

LA EVALUACIÓN DE INVERSIONES EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN. APLICACIONES A LA TEORÍA DE LA DECISIÓN MULTICRITERIO

CARLOS PIÑEIRO SÁNCHEZ¹

Departamento de Economía Financiera y Contabilidad
Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales
Universidad de A Coruña

Recibido: 22 de abril de 2002

Aceptado: 25 de noviembre de 2002

Resumen: El problema de la selección de inversiones se ha formulado tradicionalmente desde la óptica de la economía de la empresa, considerando criterios financieros como el valor actual neto o la tasa interna de rendimiento. Estos métodos están avalados por su fundamento teórico y por su acreditada eficacia práctica; sin embargo, la evidencia empírica sugiere que no son adecuados para la evaluación de sistemas de información. Este artículo propone el fundamento de un método práctico para la evaluación de inversiones en tecnologías de la información basado en el modelo AHP de decisión multicriterio.

Palabras clave: Selección de inversiones / Sistemas de información / Decisión multicriterio / AHP.

THE EVALUATION OF INVESTMENTS. APPLICATIONS OF MULTICRITERIA DECISION THEORY

Abstract: Most companies manage their investment portfolio according to financial methods such as NPV or IROT. These criteria are supported by a strong theoretical background and a verified practical performance, but empirical evidence suggests that they are not suitable for the evaluation of information systems. This paper sets out the basics of a practical method to evaluate IT investment, based on the AHP multicriteria decision technique.

Keywords: Investment selection / Information systems / Multicriteria decision / AHP.

1. MÉTODOS TRADICIONALES DE EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE INVERSIONES

La selección de inversiones implica la toma de decisiones acerca de qué proyectos debe acometer la empresa dentro de sus limitaciones de capital y de acuerdo con su contribución al objetivo general de maximizar el valor actual neto o la riqueza de los accionistas (Doldán, 2001). En la práctica, este objetivo se articula en cierto número de criterios y métodos de selección cuyo uso depende del entorno de decisión y de las características de las inversiones consideradas. La tabla 1 ofrece una visión general de los métodos empleados comúnmente en la evaluación y selección de proyectos *individuales* de inversión, clasificados de acuerdo con el entorno de negocios y con su fundamento operativo.

¹ El autor agradece los comentarios y sugerencias ofrecidos por dos evaluadores anónimos.

Tabla 1.- Métodos convencionales para la evaluación de proyectos individuales de inversión

		ENTORNO DE CERTEZA	ENTORNO DE RIESGO
FUNDAMENTO OPERATIVO	DATOS CONTABLES	<ul style="list-style-type: none"> • Métodos no financieros - Beneficio medio sobre valor contable de la inversión 	<ul style="list-style-type: none"> • No previsto
	FLUJOS DE CAJA	<ul style="list-style-type: none"> • Métodos no financieros - Valor por período o por u.m. desembolsada - <i>Pay back</i> - Índices de rentabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptación de métodos convencionales - Reducción del horizonte de planificación - Valor cierto equivalente
		<ul style="list-style-type: none"> • Métodos financieros - VAN - TRI - Índice de rentabilidad (ratio beneficio-coste) 	<ul style="list-style-type: none"> • Variabilidad en torno a la media • Métodos de tratamiento - Reducción del horizonte de planificación - Corrección de la tasa de interés - Valor cierto equivalente - Simulación y sensibilidad - Números borrosos - Indicador de deseabilidad de Masse
			<ul style="list-style-type: none"> • Modelos probabilísticos - Modelo de Hillier • Extensiones de modelos financieros - CAPM - Modelo de valoración de opciones

En un entorno cierto la inversión puede evaluarse en términos de rendimiento contable, o considerando su impacto sobre los flujos de caja de la empresa. El rendimiento del proyecto j -ésimo en un período t cualquiera puede expresarse como la relación por cociente entre el beneficio, neto de amortizaciones e impuestos, y la cuantía de la inversión media:

$$r_{jt} = \frac{BN_t - A_t - T_t}{I_t^*}$$

donde r_{jt} es el rendimiento medio del proyecto, BN_t el beneficio neto medio, A_t la cuantía de las amortizaciones, T_t los impuestos e I_t^* la inversión media, todo ello en el período t -ésimo. Otros criterios de perfil contable son el beneficio por unidad monetaria desembolsada, el valor del proyecto por unidad de tiempo o el IROT (índice de rotación).

Una clara limitación de los métodos no financieros es la omisión del valor temporal del dinero, que puede ser relevante si el proyecto implica movimientos de caja distanciados en el tiempo. El valor actual neto, o beneficio total actualizado de la inversión (Schneider, 1956; Van Horne, 1975), homogeneiza los distintos flujos de caja de acuerdo con su vencimiento, y ofrece una estimación del valor financiero del proyecto en el momento presente, lo que resulta coherente con el objetivo general de la maximización de la riqueza.

$$VAN_j = \sum_{t=0}^T \frac{(I_{jt} - G_{jt})}{(1+i)^t}$$

donde I_{jt} y G_{jt} son la cuantía de los flujos de cobro y de pago generados por el proyecto j -ésimo durante su vigencia ($t = 0 \dots T$). Supuesto un mercado perfecto sin limitación de capitales, la tasa de descuento (i) es el tipo de interés al que es posible obtener capitales o colocarlos en el mercado; si, por el contrario, los recursos son limitados, la empresa ordenará sus proyectos de mayor a menor rentabilidad esperada, y la tasa i puede interpretarse como un coste de oportunidad o como el rendimiento de la última inversión².

La popularidad del criterio VAN se explica en gran medida por su simplicidad operativa y por el carácter intuitivo de su interpretación: un proyecto será factible o efectuable en la medida en que posea un VAN positivo, y será tanto más deseable cuanto mayor sea este valor neto. Sin embargo, el modelo de capitalización subyacente obliga a asumir una hipótesis teóricamente objetable e insostenible en la práctica: todos los excedentes de caja son reinvertidos exactamente al mismo tipo de interés calculatorio y las sucesivas financiaciones se obtienen también a ese coste, lo que resulta insostenible ya que los mercados financieros reales no son perfectos.

En la práctica, el VAN suele emplearse conjuntamente con indicadores alternativos, como el índice de rentabilidad o ratio beneficio-coste, que expresa el valor recuperado por unidad monetaria invertida, y la tasa interna de rendimiento, “*el tipo de interés que hace financieramente equivalentes las corrientes de cobros y pagos*” (Schneider, 1956). De acuerdo con este criterio, un proyecto es viable si su TIR es mayor que cero, y *efectuable* si la tasa es superior al coste de capital. Sin embargo, su cálculo es sensible a la estimación de los vencimientos medios de ambas series e indirectamente a la previsión de los flujos de caja; asimismo es aplicable la crítica a la hipótesis de reinversión ya señalada para el VAN.

En un entorno no cierto las medidas de rendimiento deben completarse como una estimación del riesgo del proyecto. Con carácter general el riesgo se interpreta como la dispersión media del rendimiento en torno a su valor esperado y se expresa numéricamente como su dispersión estándar, aunque la forma en que se incorpora al problema depende del modelo de evaluación empleado en cada caso.

Una forma elemental de tratar con el riesgo es reducir el horizonte de planificación; sin embargo, obviamente es una estrategia poco conveniente salvo en situaciones de plena incertidumbre. La aleatoriedad puede ser fácilmente incorporada a los modelos financieros rectificando el tipo de interés calculatorio y/o aplicando coeficientes correctores a los flujos de caja para obtener sus *equivalentes ciertos*. En el primero de los casos, los flujos de caja más alejados en el tiempo se desconta-

² En efecto, la empresa puede considerar la posibilidad de colocar los fondos en un activo rentable en lugar de destinarlos a proyecto alguno.

rán a una tasa más elevada, mientras que en el segundo se les aplicará un coeficiente positivo e inferior a uno para reducir su cuantía efectiva.

Asimismo, existen modelos *ad hoc* de selección de inversiones que, como el sugerido por Hillier (1971), consideran características adicionales de los flujos de caja, por ejemplo su carácter aleatorio o su dependencia o independencia mutuas, y permiten manejar una distribución de probabilidad para el VAN del proyecto. También los modelos estrictamente financieros, como CAPM u OPM³, pueden rendir una notable contribución a la evaluación de inversiones.

Finalmente, las técnicas de experimentación artificial permiten verificar el rendimiento de cada inversión individual en condiciones cuasi-reales, supuesto que se trata de proyectos bien estructurados y susceptibles de modelización. En otro caso, el decisor puede recurrir a instrumentos de análisis de sensibilidad para determinar el impacto de los cambios en uno o en más de los parámetros descriptivos del proyecto o del escenario de decisión.

2. LA EVALUACIÓN DE INVERSIONES EN TI

Las primeras inversiones empresariales en tecnologías de la información se materializaron en sistemas de información *transaccionales* destinados exclusivamente a automatizar actividades rutinarias, lentas y costosas, pero bien estructuradas. Estas aplicaciones reemplazaban al trabajo humano y estaban destinadas a obtener economías de costes y a incrementar la productividad de forma similar a como lo habían hecho las máquinas desde la revolución industrial. No resulta sorprendente que las empresas argumentasen esta analogía operativa para aplicarles métodos de evaluación financiera propios de los equipos industriales.

En la actualidad, la evaluación de inversiones en tecnologías de la información sigue basándose fundamentalmente en medidas financieras, con especial mención del análisis coste-beneficio⁴. Los criterios cualitativos, como la calidad del servicio o el efecto sobre la competitividad, se emplean de forma irregular y poseen un peso marginal en la decisión final.

El trabajo de Bacon (1995) ofrece algunas aclaraciones en este sentido: más del 70% de las empresas considera ocasionalmente uno o más criterios estratégicos u organizacionales, pero en la práctica éstos se aplican sólo a una tercera parte de los proyectos de inversión en sistemas de información, una proporción similar a la de los criterios estrictamente técnicos de desarrollo informático. Resulta significativo que el criterio de gestión más destacado sea la capacidad del sistema para generar *beneficios económicos*.

³ CAPM, *Capital Assets Pricing Model*; OPM, *Options Pricing Model*.

⁴ Willcocks y Lester (1993) hallaron que el 62% de las empresas se apoya fundamentalmente en el análisis coste-beneficio; Bacon (1995, p. 39) eleva este porcentaje hasta el 75%.

El uso de los métodos basados en el descuento de flujos de caja, como el VAN y la TRI, es menos común que en el caso de las inversiones convencionales, alcanza únicamente al 50% de las empresas y de los proyectos (Bacon, 1995, p. 38). El sistema de información desempeña una función genérica de *apoyo a la organización*, por lo que resulta difícil atribuirle flujos monetarios concretos. Algunos pagos pueden dissociarse con precisión, pero otros desembolsos y gran parte de los cobros están sometidos a un alto grado de incertidumbre⁵, se proyectan a largo plazo o figuran indisolublemente agregados en el *cash flow* de explotación.

Estas razones, unidas al abultado presupuesto de los proyectos, han hecho que la evaluación de las inversiones en sistemas de información haya consistido principalmente en la estimación de ahorros de costes y en el cálculo del rendimiento y del período medio de recuperación o *pay back*. Nos detendremos brevemente en estos dos últimos criterios para examinar sus limitaciones.

El *pay bak* ofrece una visión del lapso de tiempo preciso para recuperar la inversión teniendo en cuenta los flujos de caja generados por el proyecto. Es el criterio más común entre las empresas y, aunque en su versión financiera puede tomar en consideración el valor temporal del dinero, padece debilidades como la ausencia de una visión explícita del riesgo. Su empleo es particularmente indeseable en el caso de los sistemas de información porque estos proyectos poseen un período de recuperación más prolongado; en consecuencia, el criterio provoca una desviación sistemática del presupuesto hacia las alternativas rentables en el corto plazo.

El indicador de rendimiento relaciona por cociente el resultado neto económico imputable al proyecto y la inversión para cada período de gestión. Su cómputo obliga a estimar los ingresos y los gastos generados por el proyecto en cada período de tiempo, lo que en el caso de los sistemas de información es no sólo complejo sino también objetable:

- No existe una relación precisa de causalidad entre la inversión en tecnologías de la información y los indicadores financieros, cuyo valor es el resultado de la conjunción de múltiples procesos y eventualidades que pueden tener poco o nada que ver con el sistema de información. En otras palabras, la empresa más rentable no es necesariamente la que posee la mejor infraestructura de información, de igual forma que la instalación de un sistema de información no garantiza una mejora del rendimiento económico agregado.
- Los proyectos de inversión en tecnologías de la información conllevan elementos de valor, coste y riesgo de naturaleza intangible. La exclusión de los factores irre-

⁵ Supongamos una empresa que está evaluando distintas alternativas para la instalación de una red local de ordenadores. Un argumento relevante será, sin duda, la estabilidad del servidor, pero, ¿cómo estimar los desembolsos monetarios correspondientes a una posible caída del sistema? Aunque algunos pagos son previsibles, una situación de este tipo provoca a la organización desarreglos que no se materializan en flujos de caja propiamente dichos.

ductibles o imponderables (Schneider, 1956) ha sido una práctica relativamente habitual en la selección de proyectos⁶ que persiste en el caso de los sistemas de información con el argumento de que estos intangibles no son cuantificables en términos financieros, no son ciertos, o no producen utilidades en el corto plazo (Willcocks, 1995). Sin embargo, esta simplificación es ingenua, si no desafortunada, ya que los factores irreductibles constituyen una parte significativa de las fuentes de coste y utilidad de las tecnologías de la información⁷.

- Una parte de los costes generados por los sistemas de información forma parte de los gastos generales de la organización y difícilmente podrá ser dissociada con la precisión requerida por la ratio de rendimiento. Las deficiencias sistemáticas observadas en la evaluación de la estructura de costes (Lederer y Prasad, 1996)⁸ se explican por la incapacidad para detectar y estimar las cargas ocultas (*sunk costs*) y, en una perspectiva más amplia, por la ausencia de una visión clara de las implicaciones organizacionales de los sistemas de información.

A todo ello se añade el hecho de que la ratio toma en consideración la cuantía de la inversión, lo que resulta contrario a nuestro conocimiento tanto teórico como práctico acerca de los sistemas de información. Las tecnologías son *capacitadoras*, en el sentido de que su posesión proporciona a la organización una capacidad genérica y potencial para realizar con mayor eficacia y eficiencia ciertas funciones de negocios (Earl, 1989). Por lo tanto, no cabe esperar la existencia de una relación precisa de causalidad entre la cuantía de la inversión y el valor de negocios del sistema de información.

Finalmente, la evaluación requiere una medida de los factores de riesgo del proyecto en la que se deben considerar, junto a la variabilidad financiera, las eventualidades de tipo estratégico, organizacional y tecnológico.

La dificultad para evaluar satisfactoriamente los proyectos de inversión parece ser un problema relativamente común entre las empresas, de hecho ha sido señalada como uno de los principales obstáculos a la adquisición de nuevas tecnologías

⁶ Véanse, por ejemplo, Ross *et al.* (1998) y Brealey *et al.* (1999). Mao (1974) sugiere que la evaluación se establezca inicialmente de acuerdo con los factores objetivos, y que el proyecto se considere ejecutable si el VAN de esta estructura es positivo; sólo en caso de que este valor sea negativo o significativamente pequeño debería abordarse la evaluación de los imponderables. Sin embargo, esta propuesta olvida la posibilidad de que en la estructura de intangibles existan elementos de riesgo y, en general, factores que puedan minorar el VAN.

⁷ Algunos elementos intangibles de valor son el aumento del poder de negociación con clientes y proveedores, la prevención de costes futuros, la reducción de riesgos competitivos, la mejora de la calidad del servicio, el incremento de la satisfacción y el compromiso de los empleados, y la mejora de la calidad de las decisiones.

⁸ Los autores hallaron que los errores en la estimación de los costes afectan al 77% de los grandes proyectos: en un 63% de los casos se infravaloran los costes y en el 14% restante éstos son inferiores a los previstos inicialmente. Con independencia del signo de la desviación, estos resultados ponen de manifiesto la existencia de serios problemas prácticos en la presupuestación de los proyectos.

(Willcocks, 1995)⁹. Más allá de lo puramente académico, la evaluación de inversiones en sistemas de información ha cobrado un nuevo interés con la emergencia del comercio electrónico minorista, de los modelos de organización virtual y, en general, de las estrategias de negocios basadas en las tecnologías de la información. La ausencia de una visión clara de las cuestiones económicas y financieras relativas a las inversiones en TI es una causa fundamental de la crisis de los negocios electrónicos durante el bienio 1999-2000¹⁰.

3. APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE DECISIÓN MULTICRITERIO

Uno de los elementos recurrentes en la literatura sobre la evaluación de TI y selección de sistemas de información es la dialéctica entre los objetivos financieros, representados fundamentalmente por el rendimiento y por la productividad, y los objetivos de negocios, expresados genéricamente por el apoyo a la gestión de la empresa. La más moderna visión de negocios tiende a conceder preponderancia a los objetivos organizacionales y estratégicos, aunque no prejuzga el uso de los criterios financieros ya que en definitiva la organización debe garantizar que sus recursos escasos se asignan de manera eficiente.

En la medida en que se pretende alcanzar un grado satisfactorio en el cumplimiento simultáneo de varios objetivos, que son en parte contradictorios¹¹, la selección de inversiones en TI puede ser contemplada como un problema de decisión multicriterio en la que adicionalmente concurren factores cualitativos. Una primera alternativa es el uso de modelos de programación por metas; sin embargo, el objetivo del decisor suele ser no tanto una aspiración específica como un grado aceptable de cumplimiento en todos los objetivos. Este es el campo de actuación de los métodos de decisión multicriterio, que emplean una lógica basada en la optimalidad paretiana para identificar soluciones *satisfactorias* que concilian aceptablemente los logros en cada uno de los objetivos, y facilitan la integración de los elementos no monetarios de valor y riesgo. Las técnicas multicriterio en general, y AHP en particular, cuentan con una acreditada tradición práctica y han sido empleadas en problemas tan dispares como la selección de proyectos de I+D, la planificación

⁹ El trabajo de Hochstrasser y Griffiths halló que el 28% de los directivos desconocía el rendimiento de sus inversiones en TI; se observó que en un 36% de los casos existía una visión intuitiva del valor, pero que esta idea era subjetiva y difería de unos decisores a otros. Un 15% de los proyectos se había realizado con una evaluación previa rigurosa, con el único objetivo de "alcanzar el nivel medio de inversión del mercado". Esta conclusión es coherente con la de Strassman (1990), quien verificó la existencia de inversiones justificadas únicamente por la intuición y por el *buen juicio* del decisor.

¹⁰ Una amplia mayoría de las quiebras fue provocada por la combinación de un innecesario virtuosismo tecnológico con problemas clásicos de gestión financiera, como la ausencia de un plan claro de viabilidad, una gestión incorrecta del circulante o la carencia de la liquidez precisa para mantener el ciclo de negocios.

¹¹ Algunos proyectos ofrecen poca o ninguna rentabilidad en el corto plazo, pero son deseables e incluso necesarios para el normal desarrollo de los negocios y para el sostenimiento de la competitividad. Algunos ejemplos son las redes locales y las infraestructuras de comunicaciones, y los proyectos de I+D.

de recursos hídricos e instalaciones eléctricas, o el diseño de políticas ambientales (Golden *et al.*, 1989). En el marco concreto de la empresa se han desarrollado modelos de marketing, de gestión de recursos humanos, de decisión de grupo, de organización logística o de toma de decisiones vinculadas a las tecnologías de la información¹².

En este trabajo proponemos un modelo multicriterio para la evaluación de inversiones en tecnologías de la información que emplea la técnica del proceso de la jerarquía analítica (AHP) para establecer una evaluación completa de los proyectos, en la que se estudian tanto los factores intangibles como las fuentes de riesgo. La estructura de valoración es coherente con la propuesta NCIC¹³ (Wicks y Boucher, 1993; Boucher *et al.*, 1997) y conceptualmente similar a la sugerida por Parker *et al.* (1988) en *Information Economics*, aunque en este caso se introducen elementos de racionalidad que previenen la asignación de ponderaciones arbitrarias y que garantizan la representatividad de la clasificación final. El modelo propuesto es, asimismo, compatible con la toma de decisiones por parte de grupos, con la única condición de que sus miembros interactúen de forma síncrona.

3.1. EL PROCESO JERÁRQUICO ANALÍTICO

AHP es una metodología discreta de decisión multicriterio destinada a establecer una clasificación relativa de las alternativas de decisión con un volumen mínimo de información: no requiere que las alternativas se hayan cuantificado con exactitud, ni que el decisor especifique formalmente su función de utilidad ni que sus juicios sean perfectamente transitivos¹⁴. El decisor únicamente debe expresar en qué medida cada alternativa es preferida a una segunda empleando una escala cualitativa: *absolutamente* más importante, *bastante* más importante, etc. El método interpreta estos juicios comparativos para estimar la percepción de utilidad del decisor y establecer una clasificación relativa de las alternativas de decisión, y garantiza que la ordenación es coherente con sus preferencias reales.

La metodología ha alcanzado una amplia difusión en la empresa debido a su flexibilidad y a su claridad para el decisor: el usuario se ocupa únicamente de la responsabilidad que le incumbe como gestor, esto es, la generación y comparación de alternativas. No interviene en el proceso de conversión de estos juicios en factores numéricos ni en su posterior manipulación matemática, que se confían a las

¹² Por citar sólo algunos ejemplos, Albayrakoglu (1996) sugiere el empleo de AHP en la selección de tecnologías de producción; Taylor *et al.* (1998) exponen su uso por los responsables de personal; y Godwin (2000) lo aplica al análisis de la conveniencia de externalizar el sistema de información.

¹³ *Non-Traditional Capital Investment Criteria*.

¹⁴ Saaty (1980) describe el empleo de la técnica; el fundamento teórico de AHP está recogido en Saaty (1986) y en Harker y Vargas (1987).

aplicaciones informáticas que soportan la herramienta (figura 2) y, en el caso de las decisiones de grupo, al coordinador de la sesión de trabajo¹⁵.

La estrategia de evaluación de AHP opera sobre tres principios genéricos: la descomposición de los problemas, el juicio comparativo y la síntesis o composición de prioridades (Saaty, 1980).

El problema se concibe de forma analítica como una estructura jerárquica en cuya cúspide se hallan los objetivos del proceso de decisión; el tramo intermedio está integrado por los criterios y subcriterios; y en la base se sitúan las alternativas de decisión o los recursos a distribuir. En cada nivel los elementos se comparan por parejas para establecer su importancia en relación al nivel superior de la jerarquía (principio de juicio comparativo). En primer lugar se enfrentan todos los criterios para determinar sus respectivas prioridades de cara al cumplimiento de los objetivos de decisión. A continuación, se comparan todos los pares de alternativas para determinar la deseabilidad relativa de cada proyecto de acuerdo con cada criterio.

En cada caso el decisor expresa su preferencia por uno de los dos elementos en una escala arbitraria de tipo cualitativo (tabla 2). A continuación, el coordinador del grupo, o en su caso la aplicación DSS, convierten estos juicios en factores numéricos que toman valores entre 1 (indiferencia) y 9 (fuerte preferencia) y expresan una preferencia *relativa y subjetiva* diferente de la noción convencional de preferencia manejada por la teoría económica.

Tabla 2.- La escala de AHP

	DEFINICIÓN	FACTOR
Igual importancia	Las actividades contribuyen de idéntica forma al objetivo	1
Ligeramente más importante o preferida	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente una actividad sobre la otra	3
Fuertemente más importante o preferida	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una alternativa sobre la otra	5
Muy fuertemente más importante o preferida	Una actividad es fuertemente favorable y su dominación está demostrada en la práctica	7
Extremadamente más importante o preferida	La evidencia que favorece a una actividad sobre la otra es la mayor posible en el orden de afirmaciones.	9
Valores intermedios	Expresivos de la indefinición entre dos valores básicos de la escala	2, 4, 6, 8

FUENTE: Saaty (1983, p. 145).

A continuación, los factores son organizados en *matrices de dominaciones*, de naturaleza positiva y recíproca¹⁶, y que proporcionan el fundamento algebraico para la estimación de las ponderaciones de cada elemento de la jerarquía: el *autovector*

¹⁵ En efecto AHP suele emplearse en el seno de procesos de decisión *conducidos*, en los que el decisor (individual o colectivo) cuenta con el apoyo de un profesional que se encarga de formular las preguntas, coordinar el debate, tabular las respuestas y generar los resultados.

¹⁶ Es decir, si la comparación de dos elementos A_1 y A_2 arroja un valor a_{12} , el par inverso (A_2 frente A_1) arrojará un coeficiente a_{21} tal que $a_{21} = 1/a_{12}$; los valores de la diagonal principal son iguales a uno. Con carácter general el cálculo de la matriz requiere $\frac{n \cdot (n-1)}{2}$ comparaciones, siendo n el número de criterios.

tor de cada matriz de dominaciones proporciona una medida de la importancia relativa de los elementos enjuiciados en esa matriz concreta¹⁷.

Finalmente, el principio de *composición* supone la agregación de las matrices de preferencias empleando como ponderaciones los pesos relativos de los elementos del nivel jerárquico superior¹⁸. En general, AHP permite establecer una clasificación estable de las alternativas salvo en el caso de las estructuras retroalimentadas (Saaty, 1980 y 1986 ; Harker y Vargas, 1987), en las que las alternativas y los criterios están relacionados. Estos problemas pueden ser adecuadamente tratados mediante la *técnica de la supermatriz* (Dyer, 1990, p. 255).

3.2. TÉCNICAS MULTICRITERIO ALTERNATIVAS

La metodología AHP empleada en este trabajo es sólo una de las varias técnicas multicriterio ofrecidas por la teoría de la decisión. Promethee, Pattern, CPE o la familia Electre cuentan con una acreditada base teórica¹⁹; sin embargo, en nuestra opinión, las características del proceso jerárquico analítico son idóneas para tratar con el problema de la evaluación de inversiones en TI.

AHP recoge lo que en su momento fue señalado como la gran aportación de Pattern: la estructuración jerárquica del problema, pero elude sus principales limitaciones. A diferencia de Pattern, las ponderaciones de los criterios se obtienen dentro del modelo y no es preciso que el decisor establezca una valoración absoluta para cada alternativa. Hemos optado por desechar las distintas versiones de Electre donde la especificación del núcleo depende de ciertos umbrales de concordancia y de discordancia establecidos exógena y arbitrariamente por el decisor²⁰. Electre-II previene la aparición de soluciones en circuito, relativamente común en Electre-I, pero lo hace a costa de introducir niveles de control adicionales que oscurecen el cálculo y la interpretación del modelo desde la perspectiva del usuario.

Por otra parte AHP es, de acuerdo con nuestro conocimiento directo de la realidad empresarial (Piñeiro, 1999)²¹, la técnica multicriterio más común, por su simplicidad aparente pero también por la existencia de cierto número de herramientas de software que facilitan el tratamiento de los problemas y que indudablemente han contribuido a la difusión de la metodología.

¹⁷ El método de los autovectores es el criterio propuesto por Saaty (1980); existen, sin embargo, otras técnicas que, como la agregación geométrica, simplifican el cálculo del modelo sin provocar una pérdida significativa de precisión.

¹⁸ Por ejemplo los elementos del autovector de la matriz de dominaciones para los criterios expresan la prioridad que el decisor atribuye a cada criterio, de cara al logro del objetivo final de la decisión. Estos valores se emplean a continuación como ponderaciones en el cálculo de la puntuación media de cada alternativa.

¹⁹ Leal *et al.* (1995) ofrecen una detallada visión práctica de estas y de algunas otras técnicas multicriterio.

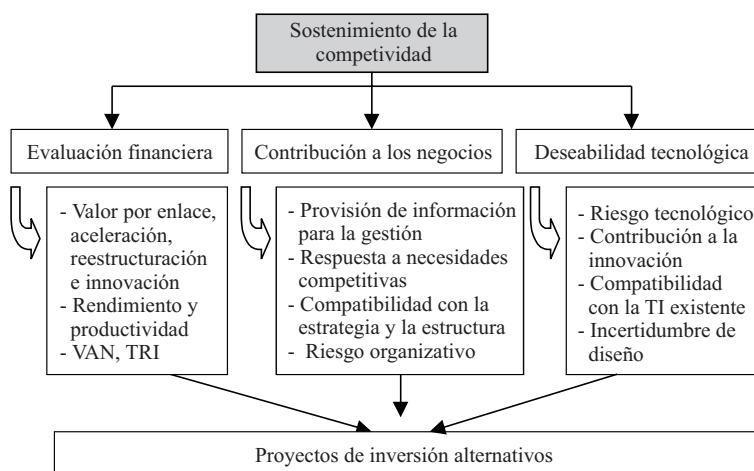
²⁰ De hecho puede ocurrir que el núcleo sólo pueda despejarse si se fuerzan estos umbrales.

²¹ Sólo cinco de las 115 empresas participantes en este estudio empleaban herramientas de decisión multicriterio, pero en todos los casos se trataba de AHP.

3.3. APLICACIÓN DE AHP A LA EVALUACIÓN DE INVERSIONES EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

El primer paso en la aplicación de la metodología AHP a la evaluación de proyectos consiste en el diseño de los niveles superiores de la jerarquía del problema, con especial mención de los *criterios*. Tratándose de sistemas de información, los objetivos perseguidos por la decisión consistirán en una miscelánea de cuestiones tácticas y estratégicas que genéricamente podemos identificar con el sostenimiento de la competitividad. El problema surge al tratar de especificar los criterios concretos con los que se va a enjuiciar la contribución del proyecto. Recurrimos para ello a la estructura conceptual proporcionada por el modelo *Information Economics* de Parker *et al.* (1988 y 1989) que, en nuestra opinión, ofrece una visión completa y exhaustiva del valor de negocios de las inversiones en tecnologías de la información. El sistema de criterios de la jerarquía estaría integrado por tres medidas genéricas (contribución financiera, apoyo a los negocios y deseabilidad tecnológica), cada una de ellas articulada en varios subcriterios. AHP ofrece aquí una atractiva facultad: proporcionar una estimación de la importancia relativa reconocida a cada criterio y subcriterio.

Figura 1.- Jerarquía de AHP para la evaluación de sistemas de información



FUENTE: Baseado en Parker *et al.* (1988 y 1989).

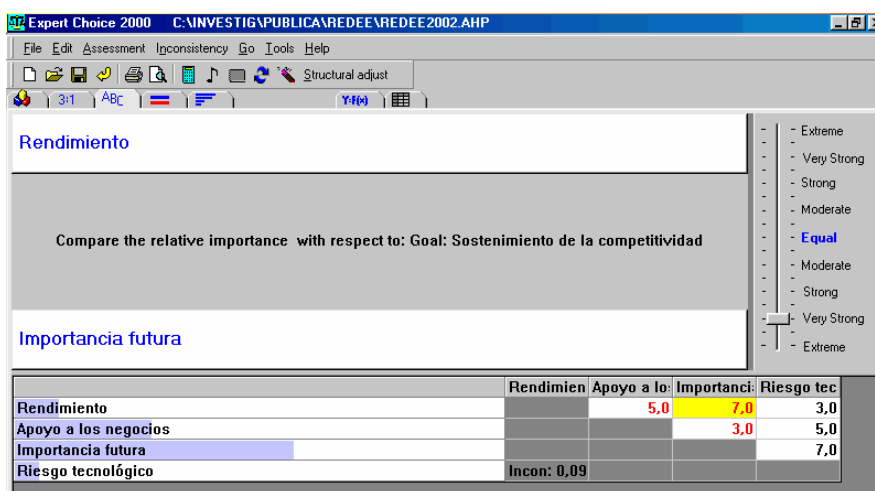
Es interesante observar que en sentido estricto nuestra propuesta no constituye un modelo propiamente dicho sino un *metamodelo* (Bannister y Remenyi, 1999) que la empresa debe desarrollar de acuerdo con la idiosincrasia y con sus necesidades específicas de gestión. La estructura puede ser adaptada con facilidad empleando métodos de simulación, y la interpretación de sus resultados es inmediata.

3.3.1. Ejemplo de aplicación

Para clarificar la utilización del metamodelo ofrecemos un ejemplo simplificado que consiste en la simulación artificial del proceso de clasificación de tres proyectos de inversión por parte de un distribuidor minorista, que considera cuatro criterios de decisión²². No se trata de un caso real pero por su diseño es verosímil y directamente extrapolable a la *praxis* empresarial.

Supóngase que los agentes comerciales han sugerido el desarrollo de una base de datos avanzada para uso comercial (BD) que se espera que genere una mejora inmediata en la cifra de ventas y de la rentabilidad. Existe también la necesidad de implantar un sistema de información de gestión (MIS) para proporcionar apoyo en la toma de decisiones. Finalmente, varios miembros de la organización han sugerido la posibilidad de emplear la infraestructura actual para desarrollar una plataforma experimental de comercio electrónico (CE). La empresa se propone el objetivo general de mantener su competitividad en el medio y en el largo plazo, y enjuicia a los proyectos de acuerdo con cuatro criterios concretos, que se han definido tras un proceso de *brainstorming* y de un debate entre los miembros del grupo de dirección: el rendimiento económico medio esperado, el apoyo prestado a los procesos de negocios, la importancia para los negocios en el futuro y el riesgo tecnológico estimado.

Figura 1.- Expresión de juicios y construcción da matriz de dominaciones



En primer lugar, el decisor debe expresar sus preferencias en relación a los criterios, indicando en qué medida cree que un criterio es más importante que otro de cara al cumplimiento del objetivo de la decisión. Estas respuestas tienen carácter cualitativo (*fuertemente* importante, *ligeramente* importante, etc.), aunque inmedia-

²² El problema se ha tratado con el software de aplicación Expert Choice 2000.

tamente son codificadas una escala del uno a nueve (tabla 2) por el coordinador del proceso o por el software de aplicación. La figura 2 recoge esta conversión: en la parte superior figuran la pregunta que se le formularía al decisor y sus posibles respuestas, que son perceptuales; la parte inferior de la ventana muestra la transformación de las respuestas a escala numérica y su organización matricial, que no se le presentan al decisor²³.

Tabla 3.- Matriz de juicios para los criterios

CRITERIOS	RENDIMIENTO	APOYO NEGOCIOS	IMPORTANCIA FUTURO	RIESGO TECNOLÓGICO
Rendimiento	1	1/5	1/7	3
Apoyo negocios	5	1	1/3	5
Importancia futuro	7	3	1	7
Riesgo tecnológico	1/3	1/5	1/7	1
Inconsistencia = 0,09				

Las tablas adjuntas presentan las matrices de comparaciones para los criterios (tabla 3) y las alternativas (tabla 4)²⁴, en el formato numérico empleado internamente por AHP, así como sus respectivas ratios de consistencia. Obsérvese que las matrices son simétricas y que el la inconsistencia es inferior al 10%, lo que proporciona una confianza razonable en la coherencia de las matrices y en la estabilidad de la estructura de preferencias (Saaty, 1986, p. 842)²⁵.

El vector de valores propios de la matriz de dominaciones de los criterios (tabla 3) ofrece una estimación de la importancia relativa de cada criterio en relación al objetivo general del sostenimiento de la competitividad²⁶.

$$W = \begin{bmatrix} 0,092 \\ 0,282 \\ 0,574 \\ 0,052 \end{bmatrix}$$

²³ Se muestra uno de los juicios emitidos por el decisor y su codificación numérica: se atribuye al criterio *importancia para el futuro de los negocios* una importancia *muy fuerte* sobre el criterio *rendimiento*, lo que se codifica con un factor igual a 1/7. El software empleado diferencia los factores y sus inversos mediante un código de color, de ahí que el valor en la casilla deba ser interpretado como 1/7.

²⁴ El rendimiento es un factor cuantificable, por ello los coeficientes de la matriz de dominaciones pueden establecerse calculando el cociente entre los rendimientos de todos los pares de proyectos. Supóngase que el ROI de los proyectos de creación de una BD comercial y de un MIS es el 9% y el 3% respectivamente: los coeficientes de comparación serán $BD/MIS = 0,09/0,03 = 3$ y $MIS/BD = 1/3$. Este método puede proporcionar mayor precisión que la decisión convencional de AHP, pero obliga a aceptar una hipótesis muy restrictiva: que la utilidad del decisor es estrictamente proporcional al valor numérico del rendimiento.

²⁵ Obsérvese que, aunque no forma parte del aparato teórico de AHP, la transitividad de las preferencias está implícita en la estructura operativa del método.

²⁶ Existen otras técnicas que, como la media geométrica de las filas o de las columnas, ofrecen una estimación relativamente precisa de las ponderaciones. La utilidad de criterios alternativos como las medias aritmética o armónica es discutible.

De la misma forma, los vectores de autovalores de las matrices de dominaciones de las alternativas (tabla 4) expresan la importancia relativa de cada proyecto para cada criterio de decisión. Estos factores (tabla 5) indican que, desde el punto de vista del rendimiento, el proyecto más deseable es la BD comercial (0,637), seguida del desarrollo de un MIS (0,258). Es importante observar que estas prioridades son una estimación *relativa* de las preferencias reales del decisor, inferida de los juicios que éste emitió en las comparaciones previas.

Tabla 4.- Matrices de dominaciones para las alternativas

RENDIMIENTO	BD	MIS	CE
BD	1	3	5
MIS	1/3	1	3
CE	1/5	1/3	1
Inconsistencia = 0,04			

APOYO NEGOCIOS	BD	MIS	CE
BD	1	1/5	3
MIS	5	1	7
CE	1/3	1/7	1
Inconsistencia = 0,06			

IMPORTANCIA FUTURA	BD	MIS	CE
BD	1	1/9	1/7
MIS	9	1	3
CE	7	1/3	1
Inconsistencia = 0,08			

	BD	MIS	CE
BD	1	3	7
MIS	1	1	5
CE	1/7	1/5	1
Inconsistencia = 0,06			

Cada proyecto se evalúa calculando una media ponderada de las puntuaciones que le han sido asignadas para cada uno de los criterios. Estas ponderaciones son los pesos relativos de los criterios, es decir, los elementos del vector propio de la matriz de dominaciones de los criterios. El resultado es un vector de prioridades que permite establecer una clasificación relativa de los proyectos (columna derecha de la tabla 5): el decisor concede prioridad a la instalación del sistema MIS ya que esta alternativa obtiene las mejores puntuaciones en los dos criterios más ponderados. La aplicación experimental de comercio electrónico obtiene la segunda mejor puntuación porque, aunque ofrece mayor nivel de riesgo tecnológico, le proporciona un grado relativamente grande de cumplimiento para el criterio más ponderado. La evaluación de la base de datos comercial se ve perjudicada porque su principal fortaleza –el rendimiento a corto plazo– tiene una relevancia marginal para el decisor.

Tabla 5.- Puntuaciones finales de AHP

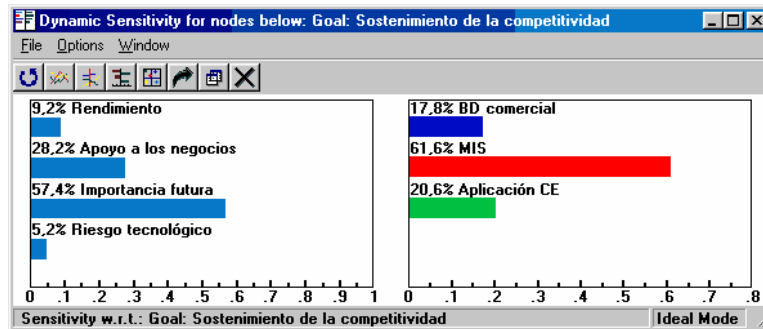
PROYECTOS	VECTORES DE PRIORIDADES (relevancia para cada criterio)				PUNTAJÓN GLOBAL
	Rendimiento	Apoyo a negocios	Importancia para el futuro	Riesgo tecnológico	
BD	0,637	0,188	0,055	0,649	0,178
MIS	0,258	0,731	0,655	0,279	0,616
CE	0,105	0,081	0,29	0,072	0,206
Inconsistencia = 0,08.					

Con carácter general el proceso AHP está apoyado por una aplicación de ayuda basada en ordenador (DSS), que se encarga de la tabulación de los datos y de su tratamiento matemático. El uso de sistemas de ayuda es altamente recomendable porque, además de simplificar el cálculo de la estructura, proporcionan soporte para la decisión de grupo y herramientas para el análisis de la solución. Estos recursos dotan a AHP del dinamismo y de la interactividad que sus promotores quisieron imprimirle, ya que hacen posible la simulación y el análisis de sensibilidad de las clasificaciones.

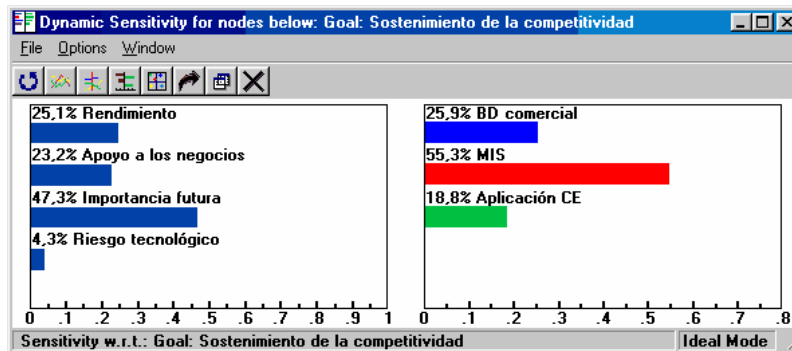
Supóngase que, una vez finalizada la evaluación de la jerarquía, el decisor considera que la ponderación atribuida al criterio *rendimiento* es excesivamente pequeña y que desea establecer un valor arbitrario igual a 0,25; este cambio altera el sistema de ponderaciones de los criterios y, en consecuencia, también las prioridades de las alternativas por lo que es preciso verificar la permanencia de la clasificación. La aplicación de ayuda proporciona inmediatamente las nuevas prioridades y confirma que el proyecto más deseable sigue siendo el sistema MIS, aunque el desarrollo de una BD comercial pasa a ocupar el segundo lugar de la clasificación relativa (figura 3).

Figura 3.- Análisis de sensibilidad

Solución con las ponderaciones inferidas de los juicios de decisor



Solución con una ponderación igual al 25% para el rendimiento



4. CONCLUSIONES. LIMITACIONES Y DESARROLLO FUTURO

Frente a la ingenuidad de la cuantificación estrictamente financiera, sugerimos la necesidad de realizar una estimación amplia de valor, entendido éste como la contribución del proyecto al éxito de los negocios. El modelo propuesto ofrece un método preciso, riguroso y comprensible para la evaluación de inversiones en tecnologías de la información, capaz de integrar transparentemente los factores cualitativos. El uso de AHP le confiere algunas propiedades de interés:

- La formulación de la jerarquía exige del decisor un esfuerzo analítico que indudablemente es beneficioso para la calidad de la decisión final.
- El nivel intermedio de la jerarquía admite la incorporación criterios de todo tipo, incluyendo factores de riesgo, lo que resulta coherente con la visión amplia de valor a la que nos hemos referido. Aunque se trata de un método multicriterio fundamentalmente cualitativo, AHP admite la integración de factores cuantitativos.
- La estrategia de comparación por parejas y el sistema de respuestas cualitativas resultan claras y comprensibles para el decisor.
- El método es compatible con la toma de decisiones de grupo.
- El proceso matemático subyacente a AHP proporciona un indicador preciso y fiable de la consistencia de los juicios del decisor.

Asimismo, la introducción de una estrategia racional de cálculo suprime los riesgos implícitos en la asignación de ponderaciones arbitrarias, aunque es evidente que la clasificación depende estrechamente del acierto en la selección de los criterios de evaluación. En este sentido, sugerimos que, antes de ser empleado, el modelo se someta a simulación para depurar su diseño y para establecer los criterios más representativos para la organización.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBAYRAKOGLU, M. (1996): "Justification of New Manufacturing Technology: A Strategic Approach Using the Analytic Hierarchy Process", *Production and Inventory Management Journal*, vol. 37, núm. 1.
- BACON, C.J. (1995): "Why Companies Invest in Information Technology", en L. Willcocks [ed.]: *Information Management*, pp. 31-47. Londres: Chapman and Hall.
- BANNISTER, F.; REMENYI, D. (1999): "Value Perception in IT Investments", *Journal of Information Systems Evaluation*, vol. 3, (septiembre).
- BOUCHER, T.O.; GOGUS, O.; WICKS, E.M. (1997): "A Comparison between Two Multiattribute Decision Methodologies Used in Capital Investment Decision Analysis", *The Engineering Economist*, vol. 42, núm. 3.
- DOLDÁN, F. (2001): *Métodos cuantitativos de selección de inversiones*. Santiago de Compostela: Tórculo.

- DYER, J.S. (1990): "Remarks on the Analytic Hierarchy Process", *Management Science* vol. 36, núm. 3, (marzo), pp. 249-258.
- EARL, M.J. (1989): *Management Strategies for Information Technology*. Hemel Hempstead, Hertfordshire: Prentice Hall.
- GODWIN, G. (2000): "Using Analytic Hierarchy Processes to Analyze the Information Technology Outsourcing Decision", *Industrial Management + Data Systems*, vol. 100, núm. 9, pp. 421- 429.
- GOLDEN, B.L.; WASIL, E.A.; HARKER, P.T. [ed.] (1989): *The Analytic Hierarchy Process. Applications and Studies*. New York: Springer-Verlag.
- HARKER, P.T.; VARGAS, L.G. (1987) : "The Theory of Ratio Scale Estimation: Saaty's Analytic Hierarchy Process", *Management Science*, vol. 33, núm. 11, (noviembre), pp. 1383-1403.
- HILLIER, F. (1971): "A Basic Model for Capital Budgeting of Risky Interrelated Projects", *The Engineering Economist*, núm. 17, pp. 1-30.
- HOCHSTRASSER, B.; GRIFFITHS, C. (1991): *Controlling IT Investment. Strategy and Management*. Londres: Chapman and Hall.
- LEAL, A.; SÁNCHEZ-APELLÁNIZ, M.; ROLDÁN, J.; VÁZQUEZ, A. (1995): *Decisiones empresariales con criterios múltiples*. Madrid: Pirámide.
- LEDERER, A.L.; PRASAD, J. (1996): "IS Cost Estimating and the Investment Justification Process", en L. Willcocks: *Investing in Information Systems. Evaluation and Management*, pp. 121-142. Londres: Chapman and Hall.
- MAO, J.T. (1974): *Análisis financiero*. Buenos Aires: Ateneo.
- PARKER, M.M.; TRAINOR, H.E.; BENSON, R.J. (1988): *Information Economics. Linking Business Performance to Information Technology*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- PARKER, M.M.; TRAINOR, H.E.; BENSON, R.J. (1989): *Information Strategy and Economics*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- PIÑEIRO SÁNCHEZ, C. (1999): *Los sistemas de soporte a la decisión de grupos en el marco de los sistemas de información. Situación y perspectivas en el ámbito empresarial coruñés*. (Tesis doctoral publicada). Universidad de A Coruña.
- SAATY, T.L. (1980): *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw Hill.
- SAATY, T.L. (1983): "Priority Setting in Complex Problems", *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. EM30, núm. 3, (agosto), pp. 140-155.
- SAATY, T.L. (1986): "Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process", *Management Science*, vol. 32, núm. 7, (julio), pp. 841-855.
- SAATY, T.L. (1987): "Rank Generation, Preservation, and Reversal in the Analytic Hierarchy Process", *Decision Science*, núm. 18, pp. 155-177.
- SAATY, T.L. (1990): "An Exposition of the AHP in Reply to the Paper 'Remarks on the Analytic Hierarchy Process' ", *Management Science*, vol. 36, núm. 3, marzo), pp. 259-268.
- SAATY, T.L.; VARGAS, L.G. (1984): "The Legitimacy of Rank Reversal", *OMEGA*, vol. 12, núm. 5, pp. 513-516.
- SCHNEIDER, E. (1956): *Teoría de la inversión*. Buenos Aires: El Ateneo.
- TAYLOR, F.A.; KETCHAM, A.F.; HOFFMAN, D. (1998): "Personnel Evaluation with AHP", *Management Decision*, vol. 36, núm. 10, pp. 679-695.
- VAN HORNE, J.C. (1975): *Financial Management and Policy*. Londres: Prentice Hall.

Piñeiro, C.

La evaluación de inversiones en tecnologías...

WICKS, E.M.; BOUCHER, T.O. (1993): “NCIC: A Software Tool for Capital Investment Analysis in Manufacturing”, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 24, núm. 2, pp. 237-248

WILLCOCKS, L. (1995): “Of Capital Importance”, en L. Willcocks [ed.]: *Information Management*, pp. 1-11. Londres: Chapman and Hall.