

## A AVALIACIÓN DE INVESTIMENTOS EN TECNOLOXÍAS DA INFORMACIÓN. APLICACIÓNS Á TEORÍA DA DECISIÓN MULTICRITERIO

CARLOS PIÑEIRO SÁNCHEZ<sup>1</sup>

Departamento de Economía Financeira e Contabilidade  
Facultade de Ciencias Económicas e Empresariais  
Universidade da Coruña

Recibido: 22 de abril de 2002

Aceptado: 25 de novembro de 2002

---

**Resumo:** O problema da selección de investimentos formulouse tradicionalmente desde a óptica da economía da empresa, considerando criterios financeiros como o valor actual neto ou a taxa interna de rendemento. Estes métodos están avalados polo seu fundamento teórico e pola súa acreditada eficacia práctica; sen embargo, a evidencia empírica suxire que non son adecuados para a avaliación de sistemas de información. Este artigo propón o fundamento dun método práctico para a avaliación de investimentos en tecnoloxías da información baseado no modelo AHP de decisión multicriterio.

**Palabras clave:** Selección de investimentos / 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 TRADICIONAIS DE AVALIACIÓN E SELECCIÓN DE INVESTIMENTOS

A selección de investimentos implica a toma de decisións acerca de qué proxectos debe acomete-la empresa dentro das súas limitacións de capital e de acordo coa súa contribución ó obxectivo xeral de maximiza-lo valor actual neto ou a riqueza dos accionistas (Doldán, 2001). Na práctica, este obxectivo artículase en certo número de criterios e métodos de selección cun uso que depende da contorna de decisión e das características dos investimentos considerados. A táboa 1 ofrece unha visión xeral dos métodos empregados comunmente na avaliación e selección de proxectos *individuais* de investimento, clasificados de acordo coa contorna de negocios e co seu fundamento operativo.

---

<sup>1</sup> O autor agradece os comentarios e suxestións ofrecidos por dous avaliadores anónimos.

**Táboa 1.-** Métodos convencionais para a avaliación de proxectos individuais de investimento

		CONTORNA DE CERTEZA	CONTORNA DE RISCO
FUNDAMENTO OPERATIVO	DATOS CONTABLES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Métodos non financeiros</li> <li>- Beneficio medio sobre valor contable do investimento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Non previsto</li> </ul>
	FLUXOS DE CAIXA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Métodos non financeiros</li> <li>- Valor por período ou por u.m. desembolsada</li> <li>- <i>Pay back</i></li> <li>- Índices de rendibilidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adaptación de métodos convencionais</li> <li>- Redución do horizonte de planificación</li> <li>- Valor certo equivalente</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Métodos financeiros</li> <li>- VAN</li> <li>- TRI</li> <li>- Índice de rendibilidade (ratio beneficio-custo)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variabilidade en torno á media</li> <li>• Métodos de tratamento</li> <li>- Redución do horizonte de planificación</li> <li>- Corrección da taxa de xuro</li> <li>- Valor certo equivalente</li> <li>- Simulación e sensibilidade</li> <li>- Números borrosos</li> <li>- Indicador de desexabilidade de Masse</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelos probabilísticos</li> <li>- Modelo de Hillier</li> <li>• Extensións de modelos financeiros</li> <li>- CAPM</li> <li>- Modelo de valoración de opcións</li> </ul>

Nunha contorna certa o investimento pode avaliarse en termos de rendemento contable ou considerando o seu impacto sobre os fluxos de caixa da empresa. O rendemento do proxecto  $j$ -ésimo nun período  $t$  calquera pode expresarse como a relación por cociente entre o beneficio, neto de amortizacións e impostos, e a contía do investimento medio:

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

onde  $r_{jt}$  é o rendemento medio do proxecto,  $BN_t$  o beneficio neto medio,  $A_t$  a contía das amortizacións,  $T_t$  os impostos e  $I_t^*$  o investimento medio, todo iso no período  $t$ -ésimo. Outros criterios de perfil contable son o beneficio por unidade monetaria desembolsada, o valor do proxecto por unidade de tempo ou o IROT (índice de rotación).

Unha clara limitación dos métodos non financeiros é a omisión do valor temporal do diñeiro, que pode ser relevante se o proxecto implica movementos de caixa distanciados no tempo. O valor actual neto, ou beneficio total actualizado do investimento (Schneider, 1956; Van Horne, 1975), homoxeneiza os distintos fluxos de caixa de acordo co seu vencemento, e ofrece unha estimación do valor financeiro do proxecto no momento presente, o que resulta coherente co obxectivo xeral da maximización da riqueza.

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

onde  $I_{jt}$  e  $G_{jt}$  son a contía dos fluxos de cobramento e de pagamento xerados polo proxecto  $j$ -ésimo durante a súa vixencia ( $t = 0 \dots T$ ). Suposto un mercado perfecto sen limitación de capitais, a taxa de desconto ( $i$ ) é o tipo de xuro ó que é posible obter capitais ou colocalos no mercado; se, pola contra, os recursos son limitados, a empresa ordenará os seus proxectos de maior a menor rendibilidade esperada, e a taxa  $i$  pode interpretarse como un custo de oportunidade ou como o rendemento do último investimento<sup>2</sup>.

A popularidade do criterio VAN explícase en gran medida pola súa simplicidade operativa e polo carácter intuitivo da súa interpretación: un proxecto será factible ou efectuable na medida en que posúa un VAN positivo, e será tanto máis desexable canto maior sexa este valor neto. Sen embargo, o modelo de capitalización subxacente obriga a asumir unha hipótese teoricamente obxectable e insostible na práctica: tódolos excedentes de caixa son reinvestidos exactamente ó mesmo tipo de xuro calculatorio e os sucesivos financiamentos obtéñense tamén a ese custo, o que resulta insostible xa que os mercados financeiros reais non son perfectos.

Na práctica, o VAN adoita empregarse conxuntamente con indicadores alternativos, como o índice de rendibilidade ou ratio beneficio-custo, que expresa o valor recuperado por unidade monetaria investida, e a taxa interna de rendemento, “*el tipo de interés que hace financieramente equivalentes las corrientes de cobros y de pagos*” (Schneider, 1956). De acordo con este criterio, un proxecto é viable se a súa TIR é maior ca cero, e *efectuable* se a taxa é superior ó custo de capital. Sen embargo, o seu cálculo é sensible á estimación dos vencementos medios de ambas dúas series e indirectamente á previsión dos fluxos de caixa; así mesmo, élle aplicable a crítica á hipótese de reinvestimento xa sinalada para o VAN.

Nunha contorna non certa as medidas de rendemento deben completarse como unha estimación do risco do proxecto. Con carácter xeral, o risco interprétase como a dispersión media do rendemento en torno ó seu valor esperado e exprésase numericamente como a súa dispersión estándar, aínda que a forma en que se incorpora ó problema depende do modelo de avaliación empregado en cada caso.

Unha forma elemental de tratar co risco é reduci-lo horizonte de planificación; sen embargo, obviamente é una estratexia pouco conveniente agás en situacións de plena incerteza. A aleatoriedade pode ser facilmente incorporada ós modelos financeiros rectificando o tipo de xuro calculatorio e/ou aplicando coeficientes correctores ós fluxos de caixa para obte-los seus *equivalentes certos*. No primeiro dos casos, os fluxos de caixa máis afastados no tempo descontaranse a unha taxa máis

---

<sup>2</sup> En efecto, a empresa pode considera-la posibilidade de colocalos nun activo rendible en lugar de destinalos a algún proxecto.

elevada, mentres que no segundo se lles aplicará un coeficiente positivo e inferior a un para reduci-la súa contía efectiva.

Así mesmo, existen modelos *ad hoc* de selección de investimentos que, como o suxerido por Hillier (1971), consideran características adicionais dos fluxos de caixa, por exemplo o seu carácter aleatorio ou a súa dependencia ou independencia mutuas, e permiten manexar unha distribución de probabilidade para o VAN do proxecto. Tamén os modelos estritamente financeiros, como CAPM ou OPM<sup>3</sup>, poden render unha notable contribución á avaliación de investimentos.

Finalmente, as técnicas de experimentación artificial permiten verifica-lo rendemento de cada investimento individual en condicións case reais, supoñendo que se trata de proxectos ben estruturados e susceptibles de modelización. Noutro caso, o decisor pode recorrer a instrumentos de análise de sensibilidade para determina-lo impacto dos cambios en un ou en máis dos parámetros descritivos do proxecto ou do escenario de decisión.

## 2. A AVALIACIÓN DE INVESTIMENTOS EN TI

Os primeiros investimentos empresariais en tecnoloxías da información materializáronse en sistemas de información *transaccionais* destinados exclusivamente a automatizar actividades rutineiras, lentas e custosas, pero ben estruturadas. Estas aplicacións reemprazaban o traballo humano e estaban destinadas a obter economías de custos e a incrementa-la produtividade de forma similar a como o fixeran as máquinas desde a revolución industrial. Non resulta sorprendente que as empresas argumentasen esta analogía operativa para aplicarlles métodos de avaliación financeira propios dos equipos industriais.

Na actualidade, a avaliación de investimentos en tecnoloxías da información segue baseándose fundamentalmente en medidas financeiras, con especial mención da análise custo-beneficio<sup>4</sup>. Os criterios cualitativos, como a calidade do servizo ou o efecto sobre a competitividade, empréganse de forma irregular e posúen un peso marxinal na decisión final.

O traballo de Bacon (1995) ofrece algunhas aclaracións neste sentido: máis do 70% das empresas considera ocasionalmente un ou máis criterios estratéxicos ou organizativos, pero na práctica estes só se aplican a unha terceira parte dos proxectos de investimento en sistemas de información, unha proporción similar á dos criterios estritamente técnicos de desenvolvemento informático. Resulta significativo que o criterio de xestión máis destacado sexa a capacidade do sistema para xerar *beneficios económicos*.

---

<sup>3</sup> CAPM, *Capital Assets Pricing Model*; OPM, *Options Pricing Model*.

<sup>4</sup> Willcocks e Lester (1993) atoparon que o 62% das empresas se apoia fundamentalmente na análise custo-beneficio; Bacon (1995, p. 39) eleva esta porcentaxe ata o 75%.

O uso dos métodos baseados no desconto de fluxos de caixa, como o VAN e a TRI, é menos común ca no caso dos investimentos convencionais e alcanza unicamente ó 50% das empresas e dos proxectos (Bacon, 1995, p. 38). O sistema de información desempeña unha función xenérica de *apoio á organización* polo que resulta difícil atribuír-lle fluxos monetarios concretos. Algúns pagamentos poden dissociarse con precisión, pero outros desembolsos e gran parte dos cobramentos están sometidos a un alto grao de incerteza<sup>5</sup>, proxéctanse no longo prazo ou figuran indisolublemente agregados no *cash flow* de explotación.

Estas razóns, unidas ó avultado orzamento dos proxectos, fixeron que a avaliación dos investimentos en sistemas de información consistira principalmente na estimación de aforros de custos e no cálculo do rendemento e do período medio de recuperación ou *pay back*. Deterémonos brevemente nestes dous últimos criterios para examinalas súas limitacións.

O *pay bak* ofrece unha visión do lapso de tempo preciso para recupera-lo investimento tendo en conta os fluxos de caixa xerados polo proxecto. É o criterio máis común entre as empresas e, aínda que na súa versión financeira pode tomar en consideración o valor temporal do diñeiro, padece debilidades como a ausencia dunha visión explícita do risco. O seu emprego é particularmente indesexable no caso dos sistemas de información porque estes proxectos posúen un período de recuperación máis prolongado; en consecuencia, o criterio provoca unha desviación sistemática do orzamento cara ás alternativas rendibles no curto prazo.

O indicador de rendemento relaciona por cociente o resultado neto económico imputable ó proxecto e ó investimento para cada período de xestión. O seu cómputo obriga a estima-los ingresos e os gastos xerados polo proxecto en cada período de tempo, o que no caso dos sistemas de información é non só complexo senón tamén obxectable:

- Non existe unha relación precisa de causalidade entre o investimento en tecnoloxías da información e os indicadores financeiros, cun valor que é o resultado da conxunción de múltiples procesos e eventualidades que poden ter pouco ou nada que ver co sistema de información. Noutras palabras, a empresa máis rendible non é necesariamente a que posúe a mellor infraestrutura de información, de igual forma que a instalación dun sistema de información non garante unha mellora do rendemento económico agregado.
- Os proxectos de investimento en tecnoloxías da información implican elementos de valor, custo e risco de natureza intanxible. A exclusión dos factores irreductibles ou imponderables (Schneider, 1956) foi unha práctica relativamente habitual

---

<sup>5</sup> Supoñamos unha empresa que está avaliando distintas alternativas para a instalación dunha rede local de ordenadores. Un argumento relevante será, sen dúbida, a estabilidade do servidor, pero ¿como estima-los desembolsos monetarios correspondentes a unha posible caída do sistema? Aínda que algúns pagamentos son previsibles, unha situación deste tipo provoca á organización desaxustes que non se materializan en fluxos de caixa propiamente ditos.

na selección de proxectos<sup>6</sup> que persiste no caso dos sistemas de información co argumento de que estes intanxibles non son cuantificables en termos financeiros, non son certos ou non producen utilidades no curto prazo (Willcocks, 1995). Sen embargo, esta simplificación é inxenua, se non desacertada, xa que os factores irreductibles constitúen unha parte significativa das fontes de custo e utilidade das tecnoloxías da información<sup>7</sup>.

- Unha parte dos custos xerados polos sistemas de información forma parte dos gastos xerais da organización e dificilmente poderá ser dissociada coa precisión requirida pola ratio de rendemento. As deficiencias sistemáticas observadas na avaliación da estrutura de custos (Lederer e Prasad, 1996)<sup>8</sup> explícanse pola incapacidade para detectar e estima-las cargas ocultas (*sunk costs*) e, nunha perspectiva máis ampla, pola ausencia dunha visión clara das implicacións organizativas dos sistemas de información.

A todo isto engádesse o feito de que a ratio toma en consideración a contía do investimento, o que resulta contrario ó noso coñecemento tanto teórico coma práctico acerca dos sistemas de información. As tecnoloxías son *capacitadoras*, no sentido de que a súa posesión lle proporciona á organización unha capacidade xenérica e potencial para realizar con maior eficacia e eficiencia certas funcións de negocios (Earl, 1989). Polo tanto, non cabe espera-la existencia dunha relación precisa de causalidade entre a contía do investimento e o valor de negocios do sistema de información.

Finalmente, a avaliación require unha medida dos factores de risco do proxecto na que se deben considerar, xunto á variabilidade financeira, as eventualidades de tipo estratéxico, organizativo e tecnolóxico.

A dificultade para avaliar satisfactoriamente os proxectos de investimento parece ser un problema relativamente común entre as empresas, de feito foi sinalada como un dos principais atrancos para a adquisición de novas tecnoloxías (Willcocks, 1995)<sup>9</sup>. Máis alá do puramente académico, a avaliación de investimentos en

<sup>6</sup> Véxanse, por exemplo, Ross *et al.* (1998) e Brealey *et al.* (1999). Mao (1974) suxire que a avaliación se establece inicialmente de acordo cos factores obxectivos, e que o proxecto se considere efectuable se o VAN desta estrutura é positivo; só en caso de que este valor sexa negativo ou significativamente pequeno debería abordarse a avaliación dos imponderables. Sen embargo, esta proposta esquece a posibilidade de que na estrutura de intanxibles existan elementos de risco e, en xeral, factores que poidan minora-lo VAN.

<sup>7</sup> Algúns elementos intanxibles de valor son o aumento do poder de negociación con clientes e provedores, a prevención de custos futuros, a redución de riscos competitivos, a mellora da calidade do servizo, o incremento da satisfacción e o compromiso dos empregados, e a mellora da calidade das decisións.

<sup>8</sup> Os autores atoparon que os erros na estimación dos custos afectan ó 77% dos grandes proxectos: nun 63% dos casos infravalóranse os custos e no 14% restante estes son inferiores ós previstos inicialmente. Con independencia do signo da desviación, estes resultados poñen de manifesto a existencia de serios problemas prácticos na orzamentación dos proxectos.

<sup>9</sup> O traballo de Hochstrasser e Griffiths atopou que o 28% dos directivos descoñecía o rendemento dos seus investimentos en TI; observouse que nun 36% dos casos existía unha visión intuitiva do valor, pero que esta idea era subxectiva e difería duns decisores a outros. Un 15% dos proxectos realizárase cunha avaliación previa rigorosa, co único obxectivo de “alcanza-lo nivel medio de investimento do mercado”. Esta conclusión é coherente coa de Strassman (1990), quen verificou a existencia de investimentos xustificadas unicamente pola intuición e polo *bo xuízo* do decisor.

sistemas de información cobrou un novo interese coa emerxencia do comercio electrónico polo miúdo, dos modelos de organización virtual e, en xeral, das estratexias de negocios baseadas nas tecnoloxías da información. A ausencia dunha visión clara das cuestións económicas e financeiras relativas ós investimentos en TI é unha causa fundamental da crise dos negocios electrónicos durante o bienio 1999-2000<sup>10</sup>.

### 3. APLICACIÓN DAS TÉCNICAS DE DECISIÓN MULTICRITERIO

Un dos elementos recorrentes na literatura sobre avaliación de TI e selección de sistemas de información é a dialéctica entre os obxectivos financeiros, representados fundamentalmente polo rendemento e pola produtividade, e os obxectivos de negocios, expresados xenericamente polo apoio á xestión da empresa. A máis moderna visión de negocios tende a conceder preponderancia ós obxectivos organizativos e estratéxicos, aínda que non prexulga o uso dos criterios financeiros xa que en definitiva a organización debe garantir que os seus recursos escasos se asignan de maneira eficiente.

Na medida en que se pretende alcanzar un grao satisfactorio no cumprimento simultáneo de varios obxectivos, que son en parte contradictorios<sup>11</sup>, a selección de investimentos en TI pode ser considerada como un problema de decisión multicriterio na que adicionalmente concorren factores cualitativos. Unha primeira alternativa é o uso de modelos de programación por metas; sen embargo, o obxectivo do decisor adoita ser non tanto unha aspiración específica como un grao aceptable de cumprimento en tódolos obxectivos. Este é o campo de actuación dos métodos de decisión multicriterio, que empregan unha lóxica baseada na optimalidade paretiana para identificar solucións *satisfactorias* que concilian aceptablemente os logros en cada un dos obxectivos, e facilitan a integración dos elementos non monetarios de valor e risco. As técnicas multicriterio en xeral, e AHP en particular, contan con unha acreditada tradición práctica e foron empregadas en problemas tan dispares como a selección de proxectos de I+D, a planificación de recursos hídricos e instalacións eléctricas ou o deseño de políticas ambientais (Golden *et al.*, 1989). No marco concreto da empresa desenvóléronse modelos de márketing, de xestión de recursos humanos, de decisión de grupo, de organización loxística ou de toma de decisións vinculadas ás tecnoloxías da información<sup>12</sup>.

---

<sup>10</sup> Unha ampla maioría das quebras foi provocada pola combinación dun innecesario virtuosismo tecnolóxico con problemas clásicos de xestión financeira, como a ausencia dun plan claro de viabilidade, unha xestión incorrecta do circulante ou a carencia da liquidez precisa para mante-lo ciclo de negocios.

<sup>11</sup> Algúns proxectos ofrecen pouca ou ningunha rendibilidade no curto prazo, pero son desexables e incluso necesarios para o normal desenvolvemento dos negocios e para o sostemento da competitividade. Algúns exemplos son as redes locais e as infraestruturas de comunicacións, e os proxectos de I+D.

<sup>12</sup> Por citar só algúns exemplos, Albayrakoglu (1996) suxire o emprego de AHP na selección de tecnoloxías de produción; Taylor *et al.* (1998) expoñen o seu uso polos responsables de persoal; e Godwin (2000) aplica o análise da conveniencia de externaliza-lo sistema de información.

Neste traballo propoñemos un modelo multicriterio para a avaliación de investimentos en tecnoloxías da información que emprega a técnica do proceso da xerarquía analítica (AHP) para establecer unha avaliación completa dos proxectos, na que se estudian tanto os factores intanxibles como as fontes de risco. A estrutura de valoración é coherente coa proposta NCIC<sup>13</sup> (Wicks e Boucher, 1993; Boucher *et al.*, 1997) e conceptualmente similar á suxerida por Parker *et al.* (1988) en *Information Economics*, aínda que neste caso se introducen elementos de racionalidade que preveñen a asignación de ponderacións arbitrarias e que garanten a representatividade da clasificación final. O modelo proposto é, así mesmo, compatible coa toma de decisións por parte de grupos, coa única condición de que os seus membros interactúen de forma síncrona.

### 3.1. O PROCESO XERÁRQUICO ANALÍTICO

AHP é unha metodoloxía discreta de decisión multicriterio destinada a establecer unha clasificación relativa das alternativas de decisión cun volume mínimo de información: non require que as alternativas se cuantificaran con exactitude, nin que o decisor especifique formalmente a súa función de utilidade nin que os seus xuízos sexan perfectamente transitivos<sup>14</sup>. O decisor unicamente debe expresar en qué medida cada alternativa é preferida a unha segunda empregando unha escala cualitativa: *absolutamente* máis importante, *bastante* máis importante, etc. O método interpreta estes xuízos comparativos para estimar a percepción de utilidade do decisor e establecer unha clasificación relativa das alternativas de decisión, e garante que a ordenación é coherente coas súas preferencias reais.

A metodoloxía alcanzou unha ampla difusión na empresa debido á súa flexibilidade e á súa claridade para o decisor: o usuario ocúpase unicamente da responsabilidade que lle incumbe como xestor, isto é, a xeración e a comparación de alternativas. Non intervén no proceso de conversión destes xuízos en factores numéricos nin na súa posterior manipulación matemática, que se confían ás aplicacións informáticas que soportan a ferramenta (figura 2) e, no caso das decisións de grupo, ó coordinador da sesión de traballo<sup>15</sup>.

A estratexia de avaliación de AHP opera sobre tres principios xenéricos: a descomposición dos problemas, o xuízo comparativo e a síntese ou composición de prioridades (Saaty, 1980).

O problema concíbese de forma analítica como unha estrutura xerárquica que ten na súa cúspide os obxectivos do proceso de decisión; o tramo intermedio está integrado polos criterios e subcriterios; e na base sitúanse as alternativas de deci-

<sup>13</sup> *Non-Traditional Capital Investment Criteria*.

<sup>14</sup> Saaty (1980) describe o emprego da técnica; o fundamento teórico de AHP está recollido en Saaty (1986) e en Harker y Vargas (1987).

<sup>15</sup> En efecto, AHP adoita empregarse no seo de procesos de decisión *conducidos*, nos que o decisor (individual ou colectivo) conta co apoio dun profesional que se encarga de formular as preguntas, coordinar o debate, tabular as respostas e xerar os resultados.

sión ou os recursos que hai que distribuír. En cada nivel os elementos compáranse por parellas para establece-la súa importancia en relación ó nivel superior da xerarquía (principio de xuízo comparativo). En primeiro lugar, enfróntanse tódolos criterios para determina-las súas respectivas prioridades de cara ó cumprimento dos obxectivos de decisión. A continuación, compáranse tódolos pares de alternativas para determina-la desexabilidade relativa de cada proxecto de acordo con cada criterio.

En cada caso o decisor expresa a súa preferencia por un dos dous elementos nunha escala arbitraria de tipo cualitativo (táboa 2). A seguir, o coordinador do grupo, ou se é o caso a aplicación DSS, converten estes xuízos en factores numéricos que toman valores entre 1 (indiferencia) e 9 (forte preferencia) e expresan unha preferencia *relativa e subxectiva* diferente da noción convencional de preferencia manexada pola teoría económica.

**Táboa 2.-** A escala de AHP

	DEFINICIÓN	FACTOR
Igual importancia	As actividades contribúen de idéntica forma ó obxectivo	1
Lixeiramente máis importante ou preferida	A experiencia e o xuízo favorecen lixeiramente unha actividade sobre a outra	3
Fortemente máis importante ou preferida	A experiencia e o xuízo favorecen fortemente unha alternativa sobre a outra	5
Moi fortemente máis importante ou preferida	Unha actividade é fortemente favorable e a súa dominación está demostrada na práctica	7
Extremadamente máis importante ou preferida	A evidencia que favorece unha actividade sobre a outra é a maior posible na orde de afirmacións.	9
Valores intermedios	Expresivos da indefinición entre dous valores básicos da escala	2, 4, 6, 8

FONTE: Saaty (1983, p. 145).

A continuación, os factores son organizados en *matrices de dominacións*, de natureza positiva e recíproca<sup>16</sup>, e que proporcionan o fundamento alxébrico para a estimación das ponderacións de cada elemento da xerarquía: o *autovector* de cada matriz de dominacións proporciona unha medida da importancia relativa dos elementos xulgados nesa matriz concreta<sup>17</sup>.

Finalmente, o principio de *composición* supón a agregación das matrices de preferencias empregando como ponderacións os pesos relativos dos elementos do ni-

<sup>16</sup> É dicir, se a comparación de dous elementos  $A_1$  e  $A_2$  dá un valor  $a_{12}$ , o par inverso ( $A_2$  fronte  $A_1$ ) dará un coeficiente  $a_{21}$  tal que  $a_{21} = 1/a_{12}$ ; os valores da diagonal principal son iguais a un. Con carácter xeral o cálculo da matriz require  $\frac{n \cdot (n-1)}{2}$  comparacións, sendo  $n$  o número de criterios.

<sup>17</sup> O método dos autovectores é o criterio proposto por Saaty (1980); existen, sen embargo, outras técnicas que, como a agregación xeométrica, simplifícan o cálculo do modelo sen provocar unha perda significativa de precisión.

vel xerárquico superior<sup>18</sup>. En xeral, AHP permite establecer unha clasificación estable das alternativas agás no caso das estruturas retroalimentadas (Saaty, 1980 e 1986; Harker e Vargas, 1987) nas que as alternativas e os criterios están relacionados. Estes problemas poden ser adecuadamente tratados mediante a *técnica da supermatriz* (Dyer, 1990, p. 255).

### 3.2. TÉCNICAS MULTICRITERIO ALTERNATIVAS

A metodoloxía AHP empregada neste traballo só é unha das varias técnicas multicriterio ofrecidas pola teoría da decisión. Promethee, Pattern, CPE ou a familia Electre contan cunha acreditada base teórica<sup>19</sup>; sen embargo, na nosa opinión, as características do proceso xerárquico analítico son idóneas para tratar co problema da avaliación de investimentos en TI.

AHP recolle o que no seu momento foi sinalado como a gran contribución de Pattern: a estruturación xerárquica do problema, pero elude as súas principais limitacións. A diferenza de Pattern, as ponderacións dos criterios obtéñense dentro do modelo e non é preciso que o decisor estableza unha valoración absoluta para cada alternativa. Optamos por rexeita-las distintas versións de Electre onde a especificación do núcleo depende de certos limiares de concordancia e de discordancia establecidos esóxena e arbitrariamente polo decisor<sup>20</sup>. Electre-II prevén a aparición de solucións en circuíto, relativamente común en Electre-I, pero faino a costa de introducir niveis de control adicionais que escurecen o cálculo e a interpretación do modelo desde a perspectiva do usuario.

Por outra parte, AHP é, de acordo co noso coñecemento directo da realidade empresarial (Piñeiro, 1999)<sup>21</sup>, a técnica multicriterio máis común pola súa simplicidade aparente, pero tamén pola existencia de certo número de ferramentas de software que facilitan o tratamento dos problemas e que indubidablemente contribuíron á difusión da metodoloxía.

### 3.3. APLICACIÓN DE AHP Á AVALIACIÓN DE INVESTIMENTOS EN TECNOLOXÍAS DA INFORMACIÓN

O primeiro paso na aplicación da metodoloxía AHP á avaliación de proxectos consiste no deseño dos niveis superiores da xerarquía do problema, con especial mención dos *criterios*. Tratándose de sistemas de información, os obxectivos per-

<sup>18</sup> Por exemplo os elementos do autovector da matriz de dominacións para os criterios expresan a prioridade que o decisor atribúe a cada criterio, de cara ó logro do obxectivo final da decisión. Estes valores empréganse a continuación como ponderacións no cálculo da puntuación media de cada alternativa.

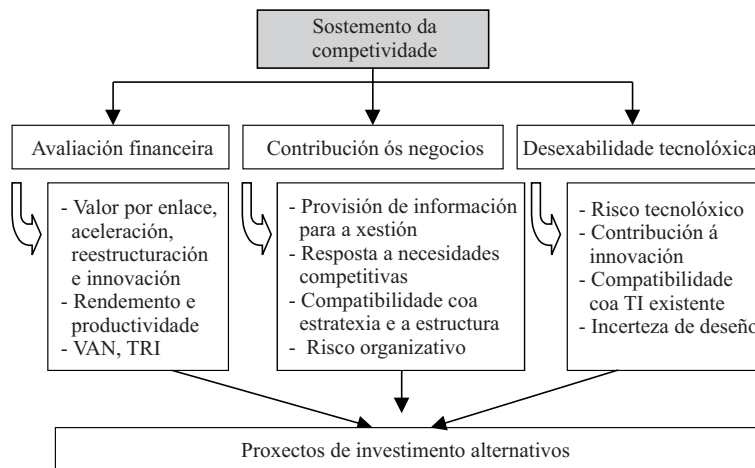
<sup>19</sup> Leal *et al.* (1995) ofrecen unha detallada visión práctica destas e dalgunhas outras técnicas multicriterio.

<sup>20</sup> De feito pode ocorrer que o núcleo só poida despexarse se se *forzan* estes limiares.

<sup>21</sup> Só 5 das 115 empresas participantes neste estudo empregaban ferramentas de decisión multicriterio, pero en tódolos casos se trataba de AHP.

seguidos pola decisión consistirán nunha miscelánea de cuestións tácticas e estratéxicas que xenericamente podemos identificar co sostemento da competitividade. O problema xorde ó tratar de especifica-los criterios concretos cos que se vai xulga-la contribución do proxecto. Recorremos para iso á estrutura conceptual proporcionada polo modelo *Information Economics* de Parker *et al.* (1988 e 1989) que, na nosa opinión, ofrece unha visión completa e exhaustiva do valor de negocios dos investimentos en tecnoloxías da información. O sistema de criterios da xerarquía estaría integrado por tres medidas xenéricas (contribución financeira, apoio ós negocios e desexabilidade tecnolóxica), cada unha delas articulada en varios subcriterios. AHP ofrece aquí unha atractiva facultade: proporcionar unha estimación da importancia relativa recoñecida a cada criterio e subcriterio.

**Figura 1.-** Xerarquía de AHP para a avaliación de sistemas de información



FONTE: Baseado en Parker *et al.* (1988 e 1989).

É interesante observar que en sentido estrito a nosa proposta non constitúe un modelo propiamente dito senón un *metamodelo* (Bannister e Remenyi, 1999) que a empresa debe desenvolver de acordo coa idiosincrasia e coas súas necesidades específicas de xestión. A estrutura pode ser adaptada con facilidade empregando métodos de simulación, e a interpretación dos seus resultados é inmediata.

### 3.3.1. Exemplo de aplicación

Para clarifica-la utilización do metamodelo ofrecemos un exemplo simplificado que consiste na simulación artificial do proceso de clasificación de tres proxectos de investimento por parte dun distribuidor polo miúdo, que considera catro criterios

de decisión<sup>22</sup>. Non se trata dun caso real pero polo seu deseño é verosímil e directamente extrapolable á *praxe* empresarial.

Supóñase que os axentes comerciais suxeriron o desenvolvemento dunha base de datos avanzada para uso comercial (BD) que se espera que xere unha mellora inmediata na cifra de vendas e da rendibilidade. Existe tamén a necesidade de implantar un sistema de información de xestión (MIS) para proporcionarlle apoio na toma de decisións. Finalmente, varios membros da organización suxeriron a posibilidade de empregar-la infraestrutura actual para desenvolver unha plataforma experimental de comercio electrónico (CE). A empresa propónse o obxectivo xeral de manter-la súa competitividade no medio e no longo prazo, e xulga os proxectos de acordo con catro criterios concretos que se definiron logo dun proceso de *brains-torming* e dun debate entre os membros do grupo de dirección: o rendemento económico medio esperado, o apoio prestado ós procesos de negocios, a importancia para os negocios no futuro e o risco tecnolóxico estimado.

En primeiro lugar, o decisor debe expresar-las súas preferencias en relación ós criterios, indicando en qué medida cre que un criterio é máis importante ca outro de cara ó cumprimento do obxectivo da decisión. Estas respostas teñen carácter cualitativo (*fortemente* importante, *lixeramente* importante, etc.), aínda que inmediatamente son codificadas nunha escala do 1 ó 9 (táboa 2) polo coordinador do proceso ou polo software de aplicación. A figura 2 recolle esta conversión: na parte superior figuran a pregunta que se lle formularía ó decisor e as súas posibles respostas, que son perceptuais; a parte inferior da fiestra mostra a transformación das respostas a escala numérica e a súa organización matricial, que non se lle presentan ó decisor<sup>23</sup>.

As táboas adxuntas presentan as matrices de comparacións para os criterios (táboa 3) e as alternativas (táboa 4)<sup>24</sup> no formato numérico empregado internamente por AHP, así como as súas respectivas ratios de consistencia. Obsérvase que as matrices son simétricas e que a inconsistencia é inferior ó 10%, o que proporciona unha confianza razoable na coherencia das matrices e na estabilidade da estrutura de preferencias (Saaty, 1986, p. 842)<sup>25</sup>.

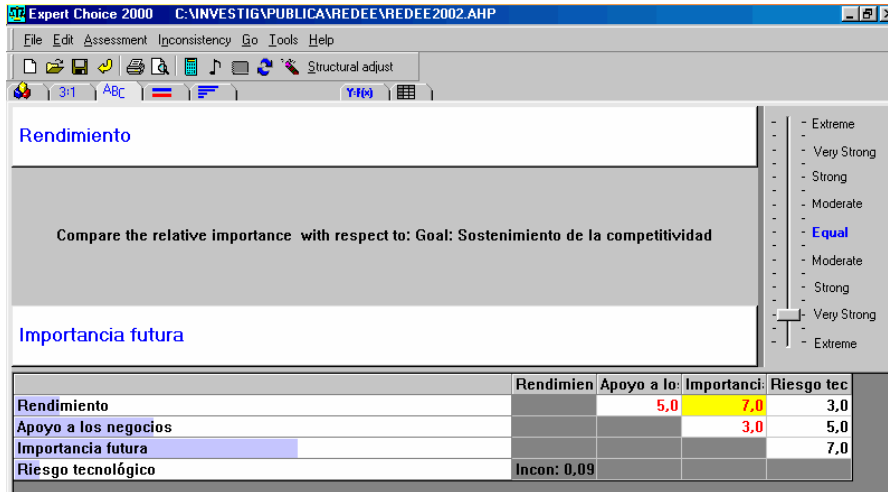
<sup>22</sup> O problema tratouse co software de aplicación Expert Choice 2000.

<sup>23</sup> Móstrase un dos xuízos emitidos polo decisor e a súa codificación numérica: atribúese ó criterio *importancia para o futuro dos negocios* unha importancia *moi forte* sobre o criterio *rendemento*, o que se codifica cun factor igual a 1/7. O software empregado diferencia os factores e os seus inversos mediante un código de cor, de aí que o valor no recadro deba ser interpretado como 1/7.

<sup>24</sup> O rendemento é un factor cuantificable, por iso os coeficientes da matriz de dominacións poden establecerse calculando o cociente entre os rendementos de tódolos pares de proxectos. Supóñase que o ROI dos proxectos de creación dunha BD comercial e dun MIS é o 9% e o 3%, respectivamente: os coeficientes de comparación serán  $BD/MIS = 0,09/0,03 = 3$  e  $MIS/BD = 1/3$ . Este método pode proporcionar maior precisión que a decisión convencional de AHP, pero obriga a aceptar unha hipótese moi restrictiva: que a utilidade do decisor é estrictamente proporcional ó valor numérico do rendemento.

<sup>25</sup> Obsérvase que, aínda que non forma parte do aparato teórico de AHP, a transitividade das preferencias está implícita na estrutura operativa do método.

Figura 1.- Expresión de xuízos e construción da matriz de dominacións



Táboa 3.- Matriz de xuízos para os criterios

CRITERIOS	RENDEMENTO	APOIO NEGOCIOS	IMPORTANCIA FUTURO	RISCO TECNOLÓXICO
Rendemento	1	1/5	1/7	3
Apoio negocios	5	1	1/3	5
Importancia futuro	7	3	1	7
Risco tecnológico	1/3	1/5	1/7	1
Inconsistencia = 0,09				

O vector de valores propios da matriz de dominacións dos criterios (táboa 3) ofrece unha estimación da importancia relativa de cada criterio en relación ó obxectivo xeral do sostemento da competitividade<sup>26</sup>.

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

Da mesma forma, os vectores de autovalores das matrices de dominacións das alternativas (táboa 4) expresan a importancia relativa de cada proxecto para cada criterio de decisión. Estes factores (táboa 5) indican que, desde o punto de vista do rendemento, o proxecto máis desexable é a BD comercial (0,637), seguida do de-

<sup>26</sup> Existen outras técnicas que, como a media xeométrica das filas ou das columnas, ofrecen unha estimación relativamente precisa das ponderacións. A utilidade de criterios alternativos como as medias aritmética ou harmónica é discutible.

envolvemento dun MIS (0,258). É importante observar que estas prioridades son unha estimación *relativa* das preferencias reais do decisor, inferida dos xuízos que este emitiu nas comparacións previas.

**Táboa 4.-** Matrices de dominacións para as alternativas

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

APOIO 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 proxecto avalíase calculando unha media ponderada das puntuacións que lle foron asignadas para cada un dos criterios. Estas ponderacións son os pesos relativos dos criterios, é dicir, os elementos do vector propio da matriz de dominacións dos criterios. O resultado é un vector de prioridades que permite establecer unha clasificación relativa dos proxectos (columna dereita da táboa 5): o decisor concédelle prioridade á instalación do sistema MIS xa que esta alternativa obtén as mellores puntuacións nos dous criterios máis ponderados. A aplicación experimental de comercio electrónico obtén a segunda mellor puntuación porque, aínda que ofrece un maior nivel de risco tecnolóxico, lle proporciona un grao relativamente grande de cumprimento para o criterio máis ponderado. A avaliación da base de datos comercial vese prexudicada porque a súa principal fortaleza –o rendemento no curto prazo– ten unha relevancia marxinal para o decisor.

**Táboa 5.-** Puntuacións finais de AHP

PROXECTOS	VECTORES DE PRIORIDADES (relevancia para cada criterio)				PUNTUACIÓN GLOBAL
	Rendemento	Apoio a negocios	Importancia para o futuro	Risco tecnolóxico	
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.					

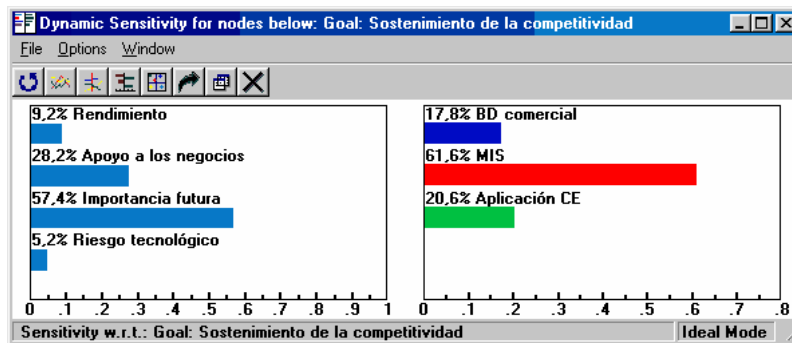
Con carácter xeral o proceso AHP está apoiado por unha aplicación de axuda baseada en ordenador (DSS) que se encarga da tabulación dos datos e do seu tratamento matemático. O uso de sistemas de axuda é altamente recomendable porque, ademais de simplificar o cálculo da estrutura, proporcionan soporte para a decisión de grupo e ferramentas para a análise da solución. Estes recursos dotan a AHP

do dinamismo e da interactividade que os seus promotores quixeron imprimirlle, xa que fan posible a simulación e a análise de sensibilidade das clasificacións.

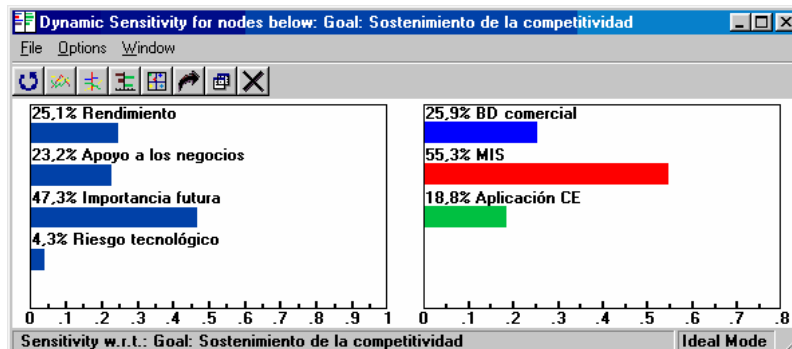
Supóñase que, unha vez finalizada a avaliación da xerarquía, o decisor considera que a ponderación atribuída ó criterio *rendemento* é excesivamente pequena e que desexa establecer un valor arbitrario igual a 0,25; este cambio altera o sistema de ponderacións dos criterios e, en consecuencia, tamén as prioridades das alternativas polo que cómpre verifica-la permanencia da clasificación. A aplicación de axuda proporciona inmediatamente as novas prioridades e confirma que o proxecto máis desexable segue a se-lo sistema MIS, aínda que o desenvolvemento dunha BD comercial pasa a ocupa-lo segundo lugar da clasificación relativa (figura 3).

Figura 3.- Análise de sensibilidade

Solución coas ponderacións inferidas dos xuízos do decisor



Solución cunha ponderación igual ó 25% para o rendemento



#### 4. CONCLUSIÓN. LIMITACIÓN E DESENVOLVEMENTO FUTURO

Fronte á inxenuidade da cuantificación estrictamente financeira, suxerímo-la necesidade de realizar unha estimación ampla de valor, entendido este como a con-

tribución do proxecto ó éxito dos negocios. O modelo proposto ofrece un método preciso, rigoroso e comprensible para a avaliación de investimentos en tecnoloxías da información, capaz de integrar de maneira transparente os factores cualitativos. O uso de AHP confirelle algunhas propiedades de interese:

- A formulación da xerarquía esixe do decisor un esforzo analítico que indubidablemente é beneficioso para a calidade da decisión final.
- O nivel intermedio da xerarquía admite a incorporación de criterios de todo tipo, incluíndo factores de risco, o que resulta coherente coa visión ampla de valor á que xa nos referimos. Aínda que se trata dun método multicriterio fundamentalmente cualitativo, AHP admite a integración de factores cuantitativos.
- A estratexia de comparación por parellas e o sistema de respostas cualitativas resultan claras e comprensibles para o decisor.
- O método é compatible coa toma de decisións de grupo.
- O proceso matemático subxacente a AHP proporciona un indicador preciso e fiable da consistencia dos xuízos do decisor.

Así mesmo, a introducción dunha estratexia racional de cálculo suprime os riscos implícitos na asignación de ponderacións arbitrarias, aínda que é evidente que a clasificación depende estreitamente do acerto na selección dos criterios de avaliación. Neste sentido suxerimos que, antes de ser empregado, o modelo se someta a simulación para depura-lo seu deseño e para establece-los criterios máis representativos para a organización.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALBAYRAKOGU, 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, (setembro).
- 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 Process 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, (novembro), 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*. (Tese de doutoramento non publicada). Universidade da 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, (xullo), 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.
- 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.