de factores sobre el efecto Bullwhip. Entre estos factores se encuentran los tiempos de suministro variables, la inexactitud en las previsiones y la falta de información entre los integrantes de la cadena. Cabe destacar los trabajos de Chen *et al.* (2000), Chatfield *et al.* (2004) y Hosoda y Disney (2005).

Muchos de estos autores ofrecen modelos analíticos de resultados satisfactorios, aunque la estructura de los modelos desarrollados pueden presentar dificultades metodológicas en su aplicación y un reducido campo de aplicación por la rigidez de las condiciones impuestas, como la de centrarse en un solo parámetro (Swaminathan y Tayur, 2003).

En el trabajo que se presenta en este artículo, utilizando la metodología de *Dinámica de Sistemas* (Forrester, 1961), se plantearon los siguientes objetivos (Campuzano, 2006):

- Desarrollo de un modelo que permite, con el soporte de la metodología de la dinámica de sistemas, estudiar el proceso *Gestión de Demanda* a lo largo de una cadena de suministro con independencia del número de niveles de ésta.
- El modelo incorporará las variables necesarias para caracterizar dicho proceso de gestión de demanda (niveles de inventario, órdenes de reabastecimiento, fabricación, previsiones, etc.). A diferencia de otros modelos, en el desarrollado se consideran las restricciones de capacidad, gestión de pedidos pendientes, niveles de servicio, medida del efecto Bullwhip y costes de inventario asociados a cada nivel que se modele. Además, puede ser utilizado con facilidad para recrear diferentes tipos de estrategias de gestión de cadenas de suministro (diferentes escenarios) con el objetivo de medir el impacto de éstas en el proceso de gestión de demanda.

Para este artículo se presentan dos escenarios correspondientes a las cadenas *Tradicional* y *Reducida*, ésta última caracterizada por la eliminación de eslabones (*integrantes*) de la cadena *Tradicional*. Según Disney *et al.* (2004) y, anteriormente, Wikner *et al.* (1991), la indeseada variabilidad de la demanda disminuirá a lo largo de la cadena de suministro según vayan desapareciendo escalones o niveles de la misma, ya que la supresión de cada escalón elimina los tiempos de suministro de materiales e información asociados a éste. Los resultados obtenidos tras la simulación de ambos modelos se compararán a fin de analizar el efecto de esta reducción en la disminución de la variabilidad de la demanda a lo largo de la cadena construida.

2. Construcción del modelo propuesto. Justificación de la metodología utilizada

La metodología utilizada para el modelado y análisis en esta investigación es la Dinámica de Sistemas. Forrester, miembro del MIT (Massachusetts Institute of Technology), creó esta metodología. Su libro “Industrial Dynamics” (1961) puede considerarse como el comienzo de la Dinámica de Sistemas. En dicha publicación, Forrester conecta las teorías de gestión empresarial con los sistemas de control y realimentación de sistemas electrónicos, utilizando la simulación por ordenador. El libro fue, a la vez que aceptado, bastante criticado. A pesar de ello, Forrester publicó más tarde diversos libros relacionados con la nueva metodología, como ‘Principles of Systems’ (1968), ‘Urban Dynamics’ (1969) y ‘World Dynamics’ (1971), que consiguieron que la Dinámica de Sistemas fuera una herramienta reconocida a la hora de modelar sistemas complejos. Desde entonces, diversos autores aplican esta metodología, que se aplica a problemas relacionados con negocios, gestión de empresas y estrategia. Cabe destacar Vennix (1992), Coyle (1996), Sterman (2000) o Barlas (2002).

El objetivo de la Dinámica de Sistemas es examinar la interacción que existe entre varias funciones (procesos físicos, flujos de información, políticas de gestión, etc.) dentro de un sistema, con el fin de facilitar la comprensión del mismo y mejorar la interacción de los componentes de dicho sistema. Los pasos a seguir a la hora de crear el modelo propuesto utilizando la metodología de la Dinámica de Sistemas sigue dos etapas. La primera es la creación del *diagrama causal* y la segunda la creación del *diagrama de flujos*. La Dinámica de Sistemas utiliza el diagrama causal para representar la estructura de un sistema. Los diagramas causales se construyen con variables que se conectan por medio de flechas que representan las relaciones de causa-efecto o influencia entre éstas. A cada relación causa-efecto se le asigna una polaridad, que puede ser positiva (+) o negativa (-), que indica la influencia de la variable dependiente sobre la independiente. El diagrama de Forrester o de flujo es una traducción del diagrama causal a una terminología que permite simular el comportamiento del sistema creado en un ordenador. El programa utilizado para realizar las simulaciones del modelo utilizado para este trabajo será Vensim®. La anterior consideración lleva a una clasificación (Aracil, 1997) de las distintas variables que aparecen en un diagrama de influencias en tres grupos: variables de nivel o estado, variables de flujo y variables auxiliares.

Las variables de nivel reflejan acumulaciones (*inventario en curso, almacén y pedidos pendientes*) son normalmente las variables más importantes y muestran, en cada instante, la situación del modelo. Asociada a cada variable de nivel se encuentran una o varias variables de flujo (por ejemplo, *entrada de productos al almacén, entrega de productos y entrega de productos pendientes*) que determinan su variación a lo largo del tiempo. Por último, las variables auxiliares (por ejemplo, *pedidos en firme y demanda de cliente*) son el resto de las variables que aparecen en el diagrama y representan pasos intermedios para la determinación de las variables de flujo a partir de las variables de nivel. A las variables de nivel y de flujo se asocian unos iconos (*gráficos*), en los que a la variable de nivel se asocia un rectángulo y la de

flujo un icono que recuerda a una válvula, cuya apertura se regula precisamente mediante el flujo que representa esa variable. Las variables auxiliares suelen representarse mediante círculos, aunque no es necesario.

La representación matemática de las variables de nivel y los flujos quedaría expresada por la siguiente ecuación:

$$Acumulación(t) = \int_{t_0}^t [FlujodeEntrada(s) - FlujodeSalida(s)] ds + Acumulación(t_0) \quad (1)$$

Lo que hace diferente a la Dinámica de Sistemas de otras metodologías a la hora del estudio de sistemas complejos es la utilización de bucles de realimentación (cadena cerrada de relaciones causales). Las variables de nivel y de flujo ayudan a describir cómo un sistema está conectado mediante bucles de realimentación, que crean las no-linealidades que se presentan en los complejos problemas diarios. Diferentes programas de ordenador se utilizan para simular los modelos construidos bajo la metodología de la Dinámica de Sistemas. Estos programas permiten el denominado análisis “*Que ocurriría si...*” (del inglés “*What If...*”) para que el investigador pueda testear ciertas políticas y descubrir cómo evoluciona y se comporta el sistema modelado ante tales cambios. Esta metodología permite fácilmente analizar las interdependencias que existen entre las diferentes variables del modelo. En el presente caso se analizarán las consecuencias del aumento de la variabilidad de la demanda a lo largo de la cadena de suministro, centrándose en la distorsión de las órdenes de reabastecimiento y fabricación y aumento de costes de inventario.

2.1. Construcción del modelo causal de un sistema

El conjunto de los elementos que tienen relación con el problema objeto de estudio y permiten, en principio, explicar el comportamiento observado, junto con las relaciones entre ellos, en muchos casos de realimentación, forman el sistema a modelar. El diagrama causal es, como su propio nombre indica, un diagrama que recoge los elementos clave del sistema y las relaciones entre ellos.

2.2. Modelo causal para una cadena de suministro tradicional

Los pasos seguidos, en la creación del diagrama causal para el caso concreto de la cadena de suministro tradicional formada por los niveles *cliente final*, *minorista*, *mayorista* y *fabricante* se basan en las propuestas de Aracil y Gordillo (1997) y Sterman (2000) y son los siguientes:

1) En primer lugar, se realiza una descripción del problema que se desea estudiar. En este caso, el análisis de las causas de la variabilidad de la demanda a lo largo de la cadena de suministro multinivel. El proceso de gestión de la demanda se estudiará para cada uno de los niveles que forman dicha cadena. El efecto que produce la variabilidad de la demanda se

observará en los niveles de *servicio*, *costes de inventario* (pedido, almacén) y *costes por pedidos no servidos a tiempo*.

2) En segundo lugar, se situarán los elementos que tienen influencia con el problema que se desea estudiar. Para la creación del modelo propuesto, se ha utilizado como modelo de referencia APIOBPCS (Automatic Pipeline, Inventory and Order-Based Production Control System) (Jhon *et al.*, 1994). Además, según Berry (1994), el modelo APIOBPCS representa adecuadamente el proceso industrial de gestión de demanda, presenta interesantes características dinámicas y las fases de su funcionamiento son bastante transparentes. Los estudios realizados sobre el efecto Bullwhip utilizando este modelo son los más cercanos a la investigación que se propone. No obstante, con el propósito de acercar más el modelo a la realidad, se han incorporado dos nuevas variables a las que ya propone el modelo APIOBPCS, esto es, *restricciones de capacidad* y *el proceso de gestión de pedidos pendientes* (ver Figura 1).

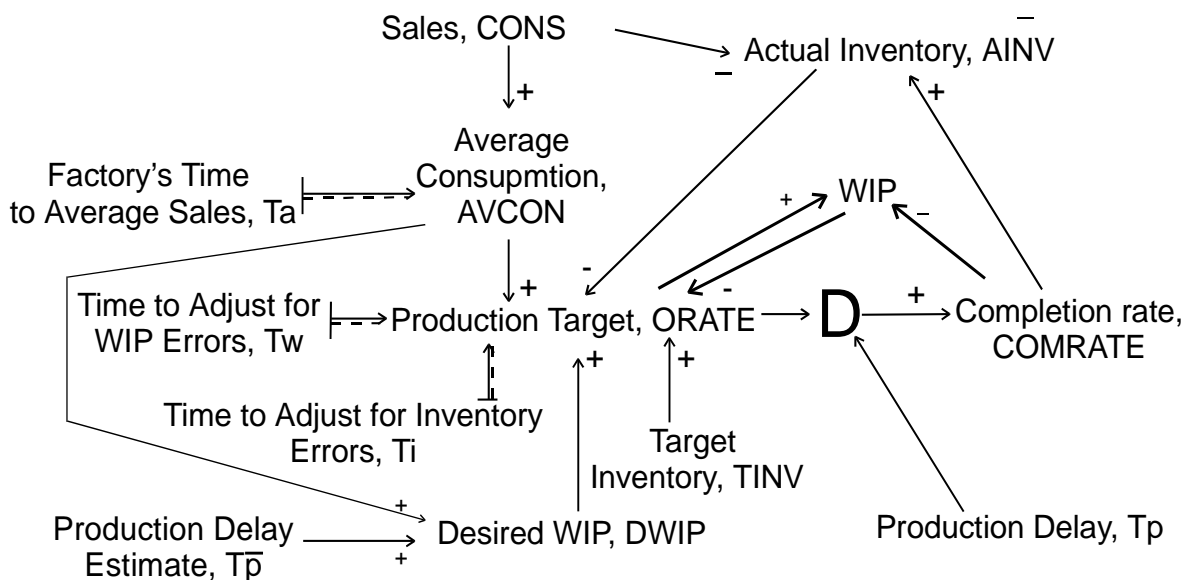


Figura 1. Diagrama causal para el modelo APIOBPCS. Fuente: Disney (2001).

Los elementos considerados para llevar a cabo el diagrama causal de la cadena de suministro elegida, y en base al modelo APIOBPCS, son los siguientes:

a) *La demanda del cliente final y demanda de un nivel hacia el situado inmediatamente "aguas arriba"*.

b) *Los pedidos en firme (tanto para minorista, como mayorista y fabricante)*. Los pedidos en firme constarán de la demanda enviada por el nivel inmediatamente "aguas abajo" del que se esté considerando y los pedidos pendientes del miembro de la cadena que se trate.

Es decir, si el subíndice “*i*” se corresponde con el nivel de la cadena que se esté tratando, D_{i-1} a la demanda del nivel inmediatamente aguas abajo y P_{pi} a los pedidos pendientes del nivel que se esté considerando, los pedidos en firme serán:

$$\text{pedidos en firme } i = D_{i-1} + P_{pi}$$

c) *Los pedidos pendientes (tanto para minorista, como mayorista y fabricante).*

d) *El inventario disponible (tanto para minorista, como mayorista y fabricante).* Este inventario es el que puede encontrarse dentro del almacén y la cantidad disponible del mismo nunca puede ser negativa. Esta cantidad es relevante, ya que permite determinar si la demanda de un determinado cliente puede ser satisfecha directamente desde el almacén.

e) *La previsión de demanda (tanto para minorista, como mayorista y fabricante).* La previsión se ha realizado utilizando lisaje exponencial simple. La fórmula utilizada para realizar las Previsiones utilizando lisaje exponencial es:

$$Y_{t+1} = Y_t + \alpha \cdot (x_t - Y_t) \quad (2)$$

siendo:

Y_{t+1} = previsión para el periodo $t+1$;

X_t = valor real observado en el periodo t ;

α = peso dotado a la previsión más reciente. El valor de α se encuentra entre 0 y 1,

siendo:

$$\alpha = \frac{1}{\text{factor} \cdot \text{ajuste} \cdot \text{previsiones}}.$$

Si α tiende a 1, el reajuste será sustancial. Si α tiende a 0, el reajuste será débil.

f) *El estado de inventario (tanto para minorista, como mayorista y fabricante).* El estado de inventario se define por la siguiente relación (Silver *et al.*, 1998):

$$\begin{aligned} \text{Estado de inventario} = & \text{inventario disponible} + \\ & + \text{inventario pendiente de recibir (o productos en curso)} - \\ & - \text{pedidos pendientes.} \end{aligned}$$

g) *Las órdenes de reabastecimiento (tanto para minorista como mayorista).*

h) *Las órdenes a fábrica (nivel de fabricante).* Tanto las órdenes de reabastecimiento como las órdenes a fábrica se confeccionarán según la política de inventario que se elija para gestionar la demanda. Independientemente de la política que se siga, para el lanzamiento de las mismas se tendrán en cuenta las variables *previsión de demanda, estado de inventario y tiempos de suministro o fabricación.*

La política de control de inventario utilizada en este trabajo es la *Order up to level S* (Silver *et al.*, 1998). Esta política se basa en mantener el estado de inventario dentro de un nivel S . Las órdenes de reabastecimiento o fabricación se enviarán siempre que el estado de inventario caiga por debajo del nivel S . Como ejemplo, se puede hacer S igual a la previsión de demanda durante el tiempo de suministro (D) más la desviación típica de la demanda durante el tiempo de suministro (L) multiplicada por un factor de servicio K (Silver *et al.*, 1998). Así, la orden de reabastecimiento será (1):

$$O_t = D_t + k \cdot \sigma_t - \text{Estado de inventario}_t \quad (3)$$

i) *El tiempo de suministro (mayorista y fabricante).*

j) *Los productos en curso (tanto para minorista, como mayorista y fabricante).* Lo constituyen: por una parte, aquel inventario que ha sido servido y que no llegará a estar disponible hasta que se cumpla el tiempo de suministro estipulado; y, por otra, el inventario que estará disponible en el almacén tras completarse el proceso de fabricación.

k) *La capacidad de fabricación (nivel del fabricante).* Se expresará como el número de unidades que pueden realizarse durante un periodo.

l) *Fabricación (nivel del fabricante).*

m) *Tiempo de fabricación (nivel del fabricante).*

n) *Niveles de servicio (tanto para minorista, como mayorista y fabricante).* El nivel de servicio se definirá como el cociente entre el número de unidades expedidas a los clientes sin retraso y el número total de unidades demandadas por los mismos.

o) *Costes de inventario (almacenamiento y pedido; tanto para minorista, como mayorista y fabricante) y stockout (generados por no servir a tiempo un pedido).*

La participación en el modelo de los elementos descritos variará en función de la cadena de suministro que se modele. En el caso de la cadena de suministro reducida, ésta se construirá únicamente con los niveles del mayorista y el fabricante; es decir, se elimina el nivel del minorista con respecto a la cadena de suministro tradicional.

3) En tercer lugar se definirán, representándose gráficamente, las relaciones o influencias que existen entre ellos. Una vez conocidas globalmente las variables del sistema y las hipotéticas relaciones causales existentes entre ellas, se pasa a la representación gráfica de las mismas. En este diagrama, las diferentes relaciones están representadas por flechas entre las variables afectadas por ellas.

Esas flechas van acompañadas de un signo (+ o -) que indica el tipo de influencia ejercida por una variable sobre la otra. Un signo "+" quiere decir que un cambio en la variable origen de la flecha producirá un cambio del mismo sentido en la variable destino. El signo "-" simboliza que el efecto producido será en sentido contrario. A continuación se presenta el diagrama causal del nivel del minorista para la cadena de suministro tradicional (ver Figura 2).

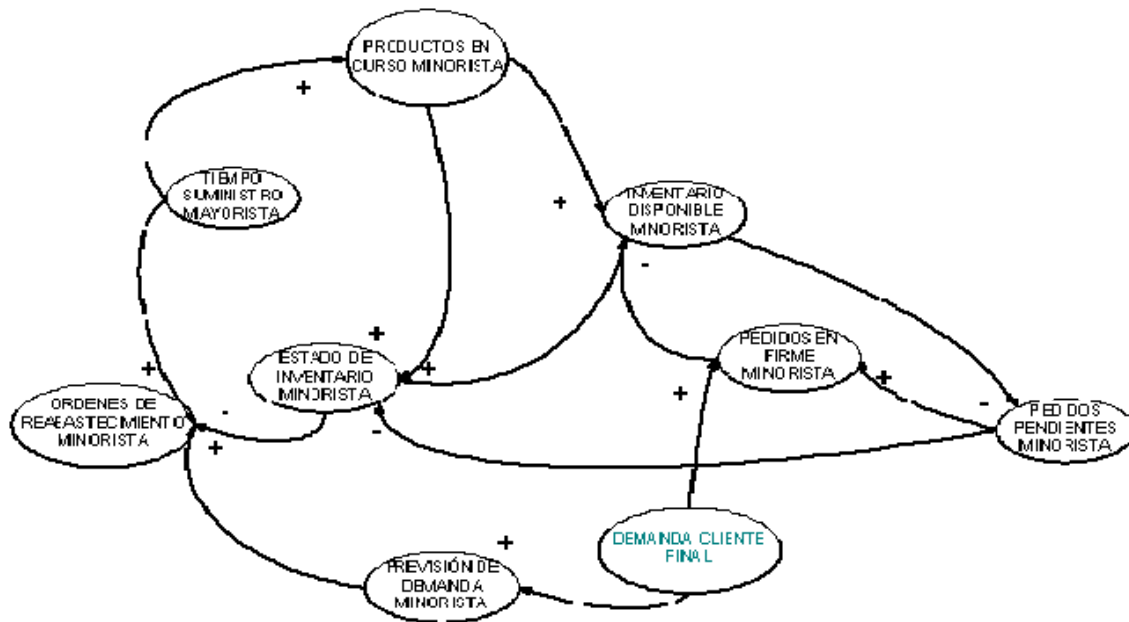


Figura 2. Diagrama causal correspondiente al nivel del minorista.

2.3. Transformación del diagrama causal al diagrama de Forrester

Como ya se expuso, el diagrama de Forrester es una traducción del diagrama causal a una terminología que permite simular el comportamiento del sistema creado en un ordenador. El soporte informático utilizado para realizar las simulaciones del modelo creado es Vensim®. Como ejemplo de la conversión del diagrama causal al de flujos, en el Anexo 1 de este trabajo se presenta el diagrama de flujos del nivel del minorista de la cadena de suministro reducida.

3. Parámetros de evaluación del rendimiento utilizados. Medida del efecto Bullwhip

A fin de medir la eficacia de cada uno de los niveles de que constan los diferentes escenarios simulados, se han introducido en el modelo diferentes variables que permiten analizar el proceso de gestión de demanda desde el minorista hasta el fabricante. Estas variables ya se definieron en el apartado segundo y se corresponden con los niveles de servicio alcanzados en cada nivel y los costes producidos por almacenaje, pedidos y stockout. Conforme con lo expuesto por Chen *et al.* (2000 a y 2000b), se propone, como ratio para medir la distorsión de las órdenes de reaprovisionamiento o fabricación (dependiendo del nivel de la cadena que se considere) con respecto a la demanda del cliente final, el siguiente (4):

$$\text{Bullwhip} = \frac{\text{VARIANZA(ORDENES)}/\text{MEDIA(ORDENES)}}{\text{VARIANZA(DEMANDA)}/\text{MEDIA(DEMANDA)}}$$

$$\text{Bullwhip} = \frac{\sigma_o^2 / \mu_o}{\sigma_d^2 / \mu_d} = \frac{\sigma_o^2}{\sigma_d^2} \quad (4)$$

Nótese que la media podrá eliminarse siempre que se trate de distribuciones idénticamente distribuidas.

4. Viabilidad del modelo realizado. Experimentación

El objeto de este apartado es demostrar la validez del modelo desarrollado como herramienta para simular el proceso de gestión de demanda en cada uno de los diferentes escenarios propuestos y posterior análisis de las variables que caracterizan el comportamiento de la cadena de suministro modelada.

4.1. Diseño del experimento

La cadena de suministro tradicional construida para este trabajo consta, como ya se dijo en el apartado 2.2, de las etapas de cliente final, minorista, mayorista y fabricante. Según Forrester (1958), la falta de comunicación entre cada uno de los integrantes de la cadena construida, así como la existencia de tiempos de suministro, dará lugar a la aparición del efecto Bullwhip. La potencialidad de la herramienta creada deberá permitir visualizar las interdependencias que existen entre cada uno de los elementos de la cadena modelada; por ejemplo, cómo repercuten los pedidos pendientes de un nivel en los adyacentes, produciendo un incremento en la variabilidad de los inventarios y, por lo tanto, en las órdenes de reabastecimiento y en las previsiones. Todo esto se verá reflejado en niveles de servicios y en los costes totales del nivel que se analice. En este trabajo se ha modelado el proceso de gestión de demanda de las cadenas de suministro tradicional y reducida, a fin de comprobar el efecto que produce la eliminación de un escalón tanto en el efecto Bullwhip como en los costes y niveles de servicio asociados al proceso de gestión de demanda.

A continuación se mostrarán algunos de los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas para el modelo creado. Los valores de las variables y de los diferentes parámetros utilizados no se corresponden con ningún caso real, siendo sus valores los siguientes:

- El patrón de demanda elegido se corresponde con una distribución normal. La simulación se realizó durante un periodo de 365 días (suficiente para que el modelo se estabilice).
- El nivel de inventario inicial para cada nivel es de 100 unidades.
- La capacidad del fabricante es de 160 unidades diarias.

- El tiempo de suministro del mayorista al minorista es de 3 días y el tiempo de suministro del fabricante al mayorista es de 2 días. Estos tiempos se suponen constantes para cada pedido recibido, excepto en el caso de stockout.
- El tiempo de fabricación es de 2 días.
- El factor nivel de servicio K para cada nivel es igual a 2.
- El factor de ajuste de las previsiones es igual a $2 \alpha = 0,5$.
- Para el cálculo de los costes producidos por almacenamiento, stockout o pedido (costes de inventario) se han definido los siguientes:
 - Coste por almacenamiento: 0,5 euros unidad/periodo.
 - Coste stockout: 1 euro/pedido no entregado a tiempo.
 - Costes pedido: 0,5 euros/pedido realizado.

4.2. Presentación y discusión del experimento realizado

4.2.1. El efecto Bullwhip en cada nivel

La variación de las órdenes de reabastecimiento o fabricación, con respecto a la demanda real, a lo largo de toda la cadena de suministro tradicional se visualizan en la Figura 3. En esta Figura 3 se puede observar la medida del efecto Bullwhip, para cada nivel, durante todo el periodo.

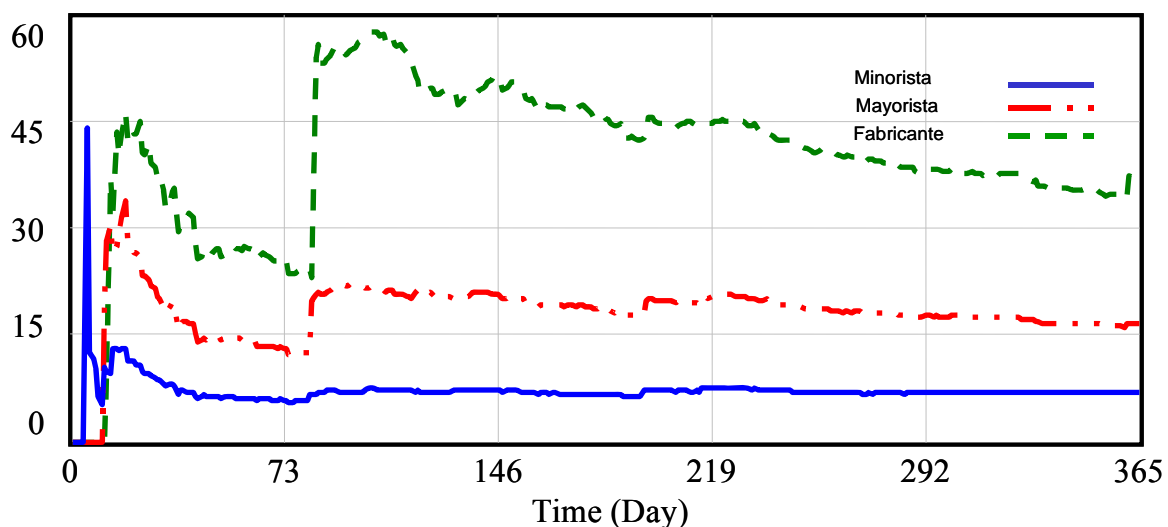


Figura 3. Medida del efecto Bullwhip para cada nivel de la cadena.

La variabilidad de las órdenes de reabastecimiento aumenta según se avanza aguas arriba de la cadena de suministro. Los problemas que acarrea este aumento de la variabilidad de la demanda derivan de la interdependencia existente entre los integrantes de la cadena. Así, el incremento de la variabilidad de las órdenes originará pedidos de tamaños muy dispares, lo que influirá en las previsiones realizadas por cada uno de los integrantes de la cadena. Las órdenes de reabastecimiento con una alta variabilidad darán lugar a previsiones erróneas y los

inventarios de cada nivel no mantendrán en ocasiones un nivel adecuado para hacer frente a posibles picos de demanda. Esta variabilidad del nivel de inventarios dará lugar tanto a costes por stockout como a un aumento de los costes de almacenamiento. La dependencia entre niveles acarrea que no todos acusen los mismos costes. El minorista es el mayor afectado en este caso, ya que por un lado sufre los retrasos en fabricación originados en el nivel del fabricante que acusa una capacidad insuficiente para atender la demanda desde el nivel del mayorista y por otro los tiempos de suministro físicos que existen entre cada nivel. Este hecho se hace patente al observarse los costes por stockout que sufre cada nivel de la cadena modelada. El minorista tiene unos costes por stockout superiores a los del mayorista y el fabricante (ver Figura 4, izquierda).

De la misma forma, los costes de almacenamiento de los niveles del mayorista y del fabricante serán superiores a los obtenidos por el minorista. Como anteriormente se vio, el efecto Bullwhip alcanza los mayores valores en el nivel del fabricante, lo que repercutirá en unos mayores costes de almacenamiento, al recibir éste órdenes de reabastecimiento por parte del mayorista magnificadas respecto de la demanda del cliente final a causa de los tiempos de suministro y de los errores en las previsiones de los niveles situados aguas abajo (ver Figura 4, derecha).

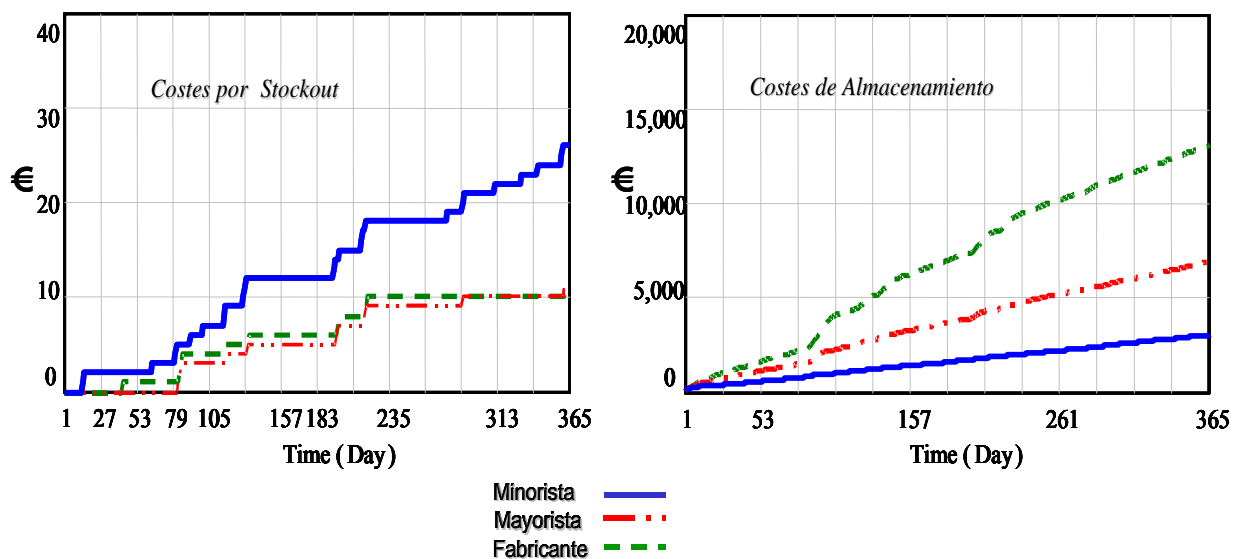


Figura 4. Costes por stockout y almacenamiento para cada nivel de la cadena.

Como puede observarse en la Figura 4, para la totalidad de los niveles de la cadena de suministro modelada, los costes de almacenamiento han resultado ser los más importantes dentro del montante de los costes totales, dado el escaso valor que se le ha dado a los costes por stockout o pedido. En la cadena de suministro reducida se elimina el nivel del minorista con respecto a la cadena tradicional. Al eliminarse el nivel del minorista, tanto los tiempos de suministro como las previsiones asociadas a este nivel desaparecen, lo que origina que el efecto Bullwhip se reduzca, tanto en el nivel del mayorista como en el fabricante, con respecto a los valores ofrecidos en estos niveles en la cadena de suministro tradicional (ver Figura 5).

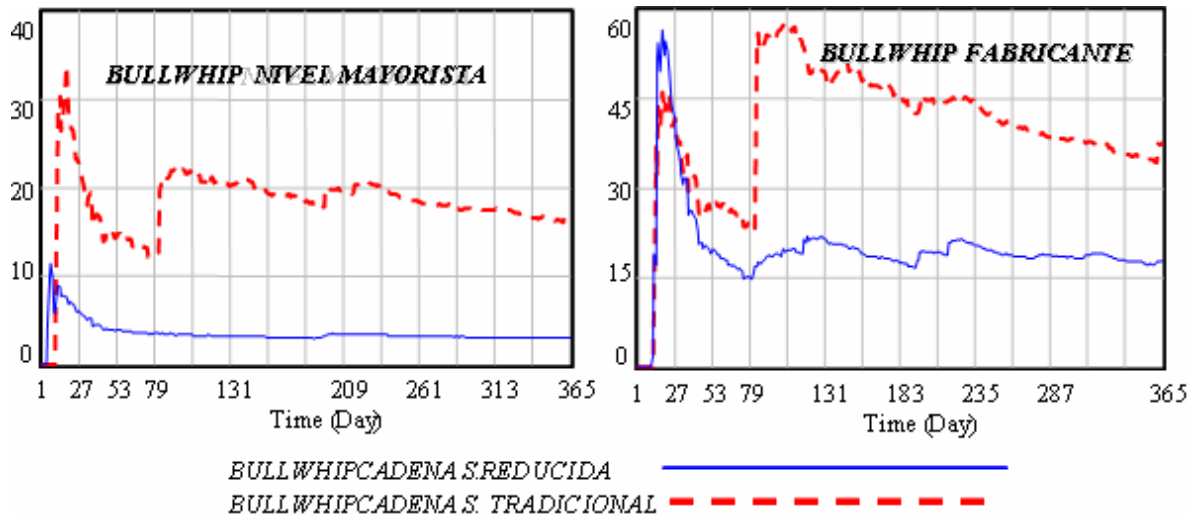


Figura 5. Medida del efecto Bullwhip en las cadenas de suministro tradicional y reducida, para los niveles del mayorista y del fabricante.

Aunque el efecto Bullwhip se ha reducido en el caso de la cadena reducida, la cadena tradicional muestra mejores niveles de servicio y costes por stockout que la cadena reducida. La causa de esta alteración la origina el propio efecto Bullwhip, ya que la variabilidad que éste produce en los órdenes de reabastecimiento o fabricación da lugar en ciertos periodos a altos niveles de inventario (y, consecuentemente, a altos costes de almacenamiento) que aumentan el nivel de servicio de cada integrante de la cadena, ya que su inventario es capaz de responder sin problemas a la demanda del miembro situado inmediatamente aguas abajo (ver Figura 6).

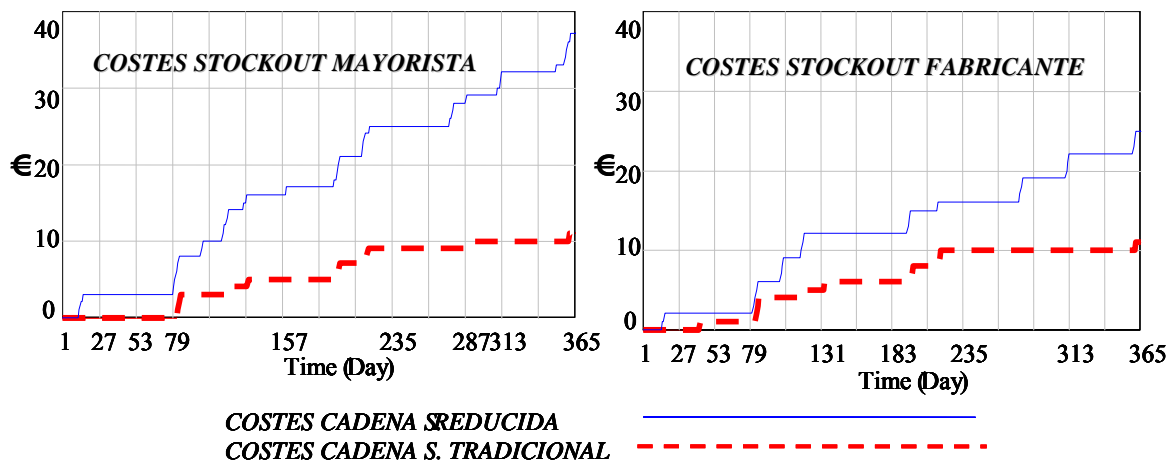


Figura 6. Costes de stockout en las cadenas de suministro tradicional y reducida, para los niveles del mayorista y del fabricante.

Para paliar este aumento de los costes de stockout, se podrían modificar una serie de parámetros que afectan al proceso de gestión de demanda, como es la política de inventario, el

nivel de los inventarios, el factor nivel de servicio, la capacidad del fabricante o los tiempos de suministro.

Posteriormente se procedió a aumentar el factor nivel de servicio en la cadena reducida hasta un valor igual a 3, observándose una disminución de los costes por stockout con respecto a la cadena tradicional, sin que los costes de almacenamiento se disparen y superen a los ofrecidos por esta última (ver Figura 7).

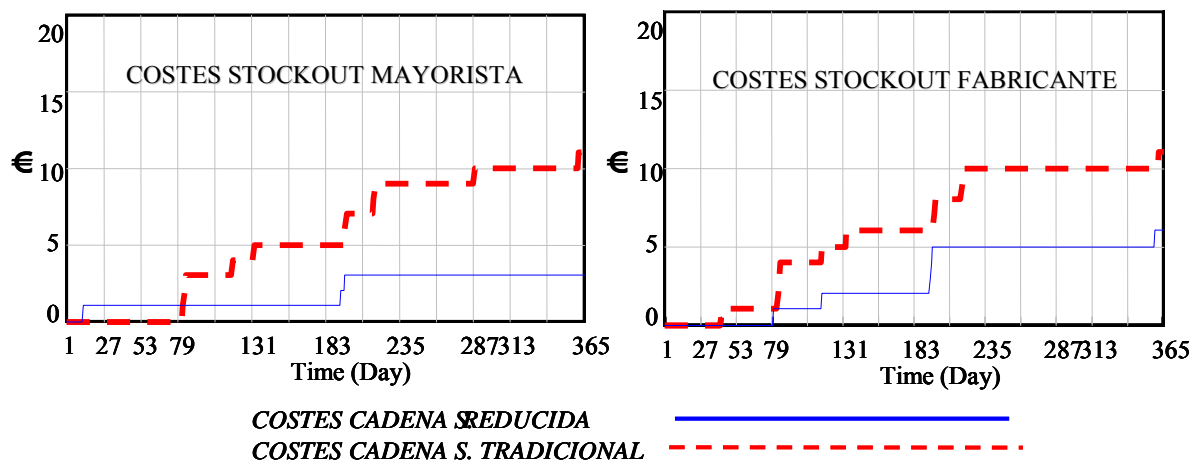


Figura 7. Costes de stockout en las cadenas de suministro tradicional y reducida, para los niveles del mayorista y del fabricante, $K=3$, para la cadena reducida.

Así, el efecto Bullwhip en la cadena reducida simulada ha disminuido con respecto a la tradicional, lo que no ha supuesto una mejora en los costes de stockout de la misma, problema que se ha resuelto modificando el valor de uno de los parámetros de que constan las órdenes de reabastecimiento y fabricación utilizadas.

5. Conclusiones

En este trabajo se presenta un modelo del proceso de gestión de demanda en sistemas de cadena de suministro. Las diferentes variables utilizadas para la construcción de dicho modelo han sido utilizadas en este trabajo para modelar los escenarios *cadena de suministro tradicional* y *reducida*, pero pueden ser utilizadas para la creación de diversos tipos de nuevas estructuras de cadenas como VMI (Vendor Managed Inventory) o EPOS (Electronic Point of Sales), a fin de comprobar, entre otros aspectos, su funcionamiento en la gestión de la variabilidad de la demanda en entornos colaborativos. De la misma forma, el modelo puede ser utilizado para la creación de cadenas de estructura no lineal en las que existan, por ejemplo, varios fabricantes o mayoristas. Modelos de este tipo pueden ser empleados para el proceso de gestión de proveedores.

El modelo utilizado responde satisfactoriamente a las expectativas para la que fue creado, esto es, el estudio del proceso de gestión de demanda a lo largo de una cadena de suministro. En este trabajo se deseaba analizar, además, la influencia positiva en la reducción del efecto

Bullwhip, que según las afirmaciones de Disney *et al.* (2004) y anteriormente de Wikner *et al.* (1991), supone la eliminación de niveles de la cadena de suministro. Efectivamente, se ha podido comprobar, mediante el pequeño estudio realizado, la disminución del efecto Bullwhip en la cadena reducida, aunque esto no ha supuesto una mejora de los costes de la misma, lo que también se ha resuelto modificando el valor de uno de los parámetros de que constan las órdenes de reabastecimiento y fabricación utilizadas.

En consecuencia, el modelo desarrollado puede ser útil para el nivel táctico de una organización o compañía como ayuda para la toma de posibles decisiones inter-organizacionales de gestión de la cadena de suministro.

Los resultados ofrecidos por las simulaciones realizadas en este trabajo no pueden generalizarse a todos los casos que se planteen. La utilidad del modelo es ofrecer la posibilidad de generar diferentes escenarios, gracias a la modificación conjunta de diversos parámetros (variables), pudiendo el investigador decidir el caso que mejor se adapte a los objetivos propuestos; por ejemplo: el intentar la disminución del efecto Bullwhip en un determinado nivel de la cadena utilizando en el mismo una orden de reabastecimiento diferente o técnicas de previsión más eficientes, o estimar el efecto que produce en cuanto a costes de inventario y niveles de servicio la modificación de diversos parámetros propios de cada nivel de la cadena como puedan ser los tiempos de suministro o la capacidad de fabricación.

Para finalizar, y como propuesta para futuros trabajos, creemos que sería importante estudiar la influencia del efecto Bullwhip en los costes de transporte asociados a diferentes cadenas de suministro, dada su importancia, junto con los costes de inventario, a la hora de medir la eficacia de la misma. Concretamente, el escenario a simular consistiría en analizar la influencia de los tiempos de suministro variables en los costes de transporte e inventario de cada nivel de la cadena simulada.

Dedicatoria

Este artículo está dedicado a la memoria de Francisco Campuzano Morte, Ingeniero Técnico de Obras Públicas, padre y amigo genial.

Referencias

- Aracil, J.; Gordillo, F. (1997)** *Dinámica de Sistemas*. Alianza Universidad Textos. Madrid.
- Barlas, Y. (2002)** *System dynamics: systemic feedback modelling for policy analysis in knowledge for sustainable development—an insight into the encyclopaedia of life support systems*. Paris, France; Oxford, United Kingdom: UNESCO Publishing—Eolss Publishers.
- Berry, D. (1994)** *The analysis, modelling and simulation of a re-engineered PC supply chain*. University of Wales Cardiff. PhD Thesis.
- Campuzano Bolarín, F. (2006)** *Modelo de gestión de la variabilidad de la demanda en la cadena de suministro. Análisis del efecto Bullwhip*. Tesis Doctoral. Valencia. Galardonada con el Premio del Centro Español de Logística, CEL Universidad 2007.

- Chatfield, D.C.; Kim, J.G.; Harrison, T.P.; Hayya, J.C. (2004)** *The Bullwhip Effect-Impact of Stochastic Lead Time, Information Quality, and Information Sharing. A simulation Study.* Production and Operations Management. Vol.13, No.4, pp.340–353.
- Chen, F.; Drezner, Z.; Ryan, J.K.; Simchi-Levi, D. (2000)** *Quantifying the Bullwhip effect in a simple supply chain: the impact of forecasting, lead-times and information.* Management Science 46 (3), pp.436–443.
- Coyle, R.G. (1996)** *System dynamics modelling: a practical approach.* London: Chapman&Hall.
- Disney, S.M.; Towill, D.R. (2003 a)** *Vendor Managed Inventory and Bullwhip Reduction in a Two Level Supply Chain.* International Journal of Operations & Production Management. Vol.23, No.6, pp.625–651.
- Disney, S.M.; Towill, D.R. (2003 b)** *On the Bullwhip and inventory variance produced by an ordering policy.* The International Journal of Management Science, pp.157–167.
- Dejonckheere, J.; Disney, S.M.; Lambrecht, M.R.; Towill, D.R. (2004)** *The impact of information enrichment on the Bullwhip effect in supply chains: a control engineering perspective.* European Journal of Operational Research. Vol.153, Number 3, pp.727–750.
- Forrester, J.W. (1961)** *Industrial Dynamics.* MIT Press, Cambridge, MA.
- Forrester, J.W. (1968)** *Principles of Systems.* Pegasus Communications, Waltham, MA.
- Forrester, J.W. (1969)** *Urban Dynamics.* Pegasus Communications, Waltham, MA.
- Forrester, J.W. (1971)** *World Dynamics.* Pegasus Communications, Waltham, MA.
- Hosoda, T.; Disney, S.M. (2005)** *On variance amplification in a three-echelon supply chain with minimum mean square error forecasting.* The International Journal of Management Science. Omega 34 (2006), pp.344–358.
- John, S.; Naim, M.M.; Towill, D.R. (1994)** *Dynamic analysis of a WIP compensated decision support system.* International Journal of Manufacturing Systems Design 1 (4), pp.283–297.
- Lee, H.L.; Padmanabhan, V.; Whang, S. (1997)** *The Bullwhip Effect in Supply Chains.* Sloan Management Review 38 (3), pp.93–102.
- Silver, E.A; Pyke, D.F.; Peterson, R. (1998)** *Inventory Management and Production Planning and Scheduling.* Wiley.
- Sterman, J. (1989)** *Modelling managerial behavior: misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment.* Management Science 35 (3), pp.321–339.
- Sterman, J.D. (2000)** *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World,* New York. McGraw-Hill Higher Education.
- Swaminathan, J.M.; Tayur, S.R. (2003)** *Models for Supply Chains in E-Business.* Management Science. Vol.49, No.10.
- Wikner, J.; Towill, D.R.; Naim, M.M. (1991)** *Smoothing supply chain dynamics.* International Journal of Production Economics 22, pp.231–248.

Evaluación y clasificación de las técnicas utilizadas por las organizaciones, en las últimas décadas, para seleccionar proyectos

FERNÁNDEZ CARAZO, ANA

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

Correo electrónico: afercar@upo.es

GÓMEZ NÚÑEZ, TRINIDAD

Departamento de Economía Aplicada (Matemáticas). Universidad de Málaga

Correo electrónico: trinidad@uma.es

GUERRERO CASAS, FLOR M.

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

Correo electrónico: fguecas@upo.es

CABALLERO FERNÁNDEZ, RAFAEL

Departamento de Economía Aplicada (Matemáticas). Universidad de Málaga

Correo electrónico: r.caballero@uma.es

RESUMEN

La metodología empleada por las organizaciones empresariales para distribuir su presupuesto y seleccionar qué proyectos, entre todos los posibles candidatos, deben ser ejecutados para cubrir sus necesidades ha evolucionado mucho desde que dichas organizaciones empezaron a apoyar sus decisiones de selección en algún modelo matemático. El propósito de este trabajo es realizar un análisis descriptivo y comparativo de las diferentes técnicas empleadas a lo largo del tiempo, incorporando un pequeño ejemplo que clarifique su funcionamiento y poniendo de manifiesto tanto sus ventajas como sus inconvenientes. En alguna medida, estos inconvenientes fueron motivando su evolución hacia técnicas cada vez más complejas y completas hasta llegar a nuestros días. Nuestro estudio ha permitido observar, por un lado, que la evolución de las organizaciones ha llevado a que cambie sustancialmente el problema de selección, pasando de seleccionarse proyectos a seleccionarse y planificar carteras de proyectos y, por otro lado, que el problema aún no está solucionado, ya que es necesario lograr un modelo global que resuelva cualquier problema de selección y planificación temporal de cartera de proyectos.

Palabras clave: cartera de proyectos; selección de proyectos; técnicas de clasificación.

Clasificación JEL: C600; C610.

2000MSC: 90B50; 91B82.

Artículo recibido el 25 de mayo de 2008 y aceptado el 3 de junio de 2008.

Evaluation and classification of the techniques used by organizations in the last decades to select projects

ABSTRACT

The methodology used by business organizations to distribute their budget and select which projects –among all potential candidates– must be carried out to satisfy their needs has changed considerably since the organizations started to support their selection decisions in a mathematical model. The purpose of this paper is to provide a descriptive and comparative analysis of the different techniques used over time; we also present a small example to clarify their function, and thereby we show both its advantages and disadvantages. These drawbacks were the principal cause of their evolution towards more completed and sophisticated techniques. This study highlights two aspects: first, the evolution of the organizations has changed the problem of selection from *project selection* to *portfolio selection and scheduling*, and secondly, the problem is not solved yet, and we need a global model to resolve whatever problem of project portfolio scheduling and selection.

Keywords: portfolio; project selection; classification techniques.

JEL classification: C600; C610.

2000MSC: 90B50; 91B82.



1. Introducción

En este trabajo pretendemos realizar un estudio cronológico que muestre el *estado del arte* en el modo de actuar de las organizaciones empresariales para resolver un problema clásico en Economía: cómo distribuir los recursos escasos de la organización entre el conjunto de alternativas o proyectos candidatos a financiar y llevar a cabo. El problema básico de planificar qué proyectos deben ser seleccionados y ejecutados para un periodo temporal posterior se suele plantear en las organizaciones de manera sucesiva a lo largo de la vida de la organización. El modo de actuar por parte de las organizaciones a lo largo de los años ha ido cambiando; y este diferente modo de actuar y seleccionar es el que queremos presentar en este estudio, analizando las características de cada una de estas técnicas utilizadas hasta llegar a nuestros días.

Inicialmente, los elementos que intervenían en el proceso de selección de proyectos eran fácilmente manejables por sus dimensiones (presupuesto, número de proyectos candidatos, periodo temporal, etc.) y los analistas o gestores empresariales tomaban las decisiones de qué proyectos seleccionar de manera intuitiva o basándose en modelos sencillos. Sin embargo, desde mediados del siglo pasado, la creciente competencia entre empresas y la necesidad de optimizar sus recursos lleva a que los gestores comiencen a apoyar sus decisiones de selección de proyectos en modelos matemáticos (Baker y Pound, 1964; Baker, 1974; Baker y Freeland, 1975). De esta forma, las empresas, en la mayoría de los casos de gran tamaño, comienzan a poseer una mayor disponibilidad de recursos que deben distribuir y planificar entre aquellos proyectos potenciales que pretenden responder a las necesidades crecientes.

La compleja situación en la que se encuentran las empresas a la hora de determinar qué proyectos seleccionar ha llevado a que en las últimas décadas se produzca un cambio en la estructura y mentalidad de las organizaciones, en la que se ha pasado de considerar como objetivo la selección de proyectos individuales (modo de actuar inicial por parte de las organizaciones – Pessemier y Baker, 1971; Easton, 1973; Gear, 1974; Howard y Metheson, 1984; etc.–) a la búsqueda de grupos o carteras de proyectos (modo de actuar actual –Santhanam y Kyparisis, 1995; Lee y Kim, 2001; Gustafsson y Salo, 2005; etc.–), en los que se desea no solo seleccionar los mejores con los recursos disponibles, sino determinar el conjunto de ellos que aprovechen de la mejor manera dichos recursos. Todo ello ha llevado a que la elección de la cartera de proyectos se convierta en una tarea mucho más compleja, que requiere para su resolución modelos que se ajusten a las necesidades del problema y que permitan una correcta toma de decisiones en el campo de la selección y planificación temporal de los proyectos.

El estudio aquí presentado comienza en la primera sección con una contextualización de nuestro objeto de estudio, esto es, por qué surge este trabajo y qué se ha entendido

tradicionalmente con los términos *proyecto* y *cartera de proyectos*. Una vez aclarados esos conceptos, presentaremos en la segunda sección, en orden cronológico, las diferentes técnicas o métodos de resolución utilizados para seleccionar proyectos y carteras de proyectos hasta nuestros días, ilustrando cada una de ellas con un ejemplo que facilite su comprensión, mostrando en cada momento las ventajas e inconvenientes de cada una de las técnicas analizadas. Finalmente, y a modo de conclusión, observaremos la necesidad que existe de avanzar un poco más en lo analizado hasta este momento, con el requerimiento de un nuevo modelo global que tenga en cuenta tanto los aspectos hasta ahora considerados como aquellos que creamos que no han sido tratados en profundidad hasta este momento, permitiendo a cualquier organización solucionar de la manera más sencilla posible el problema de selección y planificación temporal de una cartera de proyectos.

2. Contextualización del problema y algunas definiciones básicas

2.1 Contextualización del problema

Este trabajo surge ante el deseo de responder a un problema común en todas las organizaciones y que consiste en cómo invertir y gestionar los recursos escasos entre una serie de proyectos candidatos. Por tanto, pretendemos analizar un problema de decisión crucial, que debe ser abordado por toda organización en diferentes momentos de su vida para garantizar su eficiencia y, posiblemente, su supervivencia. Será este problema el que vamos a analizar, presentando los diferentes modos de actuar a lo largo de los años por las diferentes organizaciones; es decir, cómo han ido resolviendo este problema las diferentes organizaciones empresariales para determinar en última instancia qué proyectos deben ser seleccionados según la información que se disponía en cada momento.

Para ello, nos ha parecido fundamental comenzar este estudio definiendo qué entendemos en este contexto por *proyecto* y por *cartera de proyectos*, observando sus diferencias fundamentales, ya que estas diferencias han marcado un cambio fundamental en la metodología empleada en los últimos años.

2.2 Definiciones: proyecto y cartera de proyectos

En nuestro contexto, un *proyecto* es un esfuerzo temporal, único e irrepetible que, consumiendo un conjunto de recursos, busca satisfacer unos objetivos específicos en un periodo de tiempo determinado. Hemos de señalar que, en este trabajo, consideraremos un proyecto como un todo, sin tener en cuenta que se puede desglosar en un conjunto de actividades o tareas; es decir, lo contemplaremos desde una perspectiva agregada (Kimms, 2001) y, además, que no puede ser

fraccionado. No obstante, si existen diferentes versiones de un mismo proyecto, tales versiones serán tratadas como propuestas individuales e indivisibles, es decir, como diferentes proyectos.

Por otra parte, un *portfolio* o *cartera de proyectos* es un conjunto de proyectos que, llevados a cabo en un determinado periodo de tiempo, comparten una serie de recursos y entre los que pueden existir relaciones de complementariedad, incompatibilidad y sinergias producidas por compartir costes y beneficios derivados de la realización de más de un proyecto a la vez (Fox *et al.*, 1984). Ello implica que no es suficiente comparar un proyecto con otro, sino que es necesario comparar grupos de proyectos (Chien, 2002), buscando la cartera de proyectos eficiente que mejor se adapte a las necesidades de la organización.

Una vez analizados los conceptos de *proyecto* y *cartera de proyectos*, pasaremos a analizar las técnicas que han sido utilizadas a lo largo de los años para seleccionarlos.

3. Evolución histórica de las técnicas empleadas para seleccionar proyectos

Desde sus orígenes, las primeras organizaciones tuvieron que decidir en todo momento cómo invertir y gestionar sus recursos escasos entre una serie de proyectos potenciales, a qué alternativas dedicar una mayor cantidad de tiempo, personal, etc. Tradicionalmente, tal y como señalan Moore y Baker (1969), las empresas no utilizaban ninguna técnica específica para seleccionar proyectos, sino que este proceso de toma de decisiones se realizaba de manera subjetiva, recopilando la mayor cantidad de información disponible de cada una de las alternativas (proyectos candidatos) y con ella tomar una decisión, ya que se consideraba que no existían modelos que pudiesen resumir o agregar toda la información y aportar una conclusión relevante. A pesar de que durante muchos años se mantuvo ese modo de actuar, las organizaciones han evolucionado incrementando su tamaño y, por tanto, sus recursos y necesidades, ello y el hecho del incremento de la competencia entre las organizaciones ha llevado a los agentes decisores a buscar una estrategia más racional a la hora de determinar qué proyectos son los que deben ser seleccionados y ejecutados. Los empresarios comienzan a considerar necesario encontrar alguna escala de medida común que permitiera la comparación entre alternativas, dando lugar al estudio de las primeras técnicas de selección y clasificación entre proyectos candidatos.

A continuación describiremos brevemente aquellas técnicas que han sido más utilizadas a lo largo de los años y, aunque tales técnicas no son exclusivas de la selección de proyectos, aquí vamos a considerarlas bajo esta perspectiva. Además, analizaremos cada procedimiento mostrando un ejemplo sencillo que ayude a clarificarlo. Hemos de señalar que no pretendemos ser exhaustivos en esta revisión, sino sencillamente mostrar la evolución que ha tenido el tratamiento del problema de la selección de proyectos y carteras de proyectos.

En general, se parte de la existencia de un conjunto de I alternativas o proyectos candidatos $P = \{p_1, p_2, \dots, p_I\}$. Cada uno de ellos será evaluado en función de un conjunto de n criterios $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, que dan lugar a la matriz de datos $A = (a_{ij})$, donde a_{ij} representa el valor del criterio j ($j = 1, 2, \dots, n$), para el proyecto i ($i = 1, 2, \dots, I$). El problema consiste en ayudar al centro decisor a seleccionar, dentro del conjunto de I proyectos candidatos, un subconjunto de este que, verificando la disponibilidad de recursos, sea el más adecuado de acuerdo con los objetivos perseguidos.

A lo largo de los años, muchos han sido los estudios publicados relacionados con esta problemática de selección de proyectos y cartera de proyectos, de los que solo unos pocos presentan una clasificación (categorización) de las técnicas o posibles metodologías utilizadas para dicha selección. Los primeros estudios que con cierto éxito realizaron una clasificación fueron los de Baker y Pound (1964), Baker (1974) y Baker y Freeland (1975). Todos ellos establecen que las técnicas se pueden clasificar fundamentalmente en dos categorías: *técnicas de medidas de beneficio* y *técnicas de selección de proyectos y asignación de recursos*.

Esta primera clasificación, impulsada principalmente por Baker, ha sido aceptada y posteriormente ampliada y matizada por autores como Liberatore y Titus (1983), Martino (1995), Heidenberger y Stummer (1999), Archer y Ghasemzadeh (1999) y Dye y Pennypacker (1999). Todos estos autores consideran que se pueden establecer tres grupos: los dos anteriores, con la salvedad de que el segundo de los grupos se refiere a *métodos de programación matemática*, y un tercer bloque residual que estará compuesto por el *resto de técnicas* que se utilicen para seleccionar proyectos o carteras de proyectos y que no estén integrados en ninguno de los dos bloques anteriores. Nosotros, basándonos en las clasificaciones ya establecidas, consideramos tres grupos de técnicas y proponemos dentro de cada uno de ellos una subclasificación.

A) Técnicas de medidas de “beneficio”, dentro de las cuales podemos encontrar lo siguiente:

A₁) modelos económicos, A₂) modelos de teoría de la decisión: tablas de decisión y árboles de decisión y A₃) métodos basados en pesos y ordenación (ranking).

B) Otras técnicas, donde las más utilizadas han sido los análisis: B₁) cluster y B₂) DEA.

C) Modelos de programación matemática, en los que podemos distinguir: C₁) programación monobjetivo, C₂) programación multiobjetivo y C₃) programación por metas.

A continuación, y una vez descritos los tres bloques principales, iremos analizando las diferentes técnicas utilizadas. El orden que seguiremos viene marcado por la complejidad, cada

vez mayor, que se pretende resolver, lo cual ha marcado, en cierto modo, la utilización de cada técnica a lo largo de los años.

A) Técnicas de medidas de “beneficio”, estas consideran la palabra beneficio en sentido genérico (nivel de satisfacción, utilidad, algún tipo de medida económica, etc.). Estos métodos evalúan los *proyectos individualmente* basados en algún aspecto (económico, o de otro tipo), realizando a partir de este criterio una ordenación de ellos para, posteriormente, ir seleccionando aquellos proyectos en el orden anteriormente establecido, hasta agotar el presupuesto disponible.

A₁) Modelos económicos

Los primeros estudios de interés relacionados con la selección de proyectos, tal y como establece Jackson (1983), se realizaron a finales de la década de los cuarenta del siglo XX por parte de empresas americanas en sectores como el químico, aeronáutico, industrias petrolíferas, etc., en los que el coste de los proyectos era enorme. Su auge no comienza hasta la década de los sesenta de ese mismo siglo, momento en el que los trabajos se apoyan principalmente en métodos económicos. Tales métodos evalúan los proyectos en función de: su sostenibilidad financiera (ingresos y costes económicos) en el tiempo, sin incluir en su valoración aspectos no cuantificables económicamente. Las técnicas utilizadas seleccionarán los proyectos teniendo en cuenta el movimiento de flujo de dinero que se prevé tendrá cada proyecto a lo largo de todo su ciclo de vida, para lo que es necesario establecer o estimar cuáles serán las necesidades financieras de cada uno de los proyectos para su futuro desarrollo.

Los métodos económicos más comunes son: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Rentabilidad (TIR), periodo mínimo de recuperación de la inversión y ratio beneficio-coste. A continuación realizaremos una breve descripción de cada uno de ellos:

A_{1.1}) Valor actual neto de los beneficios netos de un proyecto (VAN)

Este método compara los flujos de ingresos y gastos originados por el desarrollo de un proyecto; esto es, el flujo neto de caja ($Q_t = \text{cobros}_t - \text{pagos}_t$) del año t es descontado al momento de valoración de la operación mediante una tasa de interés. Aunque esta tasa (r) puede ser variable y dependiente del periodo temporal, normalmente se utiliza la existente en el mercado en el momento de valoración.

Como partimos de la existencia de I proyectos candidatos, $P = \{p_1, p_2, \dots, p_I\}$, calculamos por tanto, I diferentes valores actuales netos, es decir, uno para cada uno de los proyectos. Para cada uno de los proyectos, si su VAN_i es positivo, ello implica que el valor de los ingresos es superior al de sus gastos y si este es negativo lo contrario, por lo que si $VAN_i \geq 0$ el proyecto

será potencialmente financiable, mientras que $VAN_i < 0$ podrá ser rechazable. Una vez calculado el valor actual de la inversión de todos los proyectos, estos se ordenarán en función del resultado obtenido, financiándose en primer lugar aquellos para los que el VAN es superior, hasta que se agote el presupuesto disponible.

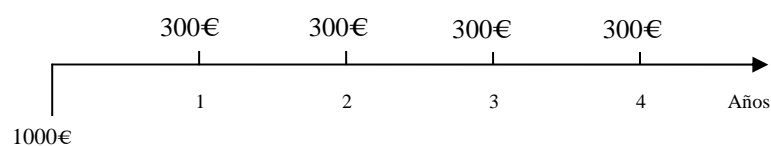
$$VAN = -C + \frac{Q_1}{(1+r)} + \frac{Q_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{Q_T}{(1+r)^T}$$

donde C es el desembolso inicial y Q_t el flujo neto de caja para el periodo t .

Este método presenta como principal ventaja que tiene en cuenta el perfil temporal de los cobros y pagos. Por otro lado, también podemos encontrar dos inconvenientes principales. Por un lado, que en el momento de la valoración deben ser conocidos tanto los ingresos como los gastos futuros (en caso de que estos valores no sean conocidos, deben ser estimados con el problema de que estas aproximaciones pueden no ser del todo fiables). La segunda dificultad recae en el desconocimiento de la tasa de descuento a utilizar, considerando generalmente algo que no es real: trabajar bajo la hipótesis de la existencia de un mercado financiero perfecto, en el que los flujos positivos son reinvertidos a una tasa r de interés y los negativos son financiados a la misma tasa.

A continuación, presentamos un supuesto práctico que iremos resolviendo mediante los diferentes métodos económicos que analizaremos a lo largo de este apartado (A_1) y que nos servirá para mostrar, por un lado, el funcionamiento de cada una de las técnicas presentadas y, por otro, las diferencias existentes entre ellas.

Supuesto 1. La empresa Caramelo S.A. presenta un proyecto de inversión que consiste en adquirir una maquinaria industrial de algodón dulce que permita obtener suficiente algodón de caramelo para venderlo en las múltiples ferias de la Comunidad. Este proyecto requiere de una inversión inicial de 1000€ destinada a financiar la compra tanto de la maquinaria como del azúcar coloreado necesaria para los cuatro años ($T=1, \dots, 4$) que se estima tiene de vida útil la máquina. Este gasto lo consideraremos como $G_0 = 1000€$ (supondremos que no se realizan gastos para el resto de períodos de tiempo) y se espera un ingreso anual de $I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = 300€$ por la venta del algodón de caramelo. El tipo de interés de la operación, para todo el horizonte temporal, es del $r = 6\%$ y la estructura de la operación la siguiente:



El VAN_i de la inversión para este proyecto es de 39.53€ y representa el beneficio neto de la inversión. Su cálculo es el siguiente: $VAN_i = \frac{300}{1.06} + \frac{300}{1.06^2} + \frac{300}{1.06^3} + \frac{300}{1.06^4} - 1000 = 39.53€$.

A_{1.2}) Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) o tasa de ganancia económica

Esta técnica calcula la tasa para la que el *cash-flow* de la operación para un proyecto concreto p_i sea 0, esto es, que el $VAN_i = 0$, por tanto:

$$VAN_i = 0 \Leftrightarrow -C + \frac{Q_1}{(1+TIR)} + \frac{Q_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{Q_{t-1}}{(1+TIR)^{t-1}} + \frac{Q_T}{(1+TIR)^T} = 0$$

Una vez calculada la tasa interna de rentabilidad (TIR_i), podemos comparar esta con el coste de financiación del proyecto p_i . Generalmente se considera que el coste de financiación de un proyecto es la tasa de mercado r que nos ha servido para calcular el VAN de dicho proyecto i . Así, cuando:

$$\begin{aligned} TIR_i \geq r &\Rightarrow \text{Inicialmente aceptamos realizar proyecto } p_i \\ TIR_i < r &\Rightarrow \text{Inicialmente rechazamos realizar proyecto } p_i \end{aligned}$$

Aunque teóricamente la tasa TIR_i se suele comparar con la tasa de mercado r y ello nos lleva a aceptar o rechazar esa inversión, el agente decisor debe analizar esas comparaciones con cuidado y siendo conscientes de que esta consideración es bastante rígida, ya que la TIR_i no es más que la rentabilidad relativa de la inversión i y en algunos casos puede ser excesivo compararla con la tasa de mercado. Además, se está suponiendo que los flujos positivos son reinvertidos a una tasa igual a TIR y los negativos son financiados a la misma tasa.

En el Supuesto 1 obtendríamos una $TIR_i = 7.71\%$. El cálculo se realiza de la siguiente forma:

$$0 = \frac{300}{1+TIR} + \frac{300}{(1+TIR)^2} + \frac{300}{(1+TIR)^3} + \frac{300}{(1+TIR)^4} - 1000 \Rightarrow TIR = 7.71\%$$

Para poder seleccionar un grupo de proyectos dentro de los candidatos, tendremos que calcular la TIR para cada uno de ellos y comparar los resultados obtenidos y financiar proyectos en función de los recursos existentes, en orden de mayor a menor valor de TIR_i .

A_{1.3}) Periodo mínimo de reembolso o recuperación de la inversión

Esta medida establece el tiempo mínimo que tarda en amortizarse la inversión inicial, esto es, desde que comienza el proyecto p_i hasta que se recupera la inversión, momento en el que el *cash-flow* llega a ser positivo, obteniéndose a partir de ese momento beneficios netos.

Para el ejemplo que estamos estudiando, Supuesto 1, el periodo mínimo de reembolso de la inversión se produce a los cuatro años, como se puede observar a continuación:

$$\text{VAN}_i = \frac{300}{1.06} + \frac{300}{1.06^2} + \frac{300}{1.06^3} - 1000 = -198.09\text{€};$$

$$\text{VAN}_i = \frac{300}{1.06} + \frac{300}{1.06^2} + \frac{300}{1.06^3} + \frac{300}{1.06^4} - 1000 = \mathbf{39.53\text{€}}$$

Al igual que en el resto de técnicas o métodos económicos (A_I), tendremos que realizar este cálculo para cada uno de los proyectos y se seleccionarán aquellos proyectos que presenten un menor *periodo de recuperación de la inversión*.

A_{1.4}) Ratio beneficio-coste (BCR)

Esta técnica constituye otro procedimiento para comparar el valor actual de los ingresos de un proyecto p_i frente al valor actual de sus costes. Aunque este ratio es conocido como ratio beneficio-coste está representado por la relación *ingresos/gastos*, donde los ingresos y los gastos o costes se calculan actualizando sus corrientes futuras:

$$\text{BCR}_i = \text{VAIngresos}_i / \text{VACostes}_i.$$

Este ratio será mejor para el agente decisor cuanto mayor sea su valor. Así, se aceptará un proyecto si este es mayor o igual a la unidad y se rechazará cuando sea menor que la unidad:

$$\text{VAN}_i \geq 0 \Rightarrow \text{BCR}_i \geq 1 \rightarrow \text{el proyecto } i \text{ se aceptaría}$$

$$\text{VAN}_i < 0 \Rightarrow \text{BCR}_i < 1 \rightarrow \text{el proyecto } i \text{ se rechazaría}$$

Siguiendo con el ejemplo considerado:

$$\text{BCR}_i = \frac{\frac{300}{1.06} + \frac{300}{1.06^2} + \frac{300}{1.06^3} + \frac{300}{1.06^4}}{1000} = 1.0395.$$

Esta técnica, tal y como sostienen Smith y Baker (1999), presenta un inconveniente fundamental para seleccionar proyectos, ya que solo muestra un índice de relación (medida relativa) y no un valor concreto que nos permita decidir entre proyectos alternativos.

Una vez descritas las cuatro técnicas anteriores, queremos hacer notar que el orden alcanzado por los proyectos en cada una de ellas no tiene por qué coincidir, pero sí que pueden existir algunos proyectos que muestren mejores resultados para la mayoría de ellas.

Muchos han sido los autores que han utilizado este tipo de análisis para seleccionar proyectos. Algunos ejemplos son los trabajos desarrollados por Freeman (1982), Ellis (1984), Graves y Ringuest (1991), Meredith y Mantel (1999) y Hartmann y Hassan (2006).

La principal ventaja de las técnicas económicas es que son muy sencillas de comprender por parte de los decisores y directivos de las empresas, ya que no necesitan utilizar modelos matemáticos complejos. Este ha sido el principal aspecto que ha llevado a su gran aplicación a lo largo de los años. A pesar de la extensión de su uso, existen numerosos estudios como el de

Cooper *et al.* (2001), que demuestran que los resultados presentados por ellas no recogen la mejor selección de proyectos posible, sino que la utilización de otras técnicas, como los modelos de scoring o los de optimización, ha proporcionado mejores resultados en este campo.

Los principales inconvenientes que presentan estas técnicas son:

- No consideran el problema al completo, ya que estas técnicas no tienen en cuenta todos los factores o características que afectan a la posible puesta en marcha de los proyectos seleccionados; es decir, no analizan factores como multiplicidad de recursos, restricciones, etc.
- Consideran únicamente un objetivo, el rendimiento económico, ignorando aquellos aspectos que son difícilmente cuantificables (aspectos cualitativos), mientras que en los problemas de selección de proyectos han de tenerse en cuenta una gran cantidad de criterios.
- Requieren una información que no está siempre disponible ni es fácil de medir antes de realizar el proyecto. Cuando no se disponga de esta información, esta debe ser estimada, con la dificultad y posible falta de exactitud que ello implica.
- Otra de las críticas más usuales a estas técnicas hace referencia a la tasa de descuento aplicada. Es de gran importancia la tasa utilizada y si debe o no utilizarse la misma tasa para todos los periodos de tiempo. La tasa utilizada tradicionalmente ha sido la tasa de mercado; sin embargo, esto ha recibido algunas críticas, alegando que la tasa de mercado sería la adecuada si el mercado fuese perfecto, pero ello no ocurre, por lo que autores como Graves y Ringuest (2003) establecen que, para que el VAN de cada proyecto sea adecuado, esa tasa de descuento debe estar ajustada al nivel de riesgo esperado o aceptado por los decisores.

Aunque las técnicas económicas fueron las primeras en aparecer, con los años han ido surgiendo estudios de selección de proyectos que emplean otras técnicas, como son los *árboles de decisión*, *scoring*, etc.

A₂) Modelos de Teoría de la Decisión: tablas y árboles de decisión

Estos modelos estudian el problema de la selección de una alternativa o proyecto candidato mediante la asignación de probabilidades de ocurrencia a cada uno de los posibles factores (estados) que pueden afectar a la decisión, por lo que para evaluar cada proyecto candidato esta selección se apoyará en principios de la Teoría de la Probabilidad. Así, para tomar una decisión, se modeliza la posible ocurrencia de cada suceso mediante una distribución de probabilidad que se actualiza mediante el Teorema de Bayes. Las preferencias del decisor sobre las consecuencias y sus actitudes frente al riesgo se modelizan mediante una función de utilidad $u(p, \theta)$, que indica la utilidad obtenida cuando se toma la alternativa o proyecto candidato p y se da el estado

θ . A partir de esta función y de las probabilidades de ocurrencia asignadas a cada estado, seleccionaremos la alternativa que proporcione una máxima utilidad esperada.

Dentro de los modelos de Teoría de la Decisión, existen dos modelos gráficos que son las dos formas más clásicas de estructurar y evaluar problemas de decisión. Estos son las *tablas de decisión* (también denominadas *matrices de estrategias*) y los *árboles de decisión*.

En ambos casos se pretende seleccionar una alternativa o proyecto candidato, de entre un conjunto de ellos, basándose en un problema en el que se puedan tener diferentes metas, múltiples objetivos y un entorno cambiante por las decisiones ya tomadas (proceso secuencial), en las que puede existir incertidumbre en muchos de sus aspectos. Esta incertidumbre obliga a tomar decisiones sin conocer con seguridad el efecto de factores externos no controlados (que es lo que llamaremos *estados*) y que van a influir en el resultado.

Tanto las tablas como los árboles de decisión parten de la idea de que las consecuencias de elegir una decisión no dependen solo de esta, sino también de los posibles estados. De manera que si el decisor conociese con exactitud el verdadero estado podría predecir la consecuencia de su elección con certeza: $decisión (p) + estado(\theta) \rightarrow consecuencia [c(p, \theta)]$.

Así, en el caso discreto de I proyectos candidatos (p_1, p_2, \dots, p_I) y m estados posibles ($\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_m$), el decisor debe asignar una utilidad a cada una de las alternativas en cada posible estado $u(p_i, \theta_j)$, es decir, la utilidad que se obtiene cuando se toma la alternativa p_i y se presenta el estado θ_j . Estas utilidades, junto con las probabilidades de ocurrencia de cada uno de los posibles estados o sucesos, serán las que nos ayudarán a decidir qué proyecto/s seleccionar.

A_{2.1}) Tablas de decisión

Para el caso de las tablas de decisión, en cada una de las filas representamos los I proyectos candidatos (p_1, p_2, \dots, p_I), en las columnas los m estados posibles ($\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_m$) y las utilidades $u(p_i, \theta_j)$ asignadas, por los decisores, a cada uno de los proyectos candidatos en cada posible estado en las celdas internas de la tabla de decisión (Tabla 1).

Tabla 1. Tabla de decisión genérica.

	θ_1	θ_2	...	θ_m
p_1	$u(p_1, \theta_1)$	$u(p_1, \theta_2)$...	$u(p_1, \theta_m)$
p_2	$u(p_2, \theta_1)$	$u(p_2, \theta_2)$...	$u(p_2, \theta_m)$
\vdots	\vdots	\vdots	...	\vdots
p_I	$u(p_I, \theta_1)$	$u(p_I, \theta_2)$...	$u(p_I, \theta_m)$

Una vez reflejado el problema en la tabla, tendremos que evaluar cada una de las alternativas, para lo que debemos, en primer lugar, asignar una probabilidad de ocurrencia a cada uno de los estados posibles b_j y, en un segundo lugar, calcularemos la utilidad esperada de cada una de las alternativas p_i mediante la siguiente expresión: $\sum_{j=1}^m b_j u(p_i, \theta_j) = E[u(p_i)]$. Seleccionaremos aquellas alternativas (en orden) que presenten la máxima utilidad esperada.

Para clarificar el funcionamiento tanto de las tablas, como de los árboles de decisión resolveremos un ejemplo numérico (Supuesto 2) procedente de Ríos *et al.* (2002, p. 175)¹.

Supuesto 2. Una compañía de software está pensando en ampliar la gama de productos que vende en el mercado. Actualmente ofrece programas de gestión a otras empresas, pero quiere expandir su negocio hacia el mundo del ocio y entretenimiento... Sin embargo, poner en marcha esta idea le costará muy caro... Ante ello, se plantea tres proyectos candidatos:

- p_1 : poner en marcha el proyecto contratando nuevo personal especializado.
- p_2 : poner en marcha el proyecto a menor coste, formando al personal actual.
- p_3 : no poner en marcha el proyecto.

El agente decisor conoce que los beneficios dependen de si el precio de este tipo de software se incrementa respecto al actual, y estima que la probabilidad de que ocurra este incremento de precios (θ_1) es de 0.5, de que se mantenga (θ_2) es 0.3, y de que disminuya (θ_3) 0.2. Las utilidades establecidas por el decisor a cada conjunto de alternativa y suceso (p_i, θ_j) aparecen reflejadas en la Tabla 2.

En la tabla se observa que programa de contratación de nuevo personal proporciona mayores utilidades si los precios son buenos, pero reporta grandes pérdidas si los precios bajan, debido a los gastos no rentabilizados.

Tabla 2. Utilidades para el Supuesto 2.

	θ_1	θ_2	θ_3
p_1	$u(p_1, \theta_1) = 90$	$u(p_1, \theta_2) = 30$	$u(p_1, \theta_3) = -50$
p_2	$u(p_2, \theta_1) = 50$	$u(p_2, \theta_2) = 10$	$u(p_2, \theta_3) = -20$
p_3	$u(p_3, \theta_1) = 0$	$u(p_3, \theta_2) = 0$	$u(p_3, \theta_3) = 0$

Para seleccionar la o las alternativas, en primer lugar, calculamos la *utilidad esperada* para cada una de las alternativas (proyectos p_i). Estas serán las siguientes:

¹ Las diferencias existentes entre las técnicas que analizamos en el estudio, especialmente por el requerimiento de información, ha hecho que no sea posible utilizar un mismo ejemplo para resolver todas.

$$Eu(p_1) = 90 \times 0.5 + 30 \times 0.3 - 50 \times 0.2 = 44$$

$$Eu(p_2) = 50 \times 0.5 + 10 \times 0.3 - 20 \times 0.2 = 24$$

$$Eu(p_3) = 0$$

Con esta información, la opción óptima es seleccionar el proyecto p_1 , poner en marcha el proyecto contratando nuevo personal especializado, ya que presenta la mayor utilidad esperada.

Aunque las tablas de decisión constituyen la forma más básica de representación de un problema de decisión, estas tienen dos grandes inconvenientes. Por un lado, presentan gran dificultad para representar alternativas en las que existe más de un momento de elección, esto es, problemas dinámicos. Por otro lado, gráficamente es más intuitiva la representación gráfica de un árbol de decisión. Estos aspectos han llevado a que en los problemas de selección de proyectos o carteras de proyectos, tradicionalmente, se han utilizado como herramientas árboles de decisión más que tablas de decisión, aunque ambos métodos son herramientas matemáticamente equivalentes.

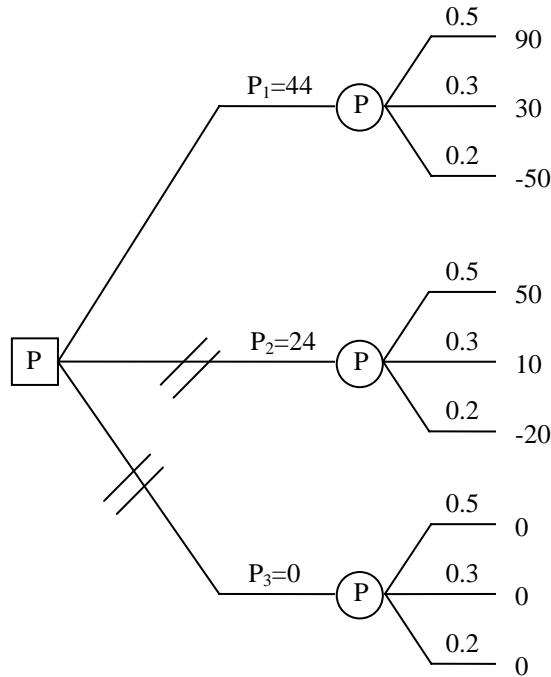
A_{2.2}) Árboles de decisión

Esta técnica parte de la teoría de la decisión establecida por Savage (1954). Este modelo es usado en situaciones en las cuales el decisor, para llegar a seleccionar un proyecto, debe llevar a cabo una secuencia de decisiones y entre cada dos decisiones sucesivas tiene lugar un resultado de la decisión anterior; es decir, cada decisión depende (normalmente) de un conjunto de decisiones anteriores, cada una de ellas con distintos estados con diferentes probabilidades de ocurrencia. Se evalúa así cada una de las ramas del árbol (opciones posibles) en función de la probabilidad de cada estado θ_j . Para su resolución aplicando el Principio de Máxima Utilidad Esperada, determinamos la mejor de las alternativas posibles, sabiendo que, en todo momento, el cálculo se realiza siempre de atrás hacia delante, es decir desde las hojas del árbol hacia la raíz. Un árbol de decisión se caracteriza por presentar una estructura ramificada (ver Figura 1) con tres tipos de nodos:

- *de decisión*, nodos rectangulares, del que emergen ramas que representan las decisiones posibles que se pueden tomar en ese instante;
- *de azar*, nodos circulares, cuyas ramas representan los estados posibles que se pueden dar en ese instante (en cada nodo de azar, las probabilidades deben sumar 1);
- *de valor*, terminales, que representan la utilidad de las consecuencias asociadas a la sucesión de decisiones y estados desde la raíz hasta ese nodo.

En un árbol de decisión, el decisor puede escoger qué rama de un nodo rectangular seguir, pero no qué rama de un nodo de azar, pues estarán determinados por circunstancias que se encuentran fuera de su control.

Figura 1. Árbol de decisión resuelto con los datos del Supuesto 2.



El cálculo de un árbol de decisión se realiza de atrás hacia delante, desde la hoja hasta la raíz, en el orden inverso al que los sucesos y decisiones realmente ocurren. Las últimas decisiones se analizan primero porque determinan las consecuencias de decisiones anteriores. De esta manera, partiendo de los nodos terminales iremos regresando hasta la raíz, seleccionando la máxima utilidad esperada. En el caso del Supuesto 2, anteriormente descrito, el decisor seleccionará el p_1 , y en caso de que exista presupuesto suficiente irán eligiendo en orden el primero, segundo y último proyecto, esto es, $p_1(44) \rightarrow p_2(24) \rightarrow p_3(0)$.

Así, hemos presentado mediante la Figura 1 el caso más sencillo que puede darse en la toma de decisiones: un árbol simétrico, en el que existe un único periodo temporal y en el que una decisión no depende de ninguna anterior. Para el caso en el que una decisión dependa de otras anteriores, la estructura del árbol se incrementa, incorporando a alguna/s ramas anteriores otra/s sucesivas a partir de algunos de los nodos del árbol, complicándose enormemente el proceso de cálculo y evaluación de cada una de las alternativas. Para observar el funcionamiento de este tipo de problemas, puede verse el ejemplo resuelto en Ríos *et al.* (2002, pp. 180-181).

Ejemplos de esta técnica aplicados al campo de la selección de proyectos los encontramos en los trabajos de Gear y Lockett (1973), Gear (1974), Howard y Metheson (1984), Hess (1993) y Martino (1995), que incluyen en dichos trabajos ejemplos sencillos de selección de proyectos similares a los analizados en el Supuesto 2. Trabajos algo posteriores que presentan modelos más complejos de selección de proyectos utilizando árboles de decisión son los mostrados por Heidenberger (1996) y Gustafsson y Salo (2005).

Podemos decir que la principal ventaja de esta técnica es que nos encontramos frente a una herramienta muy gráfica de fácil uso, en la que se representan gráficamente todas las posibles alternativas de un problema de manera longitudinal, considerando las diferentes posibilidades de ocurrencia de cada una de las alternativas. Este sencillo modo de actuar, que aparece como una importante ventaja de la técnica cuando en el proceso de selección existen pocos proyectos candidatos, se convierte en una importante debilidad cuando nos enfrentamos a un problema de selección de gran tamaño, ya que su resolución requiere gran cantidad de tiempo, al analizar cada una de las alternativas con todas sus posibles probabilidades de ocurrencia.

Otras de sus debilidades son: la dificultad de la valoración del riesgo de cada uno de los sucesos, ya que la ocurrencia de cada uno de los proyectos depende, en parte, de la ocurrencia o no de algún otro de los sucesos. Además, es difícil calcular las estimaciones de probabilidades relacionadas con variables y preferencias, ya que estas son muchas veces consecuencia de resultados inciertos. Otro posible inconveniente lo encontramos en que la propia estructura del árbol es incapaz de mostrar las relaciones de dependencia que pueden existir entre las alternativas, hecho este de gran importancia para la selección de carteras de proyectos.

Hasta ahora hemos tratado los modelos de contribución al beneficio y los modelos de teoría de la decisión como métodos utilizados en un primer momento para seleccionar una o varias alternativas entre un conjunto de proyectos candidatos. El motivo del pronto desarrollo de estos métodos fue que se trataba de modelos sencillos y que permiten evaluar en cierta medida las diferentes alternativas. Sin embargo, ambos tipos de modelos encuentran una importante crítica, al presentar un exceso de dependencia hacia los aspectos económicos del problema. Esto implica que solo estudian valoraciones parciales del mismo, sin considerar todos o la mayoría de los aspectos que puedan afectar a la selección de proyectos. Este último factor condujo, en los años setenta-ochenta del siglo XX, a que las organizaciones comenzaran a presentar, para seleccionar proyectos, modelos alternativos que no tuviesen una formulación muy complicada, pero que incorporasen aspectos no cuantificables económicamente. Todo ello dio lugar al desarrollo del tercer tipo de métodos existentes dentro del primer bloque de técnicas de medidas de “beneficio”: los *métodos basados en pesos y ranking*.

A₃) Métodos basados en pesos y ordenación (ranking)

Estos modelos permiten determinar una jerarquía u orden (*ranking*) de preferencia de los proyectos candidatos, basándose en un conjunto de criterios, para que, posteriormente, el agente decisor, en función de los recursos disponibles, seleccione los proyectos en orden, hasta agotar los recursos. Para establecer un ranking entre proyectos, estas técnicas evalúan cada uno de los proyectos en función de los criterios que deben tenerse en cuenta en el proceso de decisión. Los modelos más usuales son: *métodos comparativos* (A_{3.1}) y *scoring* (A_{3.2}).

A_{3.1}) Modelos comparativos

En estos métodos cada proyecto se compara o con otro proyecto o con otro grupo de proyectos alternativos. Dentro de estos modelos, los más utilizados son: *conteo de la dominancia* y el *método de escala anclada*.

A_{3.1.1}) *Conteo de la dominancia*

Esta técnica permite jerarquizar proyectos en función del orden de dominancia de cada proyecto con respecto al resto de los proyectos para todos los criterios, considerando todos los criterios en conjunto. Así, en primer lugar, se localizará el proyecto más dominante para todos los aspectos; en segundo lugar, el segundo en orden de dominancia; y así sucesivamente.

Para presentar con más claridad dicho método, mostramos un ejemplo numérico en el Supuesto 3, procedente de Martino (1995 p.8). En este ejemplo se considera que existen 5 proyectos candidatos, $P = \{p_A, p_B, p_C, p_D, p_E\}$, y las comparaciones por pares se encuentran representadas en la Tabla 3. En este caso, un 1 en alguna de las celdas de la tabla implica que ese proyecto, para todos los criterios, es mejor o igual en su comparación con otro proyecto. De manera que si, por ejemplo, conocemos que el proyecto p_B , en conjunto, domina o es preferido a p_A pondremos un 1 en la celda a_{21} ; como el que un proyecto domine a otro implica que este segundo, p_A , es dominado por el primero, p_B , pondremos un 0 en la celda a_{12} . Se puede observar que el proyecto p_C domina al resto de los proyectos y, por tanto, es el que obtiene una mejor puntuación. El orden de preferencia conseguido por los proyectos es el siguiente:

$$p_C \rightarrow p_B \rightarrow p_A \rightarrow p_D \rightarrow p_E.$$

Tabla 3. Matriz de dominancia con los datos del Supuesto 4.

Proyectos	p_A	p_B	p_C	p_D	p_E	Total
p_A	1	0	0	1	1	3
p_B	1	1	0	1	1	4
p_C	1	1	1	1	1	5
p_D	0	0	0	1	1	2
p_E	0	0	0	0	1	1

La principal ventaja de esta técnica se encuentra en que es muy sencilla, ya que consiste en la simple evaluación global en función de todos los criterios considerados de cada uno de los proyectos, con el resto de proyectos realizando una comparación dos a dos.

Como inconveniente encontramos que, a pesar de su simplicidad inicial, este procedimiento se vuelve más complejo a medida que aumenta el número de proyectos a analizar y el número de criterios, ya que además de consumir una gran cantidad de tiempo en su cálculo presenta problemas a la hora de ordenar proyectos que tengan el mismo valor, es decir, estén dominados por el mismo número de proyectos. En este caso, se encontrarían en la misma posición y habría que aplicar otra técnica que diferencie entre ellos para su clasificación. Así, en el ejemplo considerado, se ha supuesto que existe certeza sobre la superioridad de un proyecto respecto a otro en cada uno de los criterios, pero ello no ocurre normalmente, pudiendo encontrarnos con proyectos no comparables en algún criterio o algunos criterios.

A_{3.1.2}) Método de escala anclada (anchored scale)

Para establecer un orden entre los proyectos, en esta técnica lo primero que se hace es seleccionar, de manera subjetiva, tanto el mejor como el peor proyecto de entre todos los candidatos, asignándole al primero una puntuación de 100 y al segundo una puntuación de 0. En segundo lugar, se toma otro proyecto cualquiera y se compara con uno de los dos para todos los criterios. Así, si este último es la mitad de bueno que el mejor se le concede una puntuación de 50, si se considera un tercio de bueno se le dará un valor de 33 y así sucesivamente.

Para el caso del ejemplo de la Tabla 3, partimos de que el proyecto p_C presenta la máxima puntuación y, por tanto, se le concede el valor 100 y al peor proyecto, en este caso al proyecto p_E , un valor de 0. El proyecto p_B comparado con p_C solo es un 25% peor que él y, por tanto, se le dará una puntuación de 75 y al proyecto p_A de 50, por ser la mitad de bueno que p_C , y así sucesivamente, quedando el siguiente orden: $p_C > p_B > p_A > p_D > p_E$.

En este ejemplo, al existir solo 5 proyectos, es fácil establecer un orden entre ellos, concediéndoles una puntuación más o menos fiable. El gran problema de esta técnica se encuentra en que esta clasificación no está tan clara cuando nos encontramos con muchos proyectos, por ejemplo 50 proyectos, y siendo más difícil todavía cuando en esta comparación se tiene en cuenta un conjunto amplio de criterios.

Algunos ejemplos sencillos de esta técnica en el campo de la selección de proyectos podemos encontrarlos en Hall y Nauda (1990) y en Martino (1995).

Globalmente consideradas, podemos señalar como característica principal de las técnicas anteriormente descritas ($A_{3.1}$: métodos comparativos) que son fáciles de usar y de comprender,

pero dependen en gran medida de comparaciones subjetivas tal y como podemos observar en los estudios de selección de proyectos realizados por Pessemier y Baker (1971), Easton (1973) y Ormala (1986). En definitiva, estos métodos presentan una serie de inconvenientes tales como:

- Al trabajar con evaluaciones subjetivas, la valoración de cada uno de los proyectos puede ser inestable, de manera que puedan, por un lado, cambiar en el tiempo y, por otro, que las evaluaciones realizadas por diferentes personas no sean comparables.
- Los cambios en un conjunto de proyectos alternativos podrían afectar al orden general de preferencias u ordenación de todos los proyectos, lo que llevaría a la necesidad de recalcular el orden entre los proyectos.
- La mayoría de estos métodos se hacen impracticables al considerar muchos criterios y/o muchos proyectos.

A_{3,2}) Modelos de scoring

Un modelo de scoring es una expresión algebraica que produce una puntuación para cada proyecto en consideración, teniendo en cuenta los n factores o criterios considerados más importantes por parte del/los decisor/es. Para obtener esa valoración, cada uno de estos criterios es ponderado en relación a su importancia relativa con respecto al resto de criterios.

Los modelos que generalmente se han utilizado para seleccionar proyectos, en este contexto, son de dos tipos: puramente aditivos (modelos en los que los criterios considerados van sumando) y puramente multiplicativos (modelos en los que los criterios van multiplicando), en los que los criterios pueden tener el mismo o diferente peso en función de la importancia relativa de cada uno. Esta aproximación permite la ordenación de los proyectos en función del mayor o menor valor resultante obtenido, por lo que es una técnica fácilmente aplicable a un problema en el que se desea seleccionar un subconjunto de proyectos de entre todos los candidatos. Donde se escogerán los proyectos de los primeros puestos de la ordenación hasta agotar el presupuesto.

Dentro de los modelos de scoring encontramos: *checklist*, *scoring tradicional*, *análisis de utilidad multiatributo* (MAUT) y *proceso analítico jerárquico* (Analitic AHP).

A_{3,2,1}) Checklist

Esta técnica evalúa cada proyecto en función de los n criterios seleccionados, concediendo a cada uno de ellos la misma importancia, de forma que si un proyecto no cumple un determinado requisito se le concede un valor 0 para este criterio y si lo cumple un valor 1. El valor asignado a cada proyecto será la suma del resultado obtenido, es decir, si $i = 1, 2, \dots, I$ son los proyectos candidatos y $j = 1, 2, \dots, n$ los criterios evaluados, la puntuación de cada proyecto M_i estará

expresada por el siguiente sumatorio: $M_i = \sum_{j=1}^n s_{ij}$, donde s_{ij} es la puntuación que se le concede al proyecto p_i por el criterio a_j , siendo $s_{ij}=1$ si cumple el criterio j y 0 si no lo cumple. Este sistema de evaluación se caracteriza por ser muy sencillo, de manera que a los agentes solo se les preguntará para cada proyecto si cumple o no cada uno de los criterios, si el proyecto i cumple el criterio j entonces $s_{ij}=1$ y si ese proyecto no cumple ese criterio $s_{ij}=0$.

Existen muchos trabajos en los que se han utilizado esta técnica para seleccionar proyectos; entre ellos, encontramos los de Liberatore y Titus (1983), Meredith y Mantel (1999), y Cleland e Ireland (2002). A continuación, presentamos el ejemplo numérico (Supuesto 4) presentado por Meredith y Mantel (1999, p. 147). En este problema, Meredith y Mantel determinan que seleccionarán aquel o aquellos proyectos que obtengan una mayor puntuación según los criterios establecidos en la Tabla 4. En esta tabla se recoge exclusivamente la valoración de un único proyecto en función de todos esos criterios. Este mismo análisis debería realizarse para cada uno de los proyectos candidatos y, con las puntuaciones obtenidas, podríamos comparar los proyectos y seleccionar los de mayor puntuación. En la tabla siguiente se observa que la puntuación o valoración concedida al proyecto analizado es de 13. Esto mismo debería realizarse con el resto de proyectos candidatos.

Tabla 4. Evaluación de un proyecto mediante *checklist*.

Criterio	Si	No
<i>Aumento de requerimiento de energía</i>	1	0
<i>Se espera un incremento en ingreso</i>	1	0
<i>Se espera un incremento (%) del tamaño de mercado potencial</i>	1	0
<i>Necesita nuevas instalaciones</i>	1	0
<i>Necesita nueva experiencia técnica</i>	0	1
<i>Pérdida de calidad del producto final</i>	1	0
<i>Necesita personal nuevo para llevar a cabo el proyecto</i>	0	1
<i>No necesita reorganizar la estructura de la empresa</i>	1	0
<i>Impacto en la seguridad laboral</i>	1	0
<i>Impacto en los estándares medioambientales</i>	1	0
<i>TIR después de ingresos superior a un 15%</i>	1	0
<i>Beneficio anual esperado superior a 250000\$</i>	1	0
<i>Tiempo de recuperación de la inversión inferior a 3 años</i>	1	0
<i>Necesita un asesor externo</i>	0	1
<i>Consistencia con la línea de negocio de la organización</i>	0	1
<i>Impacto en la imagen de la empresa</i>	1	0
<i>Impacto en la imagen de la empresa de los clientes</i>	1	0
<i>Impacto en la imagen de la empresa de nuestra industria</i>	0	1
Puntuación total	13	5

El gran inconveniente de esta técnica se encuentra en que si dos proyectos consiguen la misma puntuación no podremos discriminar entre ellos. Este exceso de simplicidad es lo que ha

llevado a que su uso difícilmente permita seleccionar los proyectos más adecuados. Para intentar resolver este problema, surgen los modelos de *scoring tradicional*.

A_{3.2.2}) Modelos de *scoring tradicional*

El modelo de *scoring tradicional* fue presentado por primera vez por Moore y Baker (1969) y es al que tradicionalmente se hace referencia cuando se habla de un *modelo de scoring*. Tiene un funcionamiento similar al de la técnica anterior, con la diferencia de que esta técnica permite conceder una ponderación distinta a cada criterio. Este modelo se calcula a través de una fórmula matemática o expresión algebraica que produce una puntuación o valoración para cada uno de los proyectos en consideración. Esta fórmula incorporará aquellos factores que se consideran más importantes para evaluar cada uno de los proyectos y cada uno de estos factores estará ponderado para reflejar su importancia relativa con respecto al resto de los factores.

La primera y más sencilla estructura de *scoring* consiste en la suma ponderada de cada uno de los valores de cada criterio para cada proyecto i : $M_i = \sum_{j=1}^n w_j s_{ij}$, siendo M_i la puntuación total que se concede al proyecto i , donde i representa a cada uno de los I proyectos candidatos a evaluar, w_j la ponderación de cada uno de los n criterios, y s_{ij} es la puntuación que se concede al proyecto p_i bajo el criterio j . Por ejemplo, para el caso de la Tabla 5, $s_{12}=3.31$ es la puntuación del primer proyecto respecto al criterio *coste proyecto*. Estas puntuaciones s_{ij} estarán normalizadas para que no existan problemas de escala.

Aunque esta es la estructura más sencilla, existen trabajos que obtienen la puntuación o *score* de manera más elaborada, combinando una agregación aditiva con otra multiplicativa, como es el caso del estudio de Henriksen y Traynor (1999).

Para presentar claramente el *scoring* daremos un ejemplo (Supuesto 5), con datos estandarizados obtenidos de Martino (1995, p. 13). En este ejemplo, partimos de 5 proyectos candidatos $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5\}$ y tres criterios: *Éxito del proyecto*, *Coste del Proyecto* y *Cuota de Mercado* a la que afecta el proyecto. La valoración normalizada de cada uno de los proyectos, aportada por los expertos para cada uno de los criterios, viene reflejada en la Tabla 5. Vamos a suponer que, tras una reunión de expertos, se ha decidido que las ponderaciones (importancia relativa) que se concede a cada criterio son $w = \{1, 1, 2\}$ y la expresión matemática que calcula la puntuación para cada proyecto, es la siguiente:

$$M_i = \left(\frac{\text{Éxito} + 2 \cdot \text{Cuota de Mercado}}{\text{Coste de Proyecto}} \right),$$

donde en el numerador aparecen los factores del tipo “cuanto más mejor”, como *Éxito* y *Cuota de Mercado*, y en el denominador el coste de los proyectos, del tipo “cuanto menos mejor”.

Con la expresión anterior se ha obtenido una puntuación para cada uno de los proyectos, puntuaciones que nos permiten seleccionar los proyectos en orden hasta agotar el presupuesto. El orden sería: $(p_5 > p_3 > p_4 > p_2 > p_1)$, tal y como se observa en la Tabla 5 siguiente:

Tabla 5. Puntuación que se concede a cada uno de los proyectos del Supuesto 5.

p_i / a_j	Éxito (a_1)	Coste proyecto (a_2)	Cuota de mercado (a_3)	Puntuación M_i
P_1	1.25	3.31	1.99	1.58
P_2	1.80	2.15	2.45	3.12
P_3	7.70	2.38	1.50	4.49
P_4	5.09	2.73	2.97	4.04
P_5	3.45	1.80	10.32	13.38

Esta técnica de selección de proyectos ha sido ampliamente utilizada. Buen ejemplo de ello lo constituyen los trabajos de Lucas y Moore (1976), Coldrick *et al.* (2002, 2005), Lawson *et al.* (2006), Apperson *et al.* (2005), etc.

Dentro de las ventajas de esta técnica, destacan:

- Es un método más completo que los anteriores, en el que se pueden tener en cuenta aspectos de muy diversa índole, ya sean cuantitativos o cualitativos, objetivos o subjetivos.
- Refleja de manera sencilla la importancia relativa de diferentes factores.
- Es de fácil resolución (ecuación matemática que puede ser calculada con una sencilla hoja de cálculo) y comprensible por parte de los directivos.

No obstante, en esta técnica encontramos dos inconvenientes, principalmente:

- Por un lado, no tiene en cuenta el problema en su totalidad. Por tanto, a pesar de que esté valorando cada proyecto con diferentes criterios, no considera las restricciones del problema (cantidad de recursos disponibles, presupuesto por periodo, etc.).
- Esta técnica debe utilizarse cuando los criterios sean mutuamente independientes; en otro caso, un efecto puede estar valorándose más de una vez.
- Esta técnica no permite incorporar la cuantificación de las sinergias entre proyectos.

A_{3.2.3}) Análisis de utilidad multiatributo

Este análisis no es más que un método *scoring axiomático* (Ríos *et al.* (2002) y Barba-Romero y Pomerol (1997)). Este modelo asume que, consciente o inconscientemente, cualquier decisor intenta maximizar su utilidad a la hora de seleccionar cualquier proyecto; es decir, seleccionará aquel proyecto que le reporte una mayor satisfacción, considerando todos los criterios que le afecten. Se considera, por tanto, una función de utilidad total multiatributo que, tradicionalmente, se calcula mediante la suma aditiva o multiplicativa de las utilidades parciales para cada uno de los criterios de las distintas alternativas, lo que lleva a presentar un valor para cada una de las alternativas consideradas y, por tanto, una ordenación completa de alternativas.

Este análisis sigue dos fases. En la primera fase se medirá la utilidad parcial de cada alternativa en relación a cada criterio. Esta medición se realizará preguntando al centro decisor la satisfacción que le reporta para cada alternativa para cada uno de los criterios. En la segunda etapa se realiza una agregación de las utilidades parciales para obtener la utilidad global de cada alternativa, obteniendo así un valor numérico para cada una de ellas. Si $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ son los n criterios a evaluar y $P = \{p_1, \dots, p_I\}$ los I proyectos candidatos, la función de utilidad conjunta $U(p_i)$ para cada proyecto vendrá medida por la agregación de las utilidades individuales de ese proyecto para cada criterio, es decir, $U(p_i) = F(u_1(p_i), u_2(p_i), \dots, u_n(p_i))$.

La función de utilidad conjunta tradicionalmente utilizada es la función de utilidad aditiva (suma de las utilidades individuales): $U(p_i) = \sum_{j=1}^n w_j u_j(p_i)$, donde w_j es peso otorgado al atributo a_j y $u_j(p_i)$ es la utilidad que le reporta el valor del atributo j para el proyecto p_i .

Para expresar con mayor claridad el funcionamiento de esta técnica, presentaremos un ejemplo (Supuesto 6) procedente de los datos de Paralera (2005, p. 95). En este ejemplo, el centro decisor pretende establecer incineradoras de materiales específicos de riesgo (MER) en aquellas localizaciones que le reporten una mayor utilidad. Los proyectos candidatos son las distintas localizaciones en las que se pueden establecer una incineradora: $P = \{Aznaicóllar, Antequera, Alcalá la Real, Olvera, Alquife, Osuna\}$, en función de los siguientes cinco criterios para llevar a cabo cada uno de los proyectos, $\{costes\ fijos, costes\ de\ transporte, rechazo\ social, riesgo\ máximo, desutilidad\ colectiva\}$. La matriz de datos presentada en ese estudio es la siguiente:

Tabla 6. Valoración de los proyectos en función de los criterios (Supuesto 6).

p_i / a_j	<i>Ctes fijos</i> (a_1)	<i>Ctes transp.</i> (a_2)	<i>Rechazo social</i> (a_3)	<i>Riesgo máx</i> (a_4)	<i>Desutilidad colectiva</i> (a_5)
<i>Aznaicóllar</i> (p_1)	7320.02	41067.68	9893480.00	1202080.00	6511.66
<i>Antequera</i> (p_2)	8283.18	31127.00	4389160.00	1246832.00	41066.40
<i>Alcalá Real</i> (p_3)	7897.92	34421.60	7718920.00	1577730.00	24929.30
<i>Olvera</i> (p_4)	7705.28	33252.40	7429680.00	1826600.00	11381.10
<i>Alquife</i> (p_5)	7011.80	45744.20	5974620.00	1246832.00	2350.90
<i>Osuna</i> (p_6)	7375.03	29813.20	14705760.00	2443060.00	17529.30

Para el cálculo de la utilidad total de cada uno de los proyectos, lo primero que debemos fijar es la ponderación que se concede a cada uno de los criterios; en este caso se ha considerado que todos poseen la misma importancia, es decir, $w_j = 0.2, \forall_j$. En segundo lugar, tendremos que convertir los datos en unidades de utilidad para el decisor. Para ello, lo que haremos es asignar a cada dato un valor distinto del intervalo $[0,10]$. En el caso que nos ocupa, todos los criterios

presentados son del tipo “cuanto menos mejor”, por lo que será preferible aquella alternativa que presente menores valores para cada uno de los criterios. Por tanto, estableceremos los valores extremos de las funciones de utilidad, asignándole un 0 ó un 1. Así, por ejemplo, para el caso de *costes fijos* el mayor coste es el de Antequera (8283.18€), por lo que asignaremos el valor 0 a 8500 y, como el mejor valor de coste es el de Alquife (7011.80€), le concederemos un valor de 10 a 7000€ y con esta asignación aproximada normalizamos todos los valores. En la siguiente tabla se muestran estos valores extremos para cada uno de los criterios.

Tabla 7. Valores extremos de cada uno de los criterios.

p_i / a_j	<i>Costes fijos</i> (a_1)	<i>Costes transporte</i> (a_2)	<i>Rechazo social</i> (a_3)	<i>Riesgo máximo</i> (a_4)	<i>Desutilidad colectiva</i> (a_5)
<i>Aznalcóllar</i> (p_1)	7320.02	41067.68	9893480.00	1202080.00	6511.66
<i>Antequera</i> (p_2)	8283.18	31127.00	4389160.00	1246832.00	41066.40
<i>Alcalá Real</i> (p_3)	7897.92	34421.60	7718920.00	1577730.00	24929.30
<i>Olvera</i> (p_4)	7705.28	33252.40	7429680.00	1826600.00	11381.10
<i>Alquife</i> (p_5)	7011.80	45744.20	5974620.00	1246832.00	2350.90
<i>Osuna</i> (p_6)	7375.03	29813.20	14705760.00	2443060.00	17529.30
Valor 0	8500.00	46000.00	10000000.00	2600000.00	42000.00
Valor 10	7000.00	28000.00	4000000.00	1200000.00	2000.00

Con esa información se han calculado las utilidades parciales y total para cada alternativa.

Tabla 8. Utilidades parciales y totales.

p_i / a_j	<i>C.fijos</i> $u_1(p_i)$	<i>C.trans</i> $u_2(p_i)$	<i>Rechazo social</i> $u_3(p_i)$	<i>Riesgo máx.</i> $u_4(p_i)$	<i>Desut.colectiva</i> $u_5(p_i)$	Utilidad total $U(p_i)$
P_1	7.87	2.74	5.09	9.99	8.87	6.91
P_2	1.45	8.26	9.68	9.67	0.23	5.86
P_3	4.01	6.43	6.90	7.30	4.27	5.78
P_4	5.30	7.08	7.14	5.52	7.65	6.54
P_5	9.92	0.14	8.35	9.67	9.91	7.60
P_6	7.50	8.99	1.08	1.12	6.12	4.96
Pesos (w_j)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	

A partir de aquí, el orden para la realización de los proyectos sería el siguiente:

$$Alquife(p_5) > Aznalcóllar(p_1) > Olvera(p_4) > Antequera(p_2) > Alcalá Real(p_3) > Osuna(p_6)$$

En las últimas décadas, muchos autores han utilizado esta metodología para seleccionar proyectos, como es el caso de Keeney y Raiffa (1976). Algunos de los últimos estudios de la materia publicados son, por ejemplo, los de Fernández y Navarro (2005) y Duarte y Reis (2006).

La principal ventaja de este método frente a los anteriores es que este considera la satisfacción global de cada proyecto candidato en función de las utilidades o satisfacciones que le reporte al centro decisor, midiéndolos de manera muy exhaustiva para cada uno de los criterios.

El principal inconveniente es que se deben contrastar que se verifican las hipótesis básicas subyacentes en este enfoque (Barba-Romero y Pomerol (1997) y Ríos *et al.* (2002)). Además, solo resulta operativo en contextos decisionales con pocas alternativas y cuando sea posible una fuerte interacción con el centro decisor (Romero, 1993).

A_{3.2.4}) Modelo de Análisis Jerárquico (AHP)

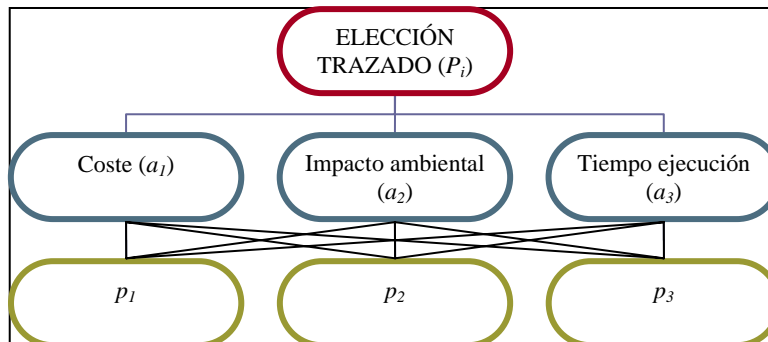
Este modelo, desarrollado por Saaty (1980), ayuda a comparar un conjunto de alternativas en el que se pueden considerar aspectos tangibles e intangibles, basándose en tres principios fundamentales: descomposición, juicios comparativos y síntesis de prioridades. Esta técnica se puede aplicar para ordenar proyectos cuando los criterios pueden ser descompuestos jerárquicamente y, además, no necesita información cuantitativa acerca del valor que alcanza cada alternativa bajo cada uno de los criterios, sino tan solo los juicios de valor del decisor.

Para establecer un orden entre proyectos, esta técnica estructura el problema de forma piramidal, de manera que todos los proyectos quedan en la parte baja de la pirámide, en los niveles intermedios se encuentran los subcriterios y criterios y en la parte alta de la estructura los objetivos principales del análisis. Dentro de cada nivel, se realizan comparaciones por pares con respecto al ítem inmediatamente superior en la jerarquía, dando lugar a la obtención de pesos locales que actúan en el nivel de la jerarquía considerado. Estos pesos locales se combinan usando un modelo de valor aditivo para producir un conjunto de pesos globales o prioridades de las alternativas. De esta manera, cada una de las alternativas será ordenada (jerarquizada) por medio de los pesos globales calculados mediante esta técnica. Para llegar a este punto, esta metodología presenta tres pasos claramente definidos en el artículo de Cho y Kwon (2004). El primer paso consiste en estructurar la jerarquía para presentar los elementos básicos del problema, definiendo cuáles son los objetivos, criterios y alternativas del problema en cuestión. En el segundo paso se desarrolla una matriz que permita la comparación por pares de cada uno de los elementos; en un primer lugar entre cada uno de los elementos de cada nivel (creando los pesos locales) y, posteriormente, con los de su nivel inmediatamente superior. Y el tercer paso consiste en resumir (o sintetizar) la información estableciendo las prioridades desde el segundo nivel hacia abajo y, posteriormente, multiplicando las prioridades locales por las prioridades de cada criterio del nivel superior, se obtiene una puntuación global para cada una de las alternativas que nos permitirá su ordenación.

A continuación, presentamos un ejemplo numérico (Supuesto 7) extraído de Romero (1993, p. 143), que clarifica el funcionamiento de esta técnica. En este caso, una Administración Local pretende elegir el trazado de un nuevo tramo de autopista. Este organismo se encuentra con tres alternativas de trazado que conforman los tres posibles proyectos a ejecutar $P_i = \{p_1, p_2, p_3\}$,

y para valorarlos se consideran tres criterios: *coste de ejecución, impacto ambiental y tiempo de ejecución*}. La estructura jerárquica del problema se representa de la siguiente manera:

Figura 2. Estructura piramidal para elegir el trazado adecuado.



Este método requiere una fuerte interacción con el centro decisor para expresar sus preferencias o juicios de valor. El decisor lo primero que hace es establecer sus preferencias mediante la comparación por parejas. Así, en el segundo nivel jerárquico, pidiéndoles a los decisores que comparen los criterios (*coste, impacto ambiental y tiempo de ejecución*), por pares, con respecto al objetivo global (*elección trazado*) se obtiene la siguiente matriz:

Tabla 9. Matriz de comparación por parejas para el 2º nivel.

<i>Criterios/Criterios</i>	<i>Coste (a₁)</i>	<i>Impacto ambiental (a₂)</i>	<i>Tiempo ejecución (a₃)</i>	<i>Pesos (w)</i>
<i>Coste (a₁)</i>	1	2	5	0.588
<i>Impacto ambiental (a₂)</i>	1/2	1	3	0.294
<i>Tiempo ejecución (a₃)</i>	1/5	1/3	1	0.118

En esta tabla se observa, por un lado, la relación que existe entre criterios (columnas 2, 3 y 4 de la Tabla 9). Así, por ejemplo, se puede ver que el coste es 2 veces más importante que el criterio ambiental y 5 más que el tiempo de ejecución; y, por otra parte, que a partir de la relación que existe entre los criterios se puede obtener un sistema de pesos² (columna 5 de la Tabla 9) consistente con las preferencias subjetivas de los decisores que reflejan la importancia relativa de cada uno de los criterios.

Una vez determinados los pesos para el segundo nivel jerárquico, se realiza una nueva interacción con el centro decisor que tendrá que establecer su nivel de preferencias de cada alternativa en relación al resto de alternativas para cada uno de los criterios (*coste, impacto ambiental y tiempo de ejecución*), manifestando de este modo sus preferencias en cada una de las 3 siguientes matrices:

² Estos pueden ser obtenidos de muy diferentes formas; en este caso, y siguiendo la manera de resolución de Romero (1993), los pesos de las *Tablas 10, 11, 12, 13 y 15* han sido calculados mediante un modelo de programación por metas ponderadas.

Tabla 10. Matriz de comparación por pares para el 3° nivel en relación al 1° criterio (coste).

	$p_1(x_1)$	$p_2(x_2)$	$p_3(x_3)$	Pesos w
$p_1(x_1)$	1	6	3	0.667
$p_2(x_2)$	1/6	1	1/2	0.111
$p_3(x_3)$	1/3	2	1	0.222

Tabla 11. Matriz de comparación por pares para el 3° nivel en relación a 2° criterio (impacto).

	$p_1(x_1)$	$p_2(x_2)$	$p_3(x_3)$	Pesos w
$p_1(x_1)$	1	1/9	1/5	0.069
$p_2(x_2)$	9	1	2	0.621
$p_3(x_3)$	5	1/2	1	0.310

Tabla 12. Matriz de comparación por pares para el 3° nivel en relación al 3° criterio (tiempo).

	$p_1(x_1)$	$p_2(x_2)$	$p_3(x_3)$	Pesos w
$p_1(x_1)$	1	1/2	1/4	0.143
$p_2(x_2)$	2	1	1/2	0.286
$p_3(x_3)$	4	2	1	0.571

Una vez calculados los pesos para los niveles 2 y 3, el método obtiene unos pesos globales con los que otorga una puntuación a cada alternativa.

Tabla 13. Matriz de pesos globales.

	Coste (a_1)	Impacto ambiental (a_2)	Tiempo ejecución (a_3)	Pesos globales
$P_1(x_1)$	0.667	0.069	0.143	0.429
$P_2(x_2)$	0.111	0.621	0.286	0.282
$P_3(x_3)$	0.222	0.310	0.571	0.289

Estos pesos globales se obtienen por medio de una agregación multiplicativa entre niveles jerárquicos. Así, por ejemplo, la alternativa p_3 obtiene una puntuación de 0.289, que se calcula de la siguiente forma: $0.289 = 0.222 \times 0.588 + 0.310 \times 0.294 + 0.571 \times 0.118$. De la Tabla 13 se infiere que el trazado del tramo de autopista a realizar será el correspondiente al proyecto p_1 .

Esta técnica presenta una serie de fortalezas, siendo la principal de ellas su habilidad para comparar y ordenar alternativas basándose tanto en factores cuantitativos como cualitativos, ya que esta técnica permite generar valores cuantitativos basándose en aspectos o juicios de valor cualitativos. Por otro lado, también encontramos que el hecho de que el proceso de toma de decisiones en el AHP se base en comparaciones por pares, ayuda al analista y decisor a tener más claro el proceso. Otra de sus ventajas se encuentra en que detecta y acepta, dentro de ciertos límites, la incoherencia de los decisores humanos. Estas características han hecho que dicha técnica haya sido ampliamente utilizada en una gran variedad de problemas y, en particular, en el campo de la selección de proyectos, donde podemos encontrar artículos como los de Lockett *et al.* (1986), Liberatore (1987) y Schniederjans y Wilson (1991), quienes presentan diferentes aplicaciones de esta técnica para seleccionar proyectos en el campo de la industria.

No obstante, también presenta una serie de inconvenientes:

- La ordenación final puede verse alterada por la introducción de nuevas alternativas, aunque estas no sean muy buenas.
- Además, si hay muchos subcriterios o alternativas, el número de comparaciones puede ser muy elevado y resultar una tarea tediosa para el decisor.
- El proceso de AHP asume la inexistencia de interdependencia entre proyectos, por lo tanto no permite la incorporación de interdependencias.
- No permite considerar el problema al completo, ya que no admite la incorporación de restricciones en el problema.

Considerados en conjunto todos los métodos de *scoring* desarrollados en este apartado, podemos decir que presentan una serie de ventajas como son:

- Permiten no solo la consideración de muchos criterios para evaluar cada uno de los proyectos, sino que además esos criterios ya no tendrán que considerar exclusivamente aspectos cuantitativos, como ocurría con los métodos de decisión basados en técnicas económicas, ya que también pueden trabajar con criterios cualitativos, al permitir la utilización de escalas ordinales.
- Presentan una estructura muy sencilla, por lo que son fáciles de usar y entender.
- Son fácilmente adaptables a los cambios del entorno o de las políticas directivas.
- Los modelos de *scoring tradicional* y de *utilidad multiatributo* permiten ponderar los criterios, es decir, permiten dar más importancia a unos criterios frente a otros.
- Estos modelos permiten que se realicen fácilmente análisis de sensibilidad.

A pesar de que estos modelos han alcanzado a lo largo de los años una gran popularidad, por su facilidad de uso a escala de organización de empresas, también presentan algunos inconvenientes como son:

- Los criterios deben ser independientes; esto es, las actividades y resultados de un proyecto no deben depender de las actividades y resultados de otro u otros proyectos.
- Requieren gran cantidad de información para evaluar cada proyecto; de hecho, estos modelos solo están justificados en problemas no muy complejos y con pocos criterios.
- El valor obtenido tras realizar una valoración mediante cualquiera de las técnicas de *scoring* no es más que una medida relativa; es decir, esta puntuación no implica directamente si el proyecto debe o no ser llevado a cabo.
- Estos modelos estudian el problema parcialmente, al analizarlo solo en función de los criterios considerados oportunos (coste, aspectos medioambientales, etc.), pero no tienen en cuenta el conjunto de restricciones y condiciones que afectan o pueden afectar al problema, tales como: cantidad de recursos disponibles, interdependencias entre proyectos, etc.

Hasta finales de la década de los ochenta del siglo XX las empresas se apoyaban en modelos que ayudaban a elegir aquellos proyectos que maximizaban el resultado³ de la organización, seleccionando uno o varios proyectos en el orden de preferencia hasta agotar el presupuesto, pero manteniendo en común como principal crítica que *ninguno de ellos abordaba el problema en conjunto*; esto es, se analizaba el problema de manera parcial, ya sea considerando uno o varios criterios, pero sin determinar claramente el marco de cada problema mediante la introducción del conjunto de restricciones de cada uno de ellos (nivel de presupuesto, recursos disponibles, etc.).

Esta carencia, junto al hecho de que los decisores de las organizaciones comienzan a cambiar su filosofía y a plantearse como meta no simplemente seleccionar proyectos individualmente, sino seleccionar un grupo de proyectos con el objeto de aprovechar las sinergias existentes entre ellos y así realizar una selección más adecuada, lleva a la aparición y utilización de nuevos métodos en este campo.

Como conclusión de este apartado (A), podemos decir que las técnicas desarrolladas hasta este momento *seleccionan individualmente proyectos*, esto es, realizan una “selección de proyectos”, mientras que las técnicas que desarrollaremos a continuación y que comienzan a expandir su uso en este campo a partir de mediados de los años 80 nos permitirán *seleccionar un conjunto de proyectos con alguna/s característica/s en común*, por lo que en las técnicas que analizaremos a partir de ahora hablaremos de una “selección de grupos o carteras de proyectos”.

B) Otros métodos: cluster, DEA

En este bloque desarrollaremos dos técnicas que, sin ser exclusivas para los problemas de selección de proyectos, sí que se han utilizado para seleccionar un grupo de proyectos en bloque, pero no encajan del todo en los otros dos bloques considerados.

B₁) El análisis cluster

El *análisis cluster*, también denominado *análisis de conglomerados*, trata de agrupar los proyectos candidatos a partir de una serie de atributos independientes, de forma que los grupos (o conglomerados) sean lo más homogéneos posible en función de lo similar o distinto que sean los proyectos entre sí. Esta búsqueda de similaridad para el caso de la selección de grupos de proyectos generalmente se centra en la búsqueda de aquel grupo de proyectos que mantenga una posición estratégica en la empresa, tal y como establecen Mathieu y Gibson (1993).

³ Entendiendo esta maximización del resultado como la maximización de: el beneficio, la satisfacción o utilidad de la organización.

La homogeneidad de los grupos se mide mediante la distancia existente entre proyectos, tratando simultáneamente de maximizar la distancia entre los grupos de ciertas características y de minimizar la distancia intragrupos. En la realización de un análisis cluster se suelen distinguir tres etapas:

1. Elección de los criterios o variables relevantes para discriminar la selección.
2. Elección de la medida de proximidad entre proyectos, para poder, teniendo en cuenta esta medida, calcular una matriz de semejanzas o distancias entre cada par de proyectos.
3. Una vez obtenidas la matriz de distancias entre los diferentes casos, agruparemos los proyectos en conglomerados. Aunque existen diferentes métodos para asignar cada uno de los proyectos a un determinado grupo, uno de los algoritmos más utilizados es la suma de las distancias euclídeas al cuadrado entre los elementos de un conglomerado H y su centroide⁴. Este método se basa en la asignación de cada uno de los proyectos a aquellos grupos cuyo centroide se encuentre más próximo.

$$Medida(H) = \sum_{r \in H} \sum_{j=1}^n (a_{rj} - \bar{a}_j(H))^2,$$

donde $r \in H$ denota el conjunto de elementos pertenecientes al grupo H , n el número de criterios, a_{rj} el valor del criterio j para cada uno de los proyectos del conjunto H , y $\bar{a}_j(H)$ la media de los valores de ese criterio j para los proyectos pertenecientes al conjunto H . El objetivo de este procedimiento es encontrar los d conglomerados que minimizan la suma de esa medida para cada uno de los d grupos solicitados (previamente determinados por el decisor), es decir, *Minimizar* $\sum_{h=1}^d Medida(H)$. Este proceso nos lleva a encontrar los d grupos de proyectos más similares.

Para observar cómo funciona este procedimiento, presentaremos un sencillo ejemplo, Supuesto 8, con datos procedentes de Martino (1995, p. 47⁵). Realizaremos un análisis cluster para ver si es posible encontrar algún grupo de proyectos que responda mejor a los objetivos perseguidos por la organización (mejores resultados de las variables seleccionadas). Para ello, evaluaremos cada uno de los 16 proyectos candidatos, $P_i = \{p_1, p_2, \dots, p_{16}\}$, basándonos en los siguientes tres criterios {coste de ejecución de cada uno de los proyectos (a_1), nivel de ingresos (a_2), tamaño de mercado (a_3)}. Los datos están reflejados en la siguiente Tabla 14.

⁴ Por el centroide de un grupo ha de entenderse el punto constituido por los valores medios de las variables independientes consideradas en el análisis para los individuos pertenecientes a ese grupo.

⁵ La información de esa misma página 47 ha sido utilizada tanto para realizar el análisis cluster como para la programación monobjetivo, multiobjetivo y por metas. En todos estos casos se seleccionará una u otra/s variable/s en función de las necesidades de la técnica aplicar.

Tabla 14. Valoración de cada uno de los proyectos en función de cada criterio (Supuesto 8).

	<i>Coste en 100\$ (a₁)</i>	<i>Ingreso en Mill.\$ (a₂)</i>	<i>Tamaño de mercado en Mill.\$ (a₃)</i>
<i>P₁</i>	48	47	430
<i>P₂</i>	38	41	340
<i>P₃</i>	40	18	180
<i>P₄</i>	43	38	290
<i>P₅</i>	35	342	1220
<i>P₆</i>	25	375	1340
<i>P₇</i>	26	122	610
<i>P₈</i>	41	152	1010
<i>P₉</i>	53	81	810
<i>P₁₀</i>	81	67	560
<i>P₁₁</i>	97	71	710
<i>P₁₂</i>	51	153	1180
<i>P₁₃</i>	89	74	460
<i>P₁₄</i>	78	29	180
<i>P₁₅</i>	97	62	270
<i>P₁₆</i>	90	90	430

Con estos datos, realizamos un análisis cluster tanto para diferentes grupos por ejemplo para $d=2,3,\dots$. En este trabajo, por simplicidad, solo realizaremos el análisis para dos grupos de características similares; en caso de que se quieran analizar otros ejemplos, véase Carazo (2007). Una vez presentadas las agrupaciones y según el presupuesto disponible la organización seleccionaría aquel grupo de proyectos considerado mejor en función de los criterios utilizados.

Para el caso en el que se realicen dos únicos grupos:

- El primer grupo estaría compuesto por los 5 siguientes proyectos⁶ $\{p_5, p_6, p_8, p_9, p_{12}\}$. En principio, este será el grupo elegido al aglutinar a los proyectos de menor coste (4,100\$), mayor cantidad de ingresos (220,600,000\$), y mayor tamaño de mercado (1,112,000,000\$).
- En relación al segundo grupo, este estará formado por los 11 proyectos restantes. Estos se caracterizan por ser más costosos y por proporcionar tanto menores ingresos como menor tamaño de mercado, tal y como se observa en la Tabla 15.

Tabla 15. Centros de los conglomerados finales para 2 grupos.

	Conglomerado 1	Conglomerado 2
<i>Coste en 100\$ (a₁)</i>	41.0	66.1
<i>Ingreso en Mill. \$ (a₂)</i>	220.6	59.9
<i>Tamaño de mercado en Mill. \$ (a₃)</i>	1112.0	405.0

Una vez realizada la agrupación en solo 2 conglomerados, se observa que se seleccionarían exclusivamente 5 proyectos de los 16 candidatos. Puede ocurrir que los directivos quisiesen profundizar en el estudio para ver si se observa algún patrón de comportamiento al agrupar en tres bloques, por lo en este caso realizarían un análisis para $d=3$ y analizarían los resultados.

⁶La información referente a la pertenencia de cada proyecto a cada grupo viene recogida en una tabla de SPSS denominada “pertenencia a los conglomerados”.

Tal y como establece Martino (1995), esta técnica ha sido poco utilizada en el campo de selección de proyectos y cartera de proyectos. Los principales motivos pueden encontrarse en que realmente no se trata de una técnica que se ajuste fielmente a la filosofía de selección de proyectos, sino que simplemente ayuda a encontrar grupos de proyectos homogéneos o similares y, una vez analizados estos, es posible encontrar el mejor o los mejores grupos.

Como inconvenientes de esta técnica encontramos que, aunque permite distinguir grupos de proyectos similares teniendo en cuenta una serie de variables establecidas *a priori* por el centro decisor, no analiza el problema en su conjunto, ya que no permite incorporar restricciones específicas ni valores concretos, sino que solo selecciona aquel conjunto de proyectos que de media presentan los mejores valores en un conjunto de características estudiadas. Pero, por ejemplo, ¿qué ocurriría si no se dispone de presupuesto (o algún otro recurso) suficiente para financiar todos los proyectos del grupo? ¿Cuál eliminaríamos? En principio, serían los que se encuentren más alejados del centroide del grupo, pero como existen diferentes definiciones de distancia, los proyectos a descartar pueden ir variando. Otro inconveniente de esta técnica se encuentra en que puede proporcionar resultados poco fiables en caso de trabajar con muchas variables. Por tanto, esta técnica nos ayuda a seleccionar proyectos similares considerando las variables establecidas *a priori* por el centro decisor, que además no pueden ser demasiadas, pero no a seleccionar proyectos específicos dentro de los pertenecientes a un grupo.

Dentro de las fortalezas o ventajas que presenta esta herramienta encontramos, por un lado, que permite trabajar con muchos proyectos (*alternativas*) y con todo tipo de información, tanto datos cualitativos como cuantitativos. Por otro lado, esta técnica nos presenta grupos de proyectos de características similares, lo que en algunas ocasiones puede serle muy útil al agente decisor, especialmente para el caso en el que se pretenda seleccionar el grupo de proyectos que mantengan la dirección o estrategias de la organización.

Todo lo anterior, las fortalezas y las debilidades, ha llevado a que en la mayoría de los trabajos encontrados se utilice el análisis cluster como complemento de otra técnica. Un ejemplo de ello es el estudio presentado por Graves y Ringuest (2003), quienes utilizan esta técnica para eliminar un grupo de proyectos (el peor de los conglomerados) y, posteriormente, seleccionar del resto de proyectos la cartera de proyectos definitiva utilizando otra técnica de selección.

B₂) Análisis Envolvente de Datos (DEA)

Este análisis surge a raíz del trabajo de Charnes *et al.* (1978), quienes proponen medir la eficiencia técnica relativa de un conjunto de unidades similares (conocidas como *unidades de decisión*, DMU) mediante el uso de modelos de programación lineal. La evaluación de tales

unidades se realiza a partir del consumo de un conjunto común de variables input (factores del tipo “cuanto menos mejor”) para la obtención de un conjunto común de variables output (factores del tipo “cuanto más mejor”). Además, los inputs y outputs no necesitan tener las mismas unidades de medida, ni se necesita ninguna relación funcional que los vincule.

Supongamos que hay I unidades de decisión homogéneas a evaluar, en nuestro contexto son los proyectos, y cada uno de ellos viene caracterizado por el vector observado de inputs $Q_i = (q_{1i}, q_{2i}, q_{3i}, \dots, q_{pi})$ y el vector de outputs $Y_i = (y_{1i}, y_{2i}, y_{3i}, \dots, y_{si})$; es decir, todos los proyectos consumen p inputs en cantidades variables y generan s outputs, en cantidades variables.

El modelo inicial presentado y definido por las siglas de sus autores, CCR, representado abajo, calcula la eficiencia técnica de cada unidad de decisión DMU_i , ($i= 1, 2, 3, \dots, I$) a partir del ratio entre la suma ponderada de sus outputs observados y la suma ponderada de sus inputs observados. Los pesos, u_r e v_k , son las variables a determinar, de forma que se haga máxima dicha ratio, sujeta a la condición de que las ratios similares para cada una de las unidades de decisión consideradas sea menor o igual que uno.

Figura 3. Modelo CCR.

$$\begin{aligned}
 \text{Max}_{u,v} \quad h_o &= \frac{\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{ro}}{\sum_{k=1}^p v_k \cdot q_{ko}} \\
 \text{Sujeto} \quad &a \\
 \frac{\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{ri}}{\sum_{k=1}^p v_k \cdot q_{ki}} &\leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, I \\
 u_r, v_k &\geq 0, \quad r = 1, 2, 3, \dots, s \quad k = 1, 2, 3, \dots, p
 \end{aligned}$$

El problema arriba presentado debe realizarse I veces, es decir, una para cada uno de los proyectos que se evalúan, proporcionando la función objetivo el grado de eficiencia o ineficiencia para cada una de estos a partir de la comparación con el resto. Un proyecto p_i será eficiente si el ratio h_o es igual a uno y esto ocurrirá si existe un conjunto de ponderaciones que hacen que esa unidad (proyecto, en nuestro caso) represente las mejores prácticas en relación a su uso de inputs y outputs y, por tanto, aparecen como referente para el resto. Si es inferior a 1, implica que existe otra u otras unidades (otro u otros proyectos) que pueden producir más con el mismo nivel de recursos o, en su caso, pueden producir lo mismo con menos recursos.

Dado que el problema inicial es un problema fraccional de resolución complicada y que presenta infinitas soluciones, como posible solución se suele realizar un cambio de variables para convertirlo en un problema lineal, mediante alguno de los 2 posibles cambios de variables:

$$\mu_r = \frac{u_r}{\sum_{k=1}^p v_k \cdot q_{ki}} \quad y \quad w_k = \frac{v_k}{\sum_{k=1}^p v_k \cdot q_{ki}}, \quad \mu_r = \frac{u_r}{\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{ri}} \quad y \quad w_k = \frac{v_k}{\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{ri}},$$

quedando de la siguiente manera en cualquiera de sus dos vertientes, outputs e inputs:

Figura 4. Modelo CCR_M (inputs)

$$\begin{aligned} \text{Max}_{\mu, w} \quad \omega_o &= \sum_{r=1}^s \mu_r y_{ro} \\ \text{sujeto a:} \\ \sum_{k=1}^p w_k q_{ko} &= 1 \\ \sum_{r=1}^s \mu_r y_{ri} - \sum_{k=1}^p w_k q_{ki} &\leq 0 \\ i &= 1, 2, 3, \dots, I \\ \mu_r, w_k &\geq 0 \\ r &= 1, 2, 3, \dots, s \\ k &= 1, 2, 3, \dots, p \end{aligned}$$

Figura 5. Modelo CCR_M (outputs)

$$\begin{aligned} \text{Min}_{\mu, w} \quad t_o &= \sum_{k=1}^p w_k q_{ko} \\ \text{sujeto a:} \\ \sum_{r=1}^s \mu_r y_{ro} &= 1 \\ - \sum_{r=1}^s \mu_r y_{ri} + \sum_{k=1}^p w_k q_{ki} &\geq 0 \\ i &= 1, 2, 3, \dots, I \\ \mu_r, w_k &\geq 0 \\ r &= 1, 2, 3, \dots, s \\ k &= 1, 2, 3, \dots, p \end{aligned}$$

Ambos planteamientos, en la *versión inputs* y *versión outputs*, son equivalentes, con la diferencia de que en el modelo orientado a input se pretende obtener el mayor resultado posible (outputs) con el nivel de recursos (inputs) existentes. Para el caso del orientado al output, se tiene como objetivo utilizar la menor cantidad de input para producir unos outputs determinados.

Para expresar con claridad este análisis, mostraremos un ejemplo concreto, Supuesto 9, que consistirá en la selección del conjunto de proyectos técnicamente eficientes dentro del conjunto de candidatos. Para ello, se ha seleccionado una submuestra (los 15 primeros proyectos) del tutorial del programa EMS (Efficiency Measurement System), concretamente de la versión 1.3 (2000).

Supongamos se desea seleccionar, de entre un conjunto de 15 proyectos candidatos $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{15}\}$, aquellos que sean eficientes técnicamente. Para ello se tendrán en cuenta 5 criterios, de los cuales los tres primeros serán inputs y los dos últimos outputs {costes [I], plantilla [I], clientes [I], ingresos [O], satisfacción [O]}. La matriz de datos quedaría:

Tabla 16. Matriz de datos de los diferentes proyectos.

	<i>Costes { I }</i>	<i>Plantilla { I }</i>	<i>Cientes { I }</i>	<i>Ingresos { O }</i>	<i>Satisfacción { O }</i>
<i>P₁</i>	152.65	129.95	128.63	122.85	154.12
<i>P₂</i>	138.92	134.55	157.66	153.48	171.37
<i>P₃</i>	137.19	115.32	106.78	131.60	144.70
<i>P₄</i>	74.90	95.25	63.25	81.31	73.78
<i>P₅</i>	98.47	88.50	117.57	98.56	105.04
<i>P₆</i>	91.93	82.08	155.20	98.22	73.71
<i>P₇</i>	74.51	59.96	61.14	62.56	42.89
<i>P₈</i>	91.06	106.00	235.15	109.85	121.86
<i>P₉</i>	64.70	64.70	51.73	50.86	32.98
<i>p₁₀</i>	72.92	81.90	81.61	81.25	91.68
<i>p₁₁</i>	190.01	140.00	179.52	203.50	187.36
<i>p₁₂</i>	83.32	77.60	107.19	86.35	73.78
<i>p₁₃</i>	68.63	62.25	117.57	76.85	30.82
<i>p₁₄</i>	77.46	84.20	64.53	103.05	76.80
<i>p₁₅</i>	95.36	111.46	79.95	101.17	129.84

Una vez presentadas las características de los proyectos candidatos, debemos determinar el tipo de modelo a emplear. En este caso, utilizaremos un modelo BCC orientado al output, ya que lo que nos interesa es observar qué proyectos producen la mayor cantidad de outputs con los inputs existentes con rendimientos a escala variable. Utilizando el programa EMS, el resultado que se desprende es que serán eficientes todos los proyectos salvo los proyectos *p₁*, *p₆* y *p₁₂*, tal y como se observa en la Tabla 17. Tras realizar este análisis y con los resultados aportados por la Tabla 17, podríamos determinar qué es necesario para que estos proyectos fuesen técnicamente eficientes comparados con los demás, simplemente observando las unidades de referencia de los proyectos técnicamente ineficientes y en qué criterios deben mejorar.

Tabla 17. Eficiencia/Ineficiencia de proyectos.

	<i>Eficiencia</i>	<i>Unidades de referencia</i>	HOLGURA				
			<i>Costes</i>	<i>Plantilla</i>	<i>Cientes</i>	<i>Ingresos</i>	<i>Satisf.</i>
<i>P₁</i>	102.49%	11 (0.49);15 (0.51)	11.02	4.54	0	25.29	0
<i>P₂</i>	100.00%	0					
<i>P₃</i>	100.00%	0					
<i>P₄</i>	100.00%	0					
<i>P₅</i>	100.00%	1					
<i>P₆</i>	103.84%	7(0.30);11(0.15);13(0.14);14(0.41)	0	0	67.57	0	0
<i>P₇</i>	100.00%	2					
<i>P₈</i>	100.00%	0					
<i>P₉</i>	100.00%	0					
<i>p₁₀</i>	100.00%	1					
<i>p₁₁</i>	100.00%	2					
<i>p₁₂</i>	101.83%	5(0.33); 7(0.33);10(0.01);14(0.33)	0	0	26.11	0	0
<i>p₁₃</i>	100.00%	1					
<i>p₁₄</i>	100.00%	2					
<i>p₁₅</i>	100.00%	1					

Sobre la base del modelo inicial se han realizado multitud de estudios y modificaciones para aplicarlos a casos concretos a lo largo de los años. En el campo de la selección de cartera de proyectos encontramos una gran cantidad de estudios que utilizan el Análisis Envolvente de Datos (DEA) como herramienta de selección. Buena muestra de ellos son los trabajos de Cooper *et al.* (1999b), Linton *et al.* (2002), Chiou y Tzeng (2004), Cook (2004), Eilat *et al.* (2006), etc.

Como conclusión, podemos indicar que esta técnica tiene una serie de ventajas como son:

- Se ajusta perfectamente al campo de la selección de proyectos, donde cada una de las unidades de decisión serán los proyectos candidatos y en los que los inputs y outputs considerados serán los diferentes criterios a tener en cuenta para seleccionar o no los proyectos. De esta manera, esta técnica, basada en un conjunto de criterios, determinará dos grupos de proyectos: los técnicamente eficientes y, por tanto, inicialmente financiables y los no eficientes, para los que la técnica nos presenta información suficiente para determinar en qué aspectos deben mejorarse estos proyectos comparados con los eficientes para pasar a ser eficientes.
- Se trata de una herramienta de decisión multicriterio que no necesita que las variables consideradas se presenten en la misma escala de medida, hecho este que normalmente ocurre en el campo de la toma de decisión, donde generalmente nos enfrentamos a criterios de muy diferentes características y unidades de medida. Esta herramienta permite trabajar tanto con criterios de muy diferente escala de medida, como con criterios muy heterogéneos e, incluso, con datos cualitativos e imprecisos (IDEA).
- No necesitamos una ponderación *a priori* de los criterios seleccionados, sino que el propio modelo nos muestra las ponderaciones que deben tomar cada uno de los criterios para presentar esas unidades eficientes (proyectos). Este aspecto es fundamental en el campo de la selección de proyectos, en el que existe un alto grado de incertidumbre en relación a la importancia relativa de cada uno de los criterios considerados.

Con respecto a sus inconvenientes, aparece como principal debilidad que nos enfrentamos a un análisis que, aunque refleja cuáles son los proyectos técnicamente eficientes, no nos indica ninguna medida para discriminar dentro del grupo de los proyectos técnicamente eficientes, de manera que si no tuviésemos presupuesto suficiente para financiar a todos los eficientes no podríamos establecer un orden, lo que convierte a esta técnica en adecuada para ser complementada por otra. Esta técnica, al igual que ocurría con el análisis cluster, puede ser utilizada para realizar una clasificación inicial (filtro), presentando dos grupos de proyectos (eficientes *versus* ineficientes), eliminando del estudio aquellos proyectos que, considerando estos criterios, no son técnicamente eficientes, para posteriormente con los proyectos eficientes realizar un nuevo análisis utilizando cualquiera otra técnicas de selección, tal y como podemos observar en los trabajos presentados por Oral *et al.* (1991) y Linton *et al.* (2002).

C) Modelos de programación matemática

Esta tercera categoría evalúa y selecciona grupos de proyectos pero, a diferencia de todas las técnicas analizadas hasta ahora, nos permite contemplar aspectos de indudable interés práctico como es la consideración de un horizonte temporal de planificación, la existencia de multiplicidad de restricciones, no solo financieras, en distintos instantes temporales, junto con la posibilidad de que existan ciertas relaciones de complementariedad, interrelaciones, relaciones de precedencia, etc., entre los proyectos considerados. Con estos modelos, de manera genérica, se obtiene una o más soluciones que, verificando las restricciones establecidas, optimicen la/s función/es objetivo/s.

Dentro de este bloque, podemos distinguir: programación monobjetivo, multiobjetivo y programación por metas. A continuación, pasamos a describirlos.

C₁) Modelos de programación monobjetivo

Los modelos de programación monobjetivo comenzaron a utilizarse en el campo de la selección de carteras de proyectos, de una manera más prolífera y generalizada, a finales de la década de los 80 y principios de los 90 del siglo XX, intentando abordar todas las características que afectan a este tipo de problemas e ir avanzando los procedimientos técnicos de resolución de los problemas formulados. Con ello se consigue salvar las principales deficiencias de las técnicas utilizadas para seleccionar proyectos presentadas hasta entonces.

Los primeros estudios en este campo se realizaron utilizando la *Programación Lineal Monobjetivo Discreta*. En ellos, se trata de determinar el conjunto de proyectos a seleccionar de manera que se haga óptima alguna medida del valor del mismo, recogida mediante una función lineal, siempre que no sean rebasadas las disponibilidades de recursos y se verifique el resto de restricciones que puedan aparecer, todas ellas de carácter lineal. En estos modelos, se suele adoptar la hipótesis de que los proyectos no son fraccionables; es decir, las variables de decisión suelen ser binarias, $x_i \in \{0,1\}$, de manera que si $x_i = 0$ entonces el proyecto p_i no es seleccionado, mientras que si $x_i = 1$ dicho proyecto sí se selecciona. En consecuencia, estaríamos ante un problema de programación lineal binario con la siguiente estructura básica:

$$\text{Max (Min)} \quad f(x) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_Ix_I$$

$$\text{sujeta a} \quad x \in B$$

$$x_i \in \{0,1\}, i = 1, 2, \dots, I$$

donde:

$c = (c_1, c_2, \dots, c_I)$ denota el vector de coeficientes de la función objetivo,

x es el vector de las variables de decisión: $x = (x_1, \dots, x_I)$,

B es el conjunto factible o de oportunidades.

Presentaremos un sencillo ejemplo (Supuesto 10) procedente de Martino (1995, p. 45-47)⁷, que será utilizado tanto para resolver la programación monobjetivo como para la programación multiobjetivo y programación por metas (apartados C_2 y C_3 siguientes, realizando pequeñas modificaciones en el ejemplo, dadas las características de los propios modelos).

Supongamos que una empresa de investigación pretende fabricar un conjunto de prototipos y aparatos experimentales, para lo que le plantea a las diferentes áreas de investigación que componen la empresa que presenten sus propuestas. Se recogen 16 proyectos candidatos $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{16}\}$ para la realización de estos prototipos, que quedan reflejados por las variables $x = (x_1, \dots, x_{16})$, y la empresa decide seleccionar aquellos que permitan recibir el mayor ingreso posible, cumpliendo con las restricciones siguientes:

- El presupuesto disponible para I&D en el siguiente año fiscal no supera 500\$; y
- no se utiliza ni más de 1300 horas de fábrica, ni más de 390 horas de megaordenadores para la construcción de estos aparatos experimentales.
- Además, de los cinco primeros proyectos no se quieren seleccionar más de dos y el proyecto p_{10} solo se puede seleccionar si se ha seleccionado el proyecto p_{12} . Para realizar el proceso de selección de los proyectos se dispone de la información necesaria para la ejecución de cada uno de los 16 proyectos candidatos, reflejada en la Tabla 18.

Tabla 18. Matriz de datos de los diferentes proyectos para el Supuesto 10.

	Costes 100\$ (c_i)	Ingresos Mill.\$ (I_i)	Horas fábrica (Hf_i)	Horas ordenador (Ho_i)
$P_1 (x_1)$	48	47	60	29
$P_2 (x_2)$	38	41	189	48
$P_3 (x_3)$	40	18	105	51
$P_4 (x_4)$	43	38	174	23
$P_5 (x_5)$	35	342	191	20
$P_6 (x_6)$	25	375	55	51
$P_7 (x_7)$	26	122	196	47
$P_8 (x_8)$	41	152	120	34
$P_9 (x_9)$	53	81	208	51
$P_{10} (x_{10})$	81	67	59	33
$P_{11} (x_{11})$	97	71	224	28
$P_{12} (x_{12})$	51	153	82	40
$P_{13} (x_{13})$	89	74	66	52
$P_{14} (x_{14})$	78	29	176	24
$P_{15} (x_{15})$	97	62	109	28
$P_{16} (x_{16})$	90	90	235	50

A partir de estos datos, el problema planteado es el siguiente:

⁷ Algunos de los datos de este Supuesto 10 ya han sido utilizados para el análisis cluster anterior.

$$\begin{aligned}
& \text{Max } \sum_{i=1}^{16} I_i \cdot x_i \\
& \text{s.a. } \sum_{i=1}^{16} c_i \cdot x_i \leq 500 \\
& \quad \sum_{i=1}^{16} Hf_i \cdot x_i \leq 1300 \\
& \quad \sum_{i=1}^{16} Ho_i \cdot x_i \leq 390 \\
& \quad \sum_{i=1}^5 x_i \leq 2 \\
& \quad x_{10} \leq x_{12} \\
& \quad x_i = \{0,1\} \quad i = 1,2,\dots,16.
\end{aligned}$$

Una vez resuelto el problema, el resultado obtenido implica que el grupo de proyectos seleccionados y, por tanto, financiados debe ser: $S = \{p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{10}, p_{12}, p_{13}, p_{16}\}$.

Como se puede observar del problema anterior, este tipo de modelos presenta como principal ventaja su sencillez. No obstante, si el problema lineal binario de partida es de un tamaño considerable, nos encontramos con la dificultad de encontrar un algoritmo eficiente que sea capaz de resolverlo.

En este contexto, cabe destacar el trabajo de Lorie y Savage (1955), quienes fueron los primeros en plantear y resolver, en términos de programación lineal, el problema de selección de proyectos teniendo en cuenta, de forma explícita, la limitación temporal de recursos financieros. Posteriormente, Weingartner (1966) refina el trabajo anterior, pero no será hasta finales de los años 80 del siglo XX cuando empieza a aparecer multitud de trabajos que utilizan la programación monoobjetivo para seleccionar proyectos. En los años 80-90, a medida que se va desarrollando el uso de la programación monoobjetivo como técnica de selección de cartera de proyectos (grupo de proyectos), comienzan a surgir las primeras carencias, ya que el ámbito en el que se toman decisiones en cualquier organización está marcado, como hemos comentado anteriormente, por el deseo de tener en cuenta no un único objetivo, sino un conjunto de ellos que expresen con mayor fidelidad la realidad en la que se encuentran los proyectos candidatos.

Comienza así a contemplarse la optimización multiobjetivo (C_2) dentro del campo de la selección de proyectos.

C_2) Modelos de programación multiobjetivo

La estructura general de un problema multiobjetivo puede representarse esquemáticamente de la siguiente manera:

$$\text{Opt. } F(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_I(x))$$

$$\text{s.a. } x \in B, x_i \in \{0,1\}, i=1,2,\dots,I$$

donde:

x es el vector de las variables de decisión $x = (x_1, \dots, x_I)$ para $x_i \in \{0,1\}$;

$f_1(x), f_2(x), \dots, f_z(x)$ son las funciones objetivo a ser optimizadas; y

B , tal y como hemos definido previamente, es el conjunto factible de proyectos.

Dado que normalmente la optimización simultánea de todos los criterios es casi imposible (muchos de ellos suelen estar en conflicto), el enfoque multiobjetivo, en lugar de una solución óptima, proporciona el conjunto de soluciones eficientes o *Pareto-óptimas*. Este conjunto está formado por las soluciones factibles no dominadas, es decir, para las que no existe otra solución factible que mejore algún criterio sin empeorar otro.

Para ilustrar el modelo, partiremos del Supuesto 10, presentado en el apartado anterior (C_I), teniendo en cuenta que ahora se quiere, además de maximizar el ingreso, minimizar el coste. En consecuencia, el problema quedaría formalizado de la siguiente manera:

$$\left(\text{Max} \sum_{i=1}^{16} I_i \cdot x_i, \text{Min} \sum_{i=1}^{16} c_i \cdot x_i \right)$$

$$\text{s.a. } \sum_{i=1}^{16} Hf_i \cdot x_i \leq 1300$$

$$\sum_{i=1}^{16} Ho_i \cdot x_i \leq 390$$

$$\sum_{i=1}^5 x_i \leq 2$$

$$x_{10} \leq x_{12}$$

$$x_i = \{0,1\} \quad i=1,2,\dots,16.$$

Las siguientes carteras se corresponden con dos de las soluciones eficientes asociadas a este problema: $\{(p_5, p_6, p_7, p_8, p_{11}, p_{12}, p_{13}, p_{15}, p_{16}); (p_1, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{12}, p_{15}, p_{16}); \dots\}$.

Los modelos de programación multiobjetivo aplicados a la selección de proyectos y cartera de proyectos han sido ampliamente utilizados. Buen ejemplo de ello son los presentados por Czajkowski y Jones (1986) o los de Ringuest y Graves (1989, 1990).

El problema que se plantea con estos modelos es que el conjunto de soluciones eficientes está formado, normalmente, por un elevado número de puntos, información esta que puede ser difícil de manejar por el centro decisor. Ahora bien, esta posible carencia puede ser considerada una fortaleza si se parte del enfoque multiobjetivo como la primera etapa de un proceso decisonal, que nos permite dividir la información inicial en dos subconjuntos: soluciones eficientes y no eficientes. Posteriormente, se podría elegir aquella/s que resulte/n “óptimas para

el decisor”, siendo en este momento donde se tendrían que introducir, de alguna manera, las preferencias del centro decisor (Romero, 1993).

Por otra parte, la dificultad técnica, comentada anteriormente, para la resolución de un problema lineal binario complejo, en un tiempo prudencial, se acentúa aún más si el problema tiene más de un objetivo. Ante ello, comienzan a aparecer algoritmos heurísticos que proporcionan soluciones aproximadas a problemas complejos, para los que resulta demasiado difícil, o quizás hasta imposible, resolverlos de una forma exacta. Un ejemplo de un heurístico específicamente desarrollado para seleccionar proyectos es el SS-PPS (Scatter Search for Project Portfolio Selection), heurístico que podemos encontrar en los trabajos de Carazo (2007) y Molina *et al.* (2007).

C₃) Modelos de programación por metas

En estos modelos se reemplaza la filosofía de optimización por una filosofía satisfaciente, bajo la óptica de que en muchas situaciones no se buscan soluciones óptimas sino soluciones que verifiquen determinados niveles de aspiración con las que el decisor se encuentra satisfecho. Para resolver el problema de programación por metas existen tres enfoques principales: programación por metas ponderadas, lexicográficas y minimax (Ballester y Romero, 1998).

La formulación de un modelo de programación por metas, por cualquiera de las anteriores variantes, conlleva la fijación de niveles de aspiración para cada uno de los atributos considerados, cuya combinación generan las correspondientes metas. El objetivo consiste en determinar si existe alguna solución factible que verifique las metas establecidas. Al resolver un problema de programación por metas puede ocurrir que:

- El valor de la función objetivo = 0, y, por tanto, se alcanzan todos los niveles de aspiración.
- El valor de la función objetivo sea diferente de 0; en este caso la solución no verifica alguno de los niveles de aspiración, pero es la solución más próxima a los niveles de impuestos.

A continuación, resolveremos el supuesto planteado en los anteriores apartados utilizando la programación por metas ponderadas. Para este caso concreto, se supone que las metas establecidas por el agente decisor son: por un lado, obtener un mínimo de ingresos de 1250 millones de dólares y, por otro, que el coste no supere 500 mil dólares, teniendo en cuenta el resto de restricciones establecidas en el ejercicio anterior. En consecuencia, las metas son:

$$\sum_{i=1}^{16} I_i \cdot x_i + n_1 - p_1 = 1250 \quad \text{y} \quad \sum_{i=1}^{16} c_i \cdot x_i + n_2 - p_2 = 500,$$

donde n_j, p_j ($j=1,2$) son las variables de desviación negativa y positiva, respectivamente, que cuantificarán la falta y el exceso de logro de la meta con respecto al nivel de aspiración. En este

caso, lo deseable es que n_1 y p_2 valgan cero, para que así el ingreso sea superior a 1250 y el coste inferior a 500. En consecuencia, si aplicamos la programación por metas ponderadas, considerando que las 2 metas son igualmente importantes, el problema a resolver es el siguiente:

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } \frac{n_1}{1250} + \frac{p_2}{500} \\
 & \text{s.a. } \sum_{i=1}^{16} I_i \cdot x_i + n_1 - p_1 = 1250 \\
 & \quad \sum_{i=1}^{16} c_i \cdot x_i + n_2 - p_2 = 500 \\
 & \quad \sum_{i=1}^{16} Hf_i \cdot x_i \leq 1300 \\
 & \quad \sum_{i=1}^{16} Ho_i \cdot x_i \leq 390 \\
 & \quad \sum_{i=1}^5 x_i \leq 2 \\
 & \quad x_{10} \leq x_{12} \\
 & \quad x_i = \{0,1\};
 \end{aligned}$$

La siguiente solución verifica todos los niveles de aspiración: (0,0,0,0,1,1,1,1,1,0,1,0,1,0,0,1), la cual conlleva el siguiente conjunto de proyectos:

$$S = \{p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{11}, p_{13}, p_{16}\}.$$

La programación por metas constituye uno de los enfoques multicriterio más utilizado en la práctica, debido a su versatilidad y adaptabilidad en distintos contextos decisionales. Entre los numerosos trabajos que podemos encontrar de la aplicación de este enfoque en el contexto de la selección de proyectos, podemos mencionar el de Schniederjans y Wilson (1991), Santhanam y Kyparisis (1995) y Lee y Kim (2001). El principal inconveniente de esta técnica se encuentra en que los decisores deben determinar *a priori* los niveles de aspiración para cada uno de los atributos, tarea que, en ocasiones, puede ser difícil y más aún en el contexto de la selección de proyectos en los que la incertidumbre es un factor clave. Además, la selección de estos niveles de aspiración puede sesgar en gran medida la decisión hacia una determinada selección.

Para finalizar, queremos destacar que, a partir de esta breve recapitulación de las técnicas más utilizadas a lo largo de los años para la selección de proyectos, se desprende que la calidad de los resultados obtenidos tras la aplicación de una técnica no solo depende de la maestría en su uso, sino también de la propia técnica utilizada y, en consecuencia, la elección de una

cualquiera de ellas está condicionada por la problemática concreta, dentro de la selección de proyectos que se intente abordar y del tipo de información disponible.

Queremos señalar que existe una serie de trabajos que recomiendan utilizar más de una técnica, ya sea para observar si los resultados obtenidos son similares y, en consecuencia, más fiables, o bien combinándolas, utilizando (por ejemplo, para hacer un filtro inicial de los proyectos eliminando aquellos que no cumplan unas condiciones iniciales) una técnica de “medida del beneficio” y luego, para la selección de proyectos, un modelo de programación matemática. En esta línea, podemos mencionar los trabajos de Henriksen y Traynor (1999), Spradlin y Kutoloski (1999), Linton *et al.* (2002), Coldrick *et al.* (2002, 2005), Gustafsson y Salo (2005), Lawson *et al.* (2006), o incluso los de Brans *et al.* (1986) y Mavrotas *et al.* (2003, 2006), quienes utilizan modelos de ranking (Promete y Elete-III) para realizar una primera selección de proyectos y, posteriormente, se apoyan en algún modelo de programación matemática para seleccionar los proyectos más adecuados.

Por otra parte, también se puede apreciar que, a lo largo de los años, no solo han ido cambiando o evolucionando las técnicas a emplear y su uso, sino también el problema a resolver. En la actualidad, el objetivo ya no se centra tanto en seleccionar, con los recursos disponibles, los mejores proyectos, sino en elegir y determinar la cartera de proyectos estableciendo en qué momento deben comenzar a ejecutarse los proyectos seleccionados. Si tenemos en cuenta ese nuevo problema, parece que el futuro se encuentra en apoyarse en la flexibilidad de los modelos de programación matemática, los cuales permiten analizar la situación presentada en su conjunto, contemplando diferentes objetivos (problema multiobjetivo) y restricciones de diferente naturaleza dentro de un horizonte temporal de planificación.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, pensamos que es fundamental partir de este tipo de problemas para presentar un modelo global que tenga en cuenta todos los aspectos anteriormente comentados y que solucione aspectos no completamente resueltos hasta este momento, entre los que cabe destacar el estudio de las interacciones entre proyectos y el análisis de la planificación temporal en toda su magnitud, de manera que se consideren los recursos disponibles en cada momento, en qué momento se producen las relaciones o sinergias entre proyectos, si se pueden realizar transvases de recursos de un periodo a otros... En este sentido, empiezan a surgir propuestas de modelos globales, como el diseñado dentro de nuestro grupo (ver Caballero *et al.* 2007; Carazo, 2007; Carazo *et al.*, 2007) para resolver el problema de la selección y planificación temporal de una cartera de proyectos por parte de cualquier organización; todo ello sin olvidar que, en última instancia, el papel de los modelos es apoyar o

facilitar la toma de decisiones, no tomarlas por sí mismos, ya que la respuesta final sobre qué proyectos financiar recae, en última instancia, en el agente decisor.

5. Conclusiones

Una vez presentado el trabajo, nos parece fundamental puntualizar dos aspectos importantes. En primer lugar, aunque existían estudios que analizaban individualmente cada una de estas técnicas, el estudio aquí presentado viene a aportar una visión global del campo, dado que no existían (o no son conocidos por parte de los autores) trabajos que analicen todas estas técnicas de manera exhaustiva. Con este trabajo, además de describir y analizar los diferentes modelos considerados hasta nuestros días, hemos contribuido a:

- presentar un ejemplo sencillo de cada uno de los modelos considerados, aportando una visión longitudinal de las diferentes técnicas;
- ofrecer información útil sobre las sucesivas incorporaciones que se han realizado, indicando cuáles son las ventajas e inconvenientes de cada una de las técnicas, contextualizando las necesidades que las han generado e informando de cómo las diferentes tendencias les han afectado.

En segundo lugar, el análisis realizado a las diferentes técnicas presentadas ha permitido observar que existe una carencia que debe ser resuelta, ya que los estudios presentados hasta el momento no resuelven el problema de la selección y planificación temporal de cartera de proyectos en su conjunto.

El hecho anterior lleva a que surja la necesidad de tender a modelos de selección de carteras de proyectos generales, como el propuesto por los autores en Carazo *et al.* (2007), que permitan resolver cualquier problema de selección y planificación de cartera de proyectos y que tengan en cuenta simultáneamente la selección de carteras de proyectos (analizando las interdependencias) y la planificación temporal de los proyectos que las componen. Se incorpora así la apreciación de la no independencia de ambos aspectos y la idea de que su conjunción va a permitir una mejor distribución de los recursos a lo largo del horizonte temporal fijado, que permita una mejora en algo que es clave para toda organización empresarial: la selección de portfolios eficientes en poco tiempo.

Referencias

Apperson, C., Arefzadeh, F., Dinsmore, A., Grabowski, R., May, D., Morandi, K., Tawney, B. y White, K.P. (2005). “*Project selection for technology investment*”, IEEE Conference Proceedings of the 2005 Systems and Information Engineering Design Symposium, 151-157.

- Archer, N.P. y Ghasemzadeh, F. (1999). *“Project portfolio selection techniques: a review and suggested integrated approach”*, En: Dye, L.D. y Pennypacker, J.S., editores. *Project Portfolio Management: selecting and prioritizing projects for competitive advantage*, West Chester, PA, USA: Center for Business, 207-237.
- Baker, N.R. y Pound, W.H. (1964). *“R&D project selection: where we stand”*, IEEE Transactions on Engineering Management, 11, 4, 124-134.
- Baker, N.R. (1974). *“R&D project selection models: an assessment”*, IEEE Transactions on Engineering Management, EM-21, 4, 165-171.
- Baker, N.R. y Freeland, J. (1975). *“Recent advances in R&D benefit measurement and project selection methods”*, Management Science, 21, 10, 1164-1175.
- Ballesteros, E. y Romero, C. (1998). *Multiple Criteria Decision Making and its Applications to Economic Problems*, Kluwer, Boston.
- Barba-Romero, S. y Pomerol, J.C. (1997). *Decisiones multicriterio, fundamentos teóricos y utilización práctica*, Colecciones de Economía. Servicio de Publicaciones Universidad de Alcalá, Madrid.
- Brans, J.P., Vincke, B.H. y Mareschal, B. (1986). *“How to select and how to rank projects: the PROMETHEE method”*, European Journal of Operational Research, 24, 228-238.
- Caballero, R., Gómez, T., Molina, J., Carazo, A.F. y Hernández-Díaz, A.G. (2007). *“A general model for multi-objective project portfolio selection”*, 19th International Conference on Multiple Criteria Decision Making. MCDM for Sustainable Energy and Transportation Systems, Auckland (Nueva Zelanda).
- Carazo, A.F. (2007). *“Selección y planificación temporal de una cartera de proyectos bajo un enfoque multicriterio”*, Tesis Doctoral, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla.
- Carazo, A.F., Gómez T., Molina, J., Hernández-Díaz, A., Caballero, R. y Guerrero, F. (2007). *“Selección y planificación de cartera de proyectos: formalización de un modelo genérico”*, RECT@: Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA.
- Charnes, A., Cooper, W.W. y Rhodes, E. (1978). *“Measuring the efficiency of decision making units”*, European Journal of Operational Research, 2, 3, 429-444.
- Chien, C. (2002). *“A portfolio-evaluation framework for selecting R&D projects”*, R&D Management, 32, 4, 359-368.
- Chiou, H-K. y Tzeng, G-H. (2004). *“DEA with imprecise data for R&D project evaluation in Taiwan”*, En MOPGP 04, 6th Multi Objective Programming and Goal Programming Conference. New Trends and Applications.
- Cho, K.T. y Kwon, C.S. (2004). *“Hierarchies with dependence of technological alternatives: a cross-impact hierarchy process”*, European Journal of Operational Research, 156, 2, 420-432.
- Cleland, D.I. y Ireland, L.R. (2002). *Project management strategic design and implementation*. McGraw-Hill Professional, New York.
- Coldrick, S., Lawson, C.P., Lockwood, C. y Ivey, P.C. (2002). *“A decision framework for R&D project selection”*, Engineering Management Conference, IEEE International, 1, 413-418.

- Coldrick, S., Longhurst, P., Ivey, P.C. y Hannis, J. (2005). "An R&D options selection model for investment decisions", *Technovation*, 25, 3, 185-193.
- Cook, W.D. (2004). "Qualitative data in DEA", En: Cooper, W.W., Seifor, L.M. and Zhu, J., editores. *Envelopment Analysis*, Kluwer Academic Publishers, London, 153-176.
- Cooper, W.W., Park, K.S. y Yu, G. (1999b). "IDEA and AR-IDEA: models for dealing with imprecise data in DEA", *Management Science*, 45, 4, 597-607.
- Cooper, R.G., Edgett, S.J. y Kleinschmidt, E.J. (2001). "Portfolio management for new product development: results of an industry practices study", *R&D Management*, 31, 4, 361-378.
- Czajkowski, A.F. y Jones, S. (1986). "Selecting interrelated R&D projects in space technology planning", *IEEE Transactions on Engineering Management*, EM-33, 1, 17-24.
- Duarte, B.P.M. y Reis, A. (2006). "Developing a project evaluation system based on multiple attribute value theory", *Computers & Operations Research*, 33, 5, 1488-1504.
- Dye, L.D. y Pennypacker, J.S. (1999). "An introduction to project portfolio management", En: Dye, L.D. y Pennypacker, J.S., editores. *Project Portfolio Management: selecting and prioritizing projects for competitive advantage*, West Chester, PA, USA: Center for Business Practices. XI-XVI.
- Easton, A. (1973). *Complex managerial decisions involving multiple objectives*, Jonh Wiley and Sons, New York.
- Eilat, H., Golany, B. y Shtub, A. (2006). "Constructing and evaluating balanced portfolios of R&D projects with interactions: a DEA based methodology", *European Journal of Operational Research*, 172, 1018-1039.
- Ellis, L.W. (1984). "Viewing R&D project financially", *Research Management*, 7, 2, 29-34.
- Fernández, E. y Navaro, J. (2005). "Computer-based decision models for R&D project selection in public organizations", *Foundations of Computing and Decision Sciences*, 30, 2, 103-131.
- Fox, G.E., Baker, N.R. y Bryant, J.L. (1984). "Economic models for R&D project selection in the presence of project interactions", *Management Science*, 30, 890-902.
- Freeman, C. (1982). *The Economics of industrial Innovation*, Frances Printer, London.
- Gear, A.E. y Lockett, A.G. (1973). "A dynamic model of multistage aspects of research and development portfolios", *IEEE Transactions on Engineering Management*, EM20, 1, 22-29.
- Gear, A.E. (1974). "A review of some recent developments in portfolio modelling in applied research and development", *IEEE Transactions on Engineering Management*, 21, 3, 119-125.
- Graves, S.B. y Ringuest, J.L. (1991). "Evaluating competing R&D investments", *Research Technology Management*, 34, 4, 32-35.
- Graves, S.B. y Ringuest, J.L. (2003). *Models & methods for project selection: concepts from management science, finance and information technology*, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Gustafsson, J. y Salo, A. (2005). "Contingent portfolio programming for the management of risk project", *Inform*, 53, 6, 946-956.

- Hall, D.L. y Nauda, A. (1990). “*Interactive approach for selecting IR&D projects*”, IEEE Transaction on Engineering Management, 37, 2, 126-131.
- Hartmann, M. y Hassan, A. (2006). “*Application of real options analysis for pharmaceutical R&D project valuation-empirical results from a survey*”, Research Policy, 35, 343-354.
- Heidenberger, K. (1996). “*Dynamic project selection and funding under risk: a decision tree based MILP approach*”, European Journal of Operational Research, 95, 2, 284-298.
- Heidenberger, K. y Stummer, C. (1999). “*Research and development project selection and resource allocation: a review of quantitative modelling approaches*”, International Journal of Management Reviews, 1, 197-224.
- Henriksen, A.D. y Traynor, J.A. (1999). “*A practical R&D project selection scoring tool*”, IEEE Transactions on Engineering Management, 46, 2, 158-170.
- Hess, S.W. (1993). “*Swinging on the branch of a tree: project selection applications*”, Interfaces, 23, 6, 5-12.
- Howard, R.A. y Metheson, J.E. (1984). “*Influence diagrams*”, En: Howard, R.A. y Metheson, J.E., editores. Readings on the Principles and Applications of Decision Analysis, Vol. II: Professional Collection, Strategic Decision Group, Menlo Park, CA, 719-762.
- Jackson, B. (1983). “*Decision methods for selecting a portfolio of R&D projects*”, Research Management, 26, 5, 21-26.
- Keeney, R.L. y Raiffa, H. (1976). *Decision with multiple objectives: preferences and value tradeoffs*, John Wiley and Sons, New York.
- Kimms, A. (2001). *Mathematical Programming and Financial Objectives for Scheduling Projects*, Kluwer, Boston.
- Lawson, C.P., Longhurst, P.J. y Ivey, P.C. (2006). “*The application of a new research and development project selection model in SMEs*”, Technovation, 26, 2, 242-250.
- Lee, J.W. y Kim, S.H. (2001). “*An integrated approach for interdependent information system project selection*”, International Journal of Project Management, 19, 2, 111-118.
- Liberatore, M.J. y Titus, G.J. (1983). “*The practice of Management Science R&D Project Management*”, Management Science, 29, 8, 962-974.
- Liberatore, M.J. (1987). “*An extension of the analytic hierarchy process for industrial R&D project selection and resource allocation*”, IEEE Transactions on Engineering Management, 34, 4, 12-18.
- Linton, J.D., Walsh, S.T. y Morabito, J. (2002). “*Analysis, ranking and selection of R&D projects in a portfolio*”, R&D Management, 32, 2, 139-148.
- Lockett, G., Hetherington, B. y Yallup, P. (1986). “*Modeling a research portfolio using AHP: a group decision process*”, R&D Management, 16, 2, 151-160.
- Lorie, J.H. y Savage, L.J. (1955). “*Three problems in Rationing Capital*”, Journal of Business, 28, 229-239.

- Lucas, H. y Moore, J. (1976). "A multiple-criterion scoring approach to information system project selection", *Infor*, 14, 1, 1-12.
- Martino, J.P. (1995). *Research and development project selection*. Wiley Series in Engineering & Technology Management, New York.
- Mathieu, R.G. y Gibson, J.E. (1993). "A methodology for large-scale R&D planning based on cluster analysis", *IEEE Transactions on Engineering Management*, 40, 3, 283-292.
- Mavrotas, G., Diakoulaki, D. y Capros, P. (2003). "Combined MCDA-IP approach for project selection in the electricity market", *Annals of Operations Research*, 120, 159-170.
- Mavrotas, G., Diakoulaki, D. y Caloghirou, Y. (2006). "Project prioritization under policy restrictions. A combination of MCDA with 0-1 programming", *European Journal of Operational Research* 171, 1, 296-308.
- Meredith, J.R. y Mantel, S.J. (1999). "Project Selection", En: Dye, L.D. y Pennypacker, J.S., editores. *Project Portfolio Management: selecting and prioritizing projects for competitive advantage*, West Chester, PA, USA: Center for Business Practices, 135-167.
- Molina, J., Hernández-Díaz, A., Carazo, A.F., Caballero, R. y Gómez, T. (2007). "Instance generator for a Multi-Objective project portfolio selection problem", EURO XXII. 22nd European Conference On Operational Research. Prague (Czech Republic).
- Moore, J.R. y Baker, N.R. (1969). "An analytical approach to scoring model design-application to research and development project selection", *IEEE Transactions on Engineering Management*, 16, 3, 90-98.
- Oral, M., Kettani, O. y Lang, P. (1991). "A methodology for collective evaluation and selection of industrial R&D project", *Management Science*, 37, 7, 871-885.
- Ormala, E. (1986). *Analysis and supporting R&D project evaluation*, Technical Research Centre of Finland, Espoo.
- Paralera, C. (2005). "Localización de incineradoras de materiales específicos de riesgo en Andalucía bajo un enfoque multicriterio", Tesis Doctoral, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla.
- Pessemier, E.A. y Baker, N.D. (1971). "Project and program decisions in research development", *R&D Management*, 2, 1, 3-14.
- Ringuest, J.L. y Graves, S.B. (1989). "The linear multi-objective R&D project selection problem", *IEEE Transactions on Engineering Management*, 36, 1, 54-57.
- Ringuest, J.L. y Graves, S.B. (1990). "The linear R&D project selection problem. An alternative to net present value", *IEEE Transactions on Engineering Management*, 37, 2, 143-146.
- Ríos, S., Bielza, C. y Mateos, A. (2002). *Fundamentos de los Sistemas de Ayuda a la Decisión*, RA-MA, Madrid.
- Romero, C. (1993). *Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones*, Alianza editorial, Madrid.

Saaty, T.L. (1980). *The analytic hierarchy process: planning, priority, setting resource allocation*, McGraw-Hill, New York.

Santhanam, R. y Kyparisis, J. (1995). "A multiple criteria decision model for information system project selection", *Computers Operations Research*, 22, 8, 807-818.

Savage, L.J. (1954). *The Foundations of Statistics*, John Wiley, New York.

Schniederjans, M.J. y Wilson, R.L. (1991). "Using the analytic hierarchy process and goal programming for information system project selection", *Information & Management*, 20, 5, 333-342.

Spradlin, C.T. y Kutoloski D.M. (1999). "Action-oriented portfolio management", *Research Technology Management*, 42, 2, 26-32.

Smith, S. y Baker, J. (1999). "Benefit-cost ratio: selection tool or trap", En: Dye, L.D. y Pennypacker, J.S., editores. *Project Portfolio Management: selecting and prioritizing projects for competitive advantage*, West Chester, PA, USA: Center for Business Practices, 281-285.

Weingartner, H.M. (1966). "Capital budgeting of interrelated projects: survey and synthesis", *Management Science*, 12, 485-516.

Volumen 5 (junio de 2008)

Análisis de la aparición de discapacidades en personas mayores de Cataluña

Analysis of disability onset of the elderly in Catalonia

Bermúdez Morata, Lluís; Blay Berrueta, Daniel; Guillén Estany, Montserrat

Páginas 3–16

Validity Examination of EFQM's Results by DEA Models

Examen de la validez de los resultados de EFQM mediante modelos DEA

Zerafat Angiz Langroudi, Madjid; Jandaghi, Gholamreza; Ben Mustafa, Adli

Páginas 17–28

Efectos olvidados en las relaciones de causalidad de las acciones del sistema de capacitación en las organizaciones empresariales

Forgotten effects of the causality relationships in the knowledge management in tourism organizations

Rodríguez Rubinos, Jesús Miguel; Ramírez Reyes, Miguel Armando; Díaz Pontones, Vicente

Páginas 29–48

Consecuencias del efecto Bullwhip según distintas estrategias de gestión de la cadena de suministro: modelado y simulación

Bullwhip Effect Consequences according to Different Supply Chain Management Strategies: Modelling and Simulation

Campuzano Bolarín, Francisco; Lario Esteban, Francisco Cruz; Ros McDonnell, Lorenzo

Páginas 49–66

Evaluación y clasificación de las técnicas utilizadas por las organizaciones, en las últimas décadas, para seleccionar proyectos

Evaluation and classification of the techniques used by organizations in the last decades to select projects

Fernández Carazo, Ana; Gómez Núñez, Trinidad; Guerrero Casas, Flor M.; Caballero

Fernández, Rafael

Páginas 67–115