

ISSN 1576-0162

MODELOS INPUT-OUTPUT Y ANÁLISIS PROBABILÍSTICO  
DE IMPACTO CRUZADO MEDIANTE ESCENARIOS*LINKING CROSS-IMPACT PROBABILISTIC SCENARIOS  
TO INPUT-OUTPUT MODELS**Emilio Fontela Montes*Universidad Antonio de Nebrija de Madrid  
efontela@nebrija.es*José Manuel Rueda Cantuche*Universidad Pablo de Olavide de Sevilla  
jmruedan@upo.es

## RESUMEN

Desde la contribución pionera de W. Leontief en su discurso de la entrega de los premios Nobel en 1973 (Leontief, 1974), los modelos input-output se vienen asociando con modelos a nivel mundial que estiman los impactos medioambientales del crecimiento económico. Más tarde, en el proyecto de investigación de las Naciones Unidas en el que participó W. Leontief junto con Carter y Petri (Leontief, Carter y Petri, 1977) también introdujo el concepto de escenarios entendiendo como tales los posibles desarrollos futuros de la economía mundial y utilizando modelos input-output para evaluar los impactos medioambientales y sus consecuencias económicas en términos cuantitativos. Sin embargo, si el objetivo principal de la ciencia social consiste en mejorar los procesos de toma de decisiones relacionadas con aspectos sociales, necesitamos otros métodos que integren las opiniones de expertos sobre sistemas globales a través del conocimiento del modo de funcionar de unos subsistemas dados de la misma realidad. En este sentido, el análisis de impacto cruzado se convierte en un método embrionario de potencial interés.

Este artículo se centra en diseñar y ofrecer una incipiente posibilidad de vincular los métodos de análisis de impacto cruzado para escenarios probabilísticos junto con un modelo input-output mundial de contabilidad social (incluyendo asimismo aspectos medioambientales). Sus principales objetivos son los de mejorar los procesos de toma de decisiones a nivel mundial hacia un desarrollo sostenible, así como hacia otros aspectos situados en el corazón de las preocupaciones de la sociedad en general, siendo capaz de adelantarse a los futuros sucesos y consecuencias de la actividad humana sobre la economía global y la sociedad en su conjunto.

*Palabras clave:* Modelos Input-Output Mundiales, Análisis de Impacto Cruzado, Análisis por Escenarios, Análisis Input-Output.

## ABSTRACT

Since the pioneering contribution by W. Leontief in his 1973 Nobel Prize lecture (Leontief, 1974), input-output models have been often associated with world models attempting to estimate global environmental impacts of economic growth. Leontief, Carter and Petri (1977) also introduced the concept of scenarios, referring to possible future developments of the world economy and used their input-output models to quantify environmental impacts and related economic consequences. However, if a major objective of social science is to improve decision-making processes related to social issues, we need methods for integrating these expert opinions about global systems with an understanding of how given subsystems function within the same reality. In this sense, cross-impact analysis becomes an embryonic method of potential interest.

This paper is concentrated on the possibility of linking cross-impact methods for probabilistic scenarios with world social accounting models including environmental issues, with the main purpose of improving global decision-making processes vis-à-vis sustainable development and other issues at the centre of society's concerns, as well as helping to foresee future events and future impacts of human activity on the global economy and on society at large.

*Keywords:* World Input-Output Models, Cross-Impact Analysis, Scenario Analysis, Input-Output Analysis.

*Clasificación JEL:* C67, D57, C61.



## 1. INTRODUCCIÓN

Desde comienzos de los años noventa, con la primera Conferencia Mundial sobre la Tierra llevada a cabo en Río de Janeiro (Brasil) en 1992, el desarrollo de una mayor concienciación sobre el impacto del ser humano en el clima y sobre la no sostenibilidad de los desarrollos económicos y sociales vigentes, ha sido uno de los logros más importantes de toda la comunidad mundial. Sin embargo, existe un acuerdo ampliamente compartido respecto al fracaso del desarrollo efectivo y cumplimiento de los objetivos propuestos entonces. En este contexto, tal como Duchin et al. (2002) establecen, ahora más que nunca existe una necesidad de articular un claro enfoque hacia el desarrollo sostenible y sus dimensiones social, medioambiental y económicas, sobre la base de la exploración de caminos alternativos que sean capaces de modificar sustancialmente la estructura presente a escala global.

En este sentido, la modelización mundial juega un papel muy importante al respecto. Desde los trabajos pioneros de Forrester (1971) y Meadows et al. (1972) para el Primer Informe al Club de Roma, los modelos mundiales de Leontief (1974) y Leontief, Carter y Petri (1977), ambos basados en el análisis input-output, constituyen grandes esfuerzos de modelización a gran escala. A saber, el modelo se construyó en base a un caso ficticio con dos grupos de países (desarrollados y menos desarrollados), tres grupos de productos (productos derivados de las industrias extractivas; resto de bienes y servicios producidos; y servicios relacionados con la reducción de todo tipo de contaminación generada por los sectores productivos, el consumo final y el propio sector descontaminador), dos componentes de la demanda final (interior y comercio exterior) y dos componentes del valor añadido (rendimientos del trabajo y del capital). De esta manera, todas las relaciones teóricas inherentes al análisis input-output en relación con el modelo de cantidades (unidades físicas) y su correspondiente modelo dual de precios se van a seguir cumpliendo. Con más incógnitas que ecuaciones, el modelo fue estimado dentro de un marco de posibles escenarios para el año 2000, donde para ello se asignaron valores diferentes a las variables consideradas como exógenas. Un estudio comparado sobre la realidad del año 2000 y las predicciones de estos modelos puede encontrarse en Fontela (2000). Al mismo tiempo, autores como Stone (1976) consideraban factible desarrollar modelos mundiales sobre la base de las Contabilidades Nacionales de los distintos países, incluyendo alguna desagregación sectorial. Pero, desafortunadamente, las Naciones Unidas fueron perdiendo progresivamente interés en los modelos de tipo global en beneficio de otros modelos más nacionales o de un ámbito más reducido (ej., Proyecto LINK). La crisis del petróleo, las fluctuaciones de las distintas monedas, una creciente insatisfacción en los modelos a largo plazo así como un creciente nivel de subjetividad en el diseño de los mismos, pueden haber sido razones suficientes para que en los años ochenta y noventa se haya prestado escasa atención a la modelización a escala mundial.

Pero desde finales de los años noventa, existe una creciente concienciación sobre el proceso de globalización mundial. Organizaciones

internacionales, movimientos anti-globalización y defensores del crecimiento sostenible, sistemas financieros y grandes compañías multinacionales elaboran actualmente sus planes estratégicos a escala global. Por ello, proponemos en este trabajo que de algún modo puede haber llegado de nuevo el momento para retomar las líneas de investigación iniciadas por Leontief (1974) y recientemente abordadas por Duchin y Lange (1994). A diferencia de los años setenta, existen actualmente diversas razones que favorecen la construcción de modelos mundiales, a saber, la creciente mejora y disponibilidad de bases de datos para cada país dentro de un contexto cada vez más amplio de sistemas estadísticos internacionales (Sistema de Cuentas Nacionales; Sistema Europeo de Cuentas y Sistema de Cuentas Medioambientales), la creciente elaboración por un número cada vez mayor de países de numerosas tablas input-output basadas en la construcción previa de matrices de origen y destino, la disponibilidad de series temporales económicas regionales, y el desarrollo de matrices de contabilidad social, modelos de equilibrio general y nuevas herramientas para ser incorporadas en los modelos mundiales, tales como las ecuaciones de comportamiento (en el cálculo de coeficientes de consumo privado), la tecnología (respecto a los coeficientes técnicos), y el análisis por escenarios a través del análisis de impacto cruzado o la modelización estructural interpretativa.

Después de esta introducción histórica y vista la necesidad de acometer nuevos proyectos a escala mundial, en el próximo epígrafe destacaremos el carácter esencial que puede representar el análisis input-output en la modelización a nivel global. En los sucesivos apartados, abordaremos con el mismo objetivo los modelos de escenarios, el análisis de impacto cruzado y los modelos input-output mundiales. Por último, en la sexta sección del artículo identificaremos la relación existente entre estos dos últimos enfoques dentro de un marco de posibles escenarios, estableciendo en el último apartado las correspondientes conclusiones.

## 2. EL CARÁCTER ESENCIAL DEL ANÁLISIS INPUT-OUTPUT EN LA MODELIZACIÓN MUNDIAL

El marco estructural propio del análisis input-output nos permite retratar el lado “real” de la economía y analizar el cambio estructural tanto a nivel nacional como regional. Inicialmente, el análisis input-output fue concebido para el estudio de las tecnologías de producción pero actualmente se ha extendido, entre otros, al análisis de las pautas de la distribución de la renta, los modos de vida de las familias, etc. Asimismo, los modelos input-output pueden ser utilizados para evaluar el impacto de la actividad humana sobre el medio ambiente en términos de utilización de recursos y generación de contaminantes. En consecuencia, el análisis input-output está jugando un papel muy importante en temas de ámbito global y en la evaluación de los diversos impactos sociales y medioambientales. Por tanto, el análisis input-output debería ser crucial para integrar en los asuntos de carácter global que nos preocupan, aquellos aspectos relacionados con la financiación internacional

(Organización Mundial del Comercio, Fondo Monetario Internacional), la información (información médica y genética), la cultura (invasiones culturales, diferentes culturas) y las instituciones (derechos de los niños, derechos del trabajo, derechos del conocimiento y patentes) como partes de un nuevo orden global que está emergiendo en este nuevo siglo.

Duchin et al. (2002) considera urgente la construcción de modelos input-output mundiales en base a escenarios por parte de la Asociación Internacional Input-Output. Esto implicaría esfuerzos importantes hacia nuevos desarrollos teóricos en modelización, mayor relevancia política de los resultados y la consolidación de una estructura organizativa. Desde un punto de vista teórico, los modelos globales son de hecho una plataforma integradora de los resultados y análisis de las más diversas disciplinas. En consecuencia, para ello se necesitaría una red de los más prestigiosos profesionales basada en el conocimiento de áreas como la economía ecológica, la ecología industrial, la economía de la energía, la sociología y la antropología. En este sentido, no solo estarían invitados a participar los economistas o teóricos de la economía sino que también serían bienvenidos los científicos sociales, políticos y demás miembros e instituciones afectadas de la sociedad civil. Además, se deberían evitar ciertas discrepancias entre la misma comunidad científica dedicada al análisis input-output tales como aquellos que trabajan en matrices de contabilidad social, modelos de equilibrio general y análisis input-output dinámico. Por último, en el trabajo de Duchin et al. (2002) se pueden encontrar diversas etapas organizativas para la consecución de un modelo input-output mundial sobre la base de escenarios, las cuales están desarrolladas en este mismo número de la revista por el profesor Pulido (2005).

Consecuentemente, un modelo de la economía mundial debe enmarcarse necesariamente dentro de un marco input-output donde distintos escenarios futuros puedan ser simulados con el objetivo de adentrarnos en el conocimiento de lo que el futuro nos depara y de proporcionarnos mayor capacidad de evaluación de impactos en áreas cruciales, realizando investigaciones en profundidad de las posibles implicaciones y consecuencias futuras de las distintas acciones posibles que pudieran llevarse a cabo.

### 3. MODELOS DE ESCENARIOS DE UNA ECONOMÍA MUNDIAL

Los modelos económicos incluyen teorías sobre el funcionamiento de las principales relaciones en el tiempo entre los aspectos más importantes que caracterizan la realidad que se quiere modelar (modelos mentales). También, los modelos económicos incorporan descripciones matemáticas de dichas teorías en una notación precisa, donde las características se convierten en variables a medir, y éstas se relacionan posteriormente en ecuaciones a través de parámetros.

Si tenemos esto en cuenta, un modelo económico debe representar fielmente la teoría subyacente, ser capaz de contrastarla y servir para analizar los distintos escenarios más relevantes respecto a problemas actuales para

los que la teoría todavía no ha dado respuestas satisfactorias (Duchin et al., 2002). Dentro de este contexto, la principal motivación para construir un modelo de la economía mundial sería entonces ayudar en el desarrollo de teorías, contrastarlas y explorar el futuro utilizando un análisis basado en escenarios. No obstante, debemos ser conscientes de los esfuerzos requeridos para llevarlo a cabo en términos de bases de datos, desarrollo de escenarios e interpretación de los resultados correspondientes.

Un modelo de la economía mundial debiera incluir teoría, escenarios, datos, modelo e interpretación con, donde fuera posible, alguna interconexión adicional entre ellos. El correcto desarrollo de los diferentes tipos de escenarios requiere un reto interdisciplinar que generalmente implica ciertos niveles de colaboración entre economistas y futuristas. Además, el principal problema radica en la necesaria traslación de los distintos escenarios a valores, los cuales serán incorporados en las variables y parámetros del modelo. Por ejemplo, al igual que en la mayoría de los modelos estimados en los años setenta, el modelo input-output estático de Leontief (1954) fracasaba en su exploración del futuro al no incorporar las reacciones en el modelo de cambios en los precios y en la tecnología. Para solventar este inconveniente, el análisis input-output dinámico y la microeconomía del comportamiento se incorporaron a modelos multisectoriales ya existentes y modelos de equilibrio general de tal modo que el cambio tecnológico pasara a considerarse endógeno y no exógeno. Por tanto, no existe ninguna duda de que el concepto de modelo input-output cerrado va íntimamente ligado al modelo global. En la mayoría de los casos, los distintos escenarios consisten en un reducido conjunto de números antes de que el análisis formal se lleve a cabo. Sin embargo, se necesita un enfoque sobre escenarios nuevo y de ámbito más amplio al respecto.

La investigación sobre el futuro, como suministrador de objetivos para una decisión óptima a largo plazo, se consolidó en los años setenta en torno a las opiniones de expertos sobre el futuro (técnicas Delphi y tormenta de ideas), relaciones de conocimiento entre futuros eventos, tendencias y acciones (análisis de impacto cruzado e instrumentos de dinámica de sistemas), retratos estructurales de sistemas complejos erróneamente definidos (análisis morfológico y modelización estructural interpretativa), y descripciones de posibles alternativas de futuro (análisis de escenarios). Recientemente, esta disciplina ha evolucionado desde la idea inicial de realizar labores de predicción hacia el concepto de proporcionar elementos de juicio para llevar a cabo tomas de decisión en el ámbito político (Godet, 1993). De acuerdo con Duchin et al. (2002), los métodos específicos del análisis de futuros descansan en el análisis de la complejidad (análisis morfológico, funciones de sistemas e identificación de estructuras), el estudio del comportamiento de los agentes y de los procesos de toma de decisiones, el estudio de los procesos para el desarrollo de consenso por parte de expertos (Delphi y análisis de impacto cruzado) y el establecimiento de escenarios, para los cuales se asumen un conjunto de enfoques relacionados con la evolución y la simulación del comportamiento de los agentes bajo nuevas restricciones y condiciones establecidas. Finalmente, la

investigación de futuro aplicada se ha centrado mayoritariamente en explorar el futuro de agentes económicos y naciones pero rara vez se ha desarrollado a nivel global.

La relación entre la investigación de futuros y la modelización económica dentro de un contexto de modelos mundiales input-output se puede expresar de la manera siguiente. Pensemos en un sistema económico (variables endógenas) y todas sus interacciones sociales, medioambientales, políticas, culturales, etc. (variables exógenas). Una matriz de contabilidad social cubriría de forma bastante consistente las diferentes relaciones entre los distintos componentes del sistema económico (también en un sentido social: producción, renta y procesos de acumulación). Algunas interacciones entre los sectores económicos con, por ejemplo, el medio ambiente pueden ser cuantificadas como en Duchin y Lange (1994) respecto a los recursos naturales consumidos y las emisiones de contaminantes. Sin embargo, en el estado actual del conocimiento, ciertamente la traslación a impactos económicos de las interacciones entre las características no económicas globales del sistema no ha sido muy cuantificable. En este sentido, pensamos que ésta es la mejor área para la investigación de futuros con métodos tales como Delphi, análisis de impacto cruzado y modelización estructural interpretativa. Entonces, la relación entre la investigación de futuros y los modelos input-output debe basarse en incorporar tanto un modelo formal como un método para desarrollar escenarios, siendo el análisis de impacto cruzado el método más apropiado para proporcionarnos información sobre los cambios en las probabilidades (a priori) de ocurrencia de escenarios establecidos por expertos.

#### 4. ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE IMPACTO CRUZADO

Según Fontela (2002), si el propósito principal de las Ciencias Sociales es la mejora de los procesos de toma de decisiones sobre cuestiones sociales, entonces se necesitarían métodos de investigación que integren opiniones sobre el sistema globalmente considerado junto con el conocimiento de la manera de funcionar de ciertos subsistemas dados procedentes de una misma realidad. A este respecto, el análisis de impacto cruzado es un método embrionario de potencial interés.

Los trabajos pioneros sobre análisis de impacto cruzado fueron desarrollados originalmente con el objetivo de solventar la ausencia de una consideración explícita de las posibles interacciones entre las distintas predicciones, algo que es una de las principales limitaciones del método Delphi. Los trabajos iniciales respecto a la idea de construir una matriz que relacionara diferentes eventos posibles fueron de Helmer (1972) y Dalkey (1971).

#### MÉTODO DE IMPACTO CRUZADO

Sea  $E_i$  el suceso  $i$ -ésimo y  $\bar{E}_i$  el suceso complementario. Entonces, si aceptamos  $P$  como una función de probabilidad que cumple los axiomas de

Kolmogoroff de certidumbre, aditividad y no negatividad, podemos establecer las siguientes cuatro condiciones:

- (1) Todas las probabilidades oscilan entre 0 y 1, ambos inclusive.
- (2)  $P(E_i/E_j)P(E_j) = P(E_j/E_i)P(E_i) = P(E_i \cap E_j)$ .
- (3)  $P(E_j) + P(E_i) - P(E_i \cap E_j) = P(E_i \cup E_j)$ .
- (4)  $P(E_i \cap E_j) + P(E_j \cap E_k) - P(E_i \cap E_k) \leq P(E_j)$ .

Dadas las tres primeras condiciones, se pueden construir cuatro subdivisiones del cuadrado formado por la unidad, en las que sus respectivas superficies muestran tanto la ocurrencia o no ocurrencia del suceso  $E_j$  (por columnas) como la ocurrencia o no ocurrencia del suceso  $E_i$  (por filas). En forma matricial, se puede expresar también como aparece en la Figura 1. Por tanto, si de las probabilidades de ocurrencia de ambos sucesos y sus correspondientes probabilidades condicionadas, solo dispusiéramos de información sobre tres de ellas, entonces la cuarta quedaría exactamente determinada. Pero en el caso de que solo tuviéramos dos de ellas, las otras restantes debieran ceñirse a determinados límites, que pueden deducirse de las tres primeras condiciones. Estos límites serían:

- (a)  $P(E_j) + P(E_i) - P(E_j)P(E_i/E_j) \leq 1$ .
- (b)  $P(E_i)P(E_j/E_i) \leq P(E_j)$  o  $P(E_i)P(E_j/E_i) \leq P(E_i/E_j)$ .

FIGURA 1: MATRIZ DE SUBDIVISIONES

	$E_j$	0	1	
$E_i$				
0		$P(\bar{E}_i \cap \bar{E}_j)$	$P(\bar{E}_i \cap E_j)$	$P(\bar{E}_i)$
1		$P(E_i \cap \bar{E}_j)$	$P(E_i \cap E_j)$	$P(E_i)$
		$P(\bar{E}_j)$	$P(E_j)$	1





Solo en el caso de que consideremos más de dos sucesos será necesario incluir la cuarta condición. Ésta implica que la probabilidad de un suceso ( $E_i$ ) tiene que ser mayor o igual que la suma de las probabilidades de ocurrencia de  $E_i$  y  $E_j$ , y  $E_j$  y  $E_k$ , respectivamente, menos la probabilidad de ocurrencia de los dos otros sucesos  $E_k$  y  $E_j$ . La versión generalizada para más de dos sucesos puede verse en Fontela (2002).

Supongamos ahora que un grupo de expertos son preguntados por las probabilidades iniciales sobre diferentes sucesos y por sus respectivas probabilidades condicionadas o factores de impacto. A continuación, asumiremos que un promedio de las respuestas podrá representar la visión de dicho grupo. Parece evidente que hasta ahora no se ha tenido en cuenta ninguna condición sobre las probabilidades condicionadas y por tanto, nada garantiza el cumplimiento de las cuatro condiciones anteriormente descritas. Para ello, generalmente se minimiza la suma de las diferencias cuadráticas entre las estimaciones (medias) y los valores corregidos de las probabilidades absolutas y condicionadas, sujetas a dichas cuatro condiciones que funcionarían como restricciones del problema de optimización. Esto es:

$$\text{Min } \sum_i \left[ \left( P(E_i) - P^*(E_i) \right)^2 + \left( P(E_i/E_j) - P^*(E_i/E_j) \right)^2 \right]$$

*sujeto a :*

- (1)  $0 \leq P(E_i) \leq 1$ , para todo  $i$ .
- (2)  $P(E_i/E_j)P(E_j) = P(E_j/E_i)P(E_i)$
- (3)  $P(E_i) + P(E_j) - P(E_j)P(E_i/E_j) \leq 1$
- (4)  $P(E_i \cap E_j) + P(E_j \cap E_k) - P(E_i \cap E_k) \leq P(E_j)$ .

Los resultados finales obtenidos representarán las probabilidades de los diferentes estados del sistema en los cuales algunos sucesos ocurren y otros no. Esto se conoce en el lenguaje de la investigación de futuros como "escenarios". Por ejemplo, en la modelización mundial podemos considerar tres tipos de sucesos, a saber, una política internacional más agresiva a favor de la conservación del medio ambiente ( $E_1$ ), cambios importantes en la distribución de la renta a favor de una disminución de la disparidad entre países desarrollados y menos desarrollados ( $E_2$ ), y un progreso tecnológico relevante con considerables reducciones en los costes de producción ( $E_3$ ). Como resultado podemos encontrarnos con ocho posibles escenarios ( $2^3$ ) dependiendo de que tales eventos efectivamente ocurran.

Una vez que los diferentes sucesos han sido considerados en el análisis de impacto cruzado, debemos realizar una traslación de cada suceso o combinación de sucesos hacia un conjunto de valores que tomarán las variables exógenas correspondientes, los coeficientes e incluso las ecuaciones del modelo. Estas transformaciones no son tarea fácil. Solo algunas excepciones han intentado abordar este tema (Sallin-Kornberg y Fontela, 1981).

## 5. MODELOS INPUT-OUTPUT MUNDIALES

Un modelo de la economía mundial necesita credibilidad tanto por parte de economistas académicos, científicos sociales y modelizadores en general para avanzar en el sustrato teórico del mismo, como por parte de políticos, activistas, investigadores, empresas y la sociedad en sentido amplio para mejorar el proceso de toma de decisiones. Estos dos grupos incluso deben encontrar un equilibrio de tal forma que el modelo pueda convertirse en una plataforma donde interaccionen ambos.

Según Duchin et al. (2002), el modelo mundial de Leontief es el principal punto de partida de la modelización global. Sin embargo, éste debe ser completado con un enfoque conceptual y teórico aún más amplio. En aquel modelo que represente la economía mundial se deben incluir determinadas características clave de dicha economía: flujos financieros, flujos de bienes y servicios, intercambio de monedas, generación y distribución de rentas, transferencia de tecnologías de producción y modos de vida (consumo). Asimismo, se deben establecer los requerimientos necesarios que economistas, institutos de estadística oficiales, matemáticos y futuristas debieran suministrar al modelo, a saber, sobre tecnologías de producción o consumo, por ejemplo.

Un modelo mundial debe representar fielmente los flujos circulares que vinculan producción, renta, consumo y acumulación; y precisamente, los modelos input-output y las matrices de contabilidad social (MCS) proporcionan una descripción detallada y manejable de las estructuras de dichos componentes a escala nacional y/o regional. Por tanto, un modelo mundial puede estar basado en una matriz de contabilidad social global (véase Tabla 1).

En la Tabla 1, I/O representa las relaciones entre los distintos componentes de la producción (subsistema input-output); D se identifica con los procesos de distribución de la renta; F describe los procesos de operaciones financieras o flujos financieros; C, el consumo; I, la inversión; Y, la renta; y S, el ahorro.

TABLA 1: MCS AGREGADA

	Producción	Renta	Acumulación
Producción	I/O	C	I
Renta	Y	D	
Acumulación		S	F

Fuente: Duchin et al. (2002).

Evidentemente, para abordar las diferentes respuestas a los problemas mundiales que actualmente nos atañen (desarrollo sostenible, por ejemplo) se necesitaría una MCS más desagregada, no solo respecto a sectores sino también respecto a las familias (Duchin, 1998), instituciones o factores de producción.

En la Tabla 2 podemos ver una representación esquemática de una MCS mundial para dos regiones. Para  $n$  sectores o ramas de actividad,  $k$  factores,  $m$  instituciones y  $p$  tipos de acumulación, las dimensiones de las matrices incluidas en la Tabla 2 son:  $A(n \times n)$ ,  $F(k \times n)$ ,  $C(n \times m)$ ,  $W(m \times k)$ ,  $T(m \times m)$ ,  $I(n \times p)$ ,  $S(p \times m)$ ,  $K(p \times p)$ ,  $E(n \times 1)$ ,  $M(1 \times n)$ ,  $B(1 \times 1)$ ,  $x(n \times 1)$ ,  $f(k \times 1)$ ,  $c(m \times 1)$ ,  $i(p \times 1)$  y  $r(1 \times 1)$ .

TABLA 2: MCS MUNDIAL CON DOS REGIONES

	Actividades		Factores		Instituciones		Acumulac.		Comercio		Total
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
Actividades	1	$A_1$			$C_1$		$I_1$		$E_1$		$x_1$
	2	$A_2$			$C_2$		$I_2$		$E_2$		$x_2$
Factores	1	$F_1$									$f_1$
	2	$F_2$									$f_2$
Instituciones	1		$W_1$		$T_1$	$T_{12}$					$c_1$
	2		$W_2$		$T_{22}$	$T_2$					$c_2$
Acumulac.	1				$S_1$		$K_1$	$K_{12}$			$i_1$
	2				$S_2$		$K_{22}$	$K_2$			$i_2$
Comercio	1	$M_1$							$B_1$		$r_1$
	2	$M_2$							$B_2$		$r_2$
Total		$x'_1$ $x'_2$		$f'_1$ $f'_2$		$c'_1$ $c'_2$		$i'_1$ $i'_2$		$r'_1$ $r'_2$	

Consideremos que las dos regiones se refieren a países desarrollados y a países en vías de desarrollo. En este caso, y por cada región, las matrices  $A$  representan los consumos intermedios por ramas de actividad; las matrices  $C$  describen el consumo interior de las familias; las matrices  $I$ , se corresponden con la inversión interior; las matrices  $E$ , serán vectores de exportación entre ambas regiones; las matrices  $F$ , representarán las remuneraciones a los factores de producción; las matrices  $W$ , la asignación de renta desde los factores de producción hacia las familias; las matrices  $T_1$  y  $T_2$  describen la distribución de la renta entre las instituciones de una misma región; las matrices  $T_{12}$  y  $T_{21}$ , por el contrario, describen las transferencias de rentas de carácter institucional desde los países en vías de desarrollo a los más desarrollados y viceversa; las matrices  $S$ , serán los ahorros de las familias; las matrices  $K_1$  y  $K_2$  se corresponden con cambios en los activos financieros; las matrices  $K_{12}$  y  $K_{21}$ , por el contrario, se corresponden con flujos de capital desde los países en vías de desarrollo a los más desarrollados y viceversa; las matrices  $M$ , serán vectores de importación entre ambas regiones; y las matrices  $B$ , representarán el saldo

comercial de ambas regiones, de tal modo que la suma de los componentes de  $B_1$  y  $B_2$  debe ser cero (lo mismo podría decirse de la suma de los componentes de  $K_{12}$  y  $K_{21}$ ).

Supongamos ahora que ya hemos construido una matriz de contabilidad social mundial tal como se muestra en la Tabla 2. En general, tanto la producción como la renta se suelen tratar como variables endógenas mientras que los procesos de acumulación son tratados como exógenos. En este contexto, podremos ser capaces de utilizar este modelo input-output extendido que relaciona los flujos financieros con la distribución de la producción y la renta y, consecuentemente, con aspectos sociales y medioambientales (como por ejemplo, la sostenibilidad mundial). Sin embargo, desde el punto de vista de la investigación futurista, las transferencias de capital deben también considerarse como endógenas dejando entonces solo como dimensiones exógenas del modelo aquellos aspectos institucionales, políticos, tecnológicos, sociales, medioambientales y culturales.

## 6. RELACIÓN ENTRE MODELOS DE IMPACTO CRUZADO Y MODELOS INPUT-OUTPUT MUNDIALES

Por último, si una matriz de contabilidad social mundial como ésta pudiera formar parte de un programa más amplio de investigación sobre futuros, se podría aplicar en primer lugar el método Delphi o el análisis morfológico para identificar la evolución futura de distintas posibilidades de desarrollo tecnológico respecto al sistema de producción; en segundo lugar, se podría aplicar el método de la modelización estructural interpretativa para extraer el árbol de relevancias a partir del contenido de las declaraciones realizadas por los observadores del sistema mundial, tales como las Naciones Unidas, el Club de Roma, los líderes políticos, etc.; a continuación, se utilizaría el análisis de impacto cruzado para medir las probabilidades subjetivas a priori de los posibles sucesos que en el futuro podrían ocurrir a nivel mundial en función del análisis de los expertos; y finalmente, combinaríamos los resultados previos dentro de un amplio y participativo proceso de descripción de posibles escenarios, incluyendo algunas alternativas de decisión política. En definitiva, una nueva generación de modelos input-output mundiales que puede ser la herramienta más apropiada para el análisis, simulación y toma de decisiones políticas a nivel mundial en función de los escenarios definidos con anterioridad.

Finalmente, entendemos que los modelos input-output aquí expuestos son todavía de carácter exclusivamente teórico, sin ninguna aplicación empírica con datos reales. No obstante, en estos momentos los autores de este trabajo estamos elaborando, en una primera fase, el diseño de una simulación que de alguna manera ilustre el método presentado, para continuar posteriormente con el de una aplicación empírica real (siendo plenamente conscientes de la dificultad que ello implica no solo en el aspecto analítico sino en el de recopilación de fuentes estadísticas fiables).

## 7. CONCLUSIONES

Desde la contribución pionera de W. Leontief en su discurso de la entrega de los premios Nobel en 1973 (Leontief, 1974) los modelos input-output se vienen asociando con modelos a nivel mundial que estiman los impactos medioambientales del crecimiento económico. En el proyecto de investigación de las Naciones Unidas en el que participó junto con Carter y Petri (Leontief, Carter y Petri, 1977), W. Leontief introdujo también el concepto de escenarios entendiendo como tales los posibles desarrollos futuros de la economía mundial y utilizando modelos input-output evaluaron los impactos medioambientales y sus consecuencias económicas en términos cuantitativos. Sin embargo, si el objetivo principal de la ciencia social consiste en mejorar los procesos de toma de decisiones relacionadas con aspectos sociales, necesitamos métodos que integren las opiniones de expertos sobre sistemas globales a través del conocimiento del modo de funcionar de subsistemas dados de la misma realidad. En este sentido, el análisis de impacto cruzado se convierte en un método embrionario de potencial interés.

Tanto el análisis de impacto cruzado como el método Delphi persiguen obtener estimaciones en términos de probabilidad sobre futuros sucesos, por parte de grupos de expertos. Sin embargo, éste último método no considera de forma explícita la existencia de vínculos entre las predicciones. Parece razonable suponer que si algunos sucesos considerados en el análisis Delphi de hecho ocurren, la probabilidad de ocurrencia del resto de sucesos puede quedar alterada. Por tanto, la necesidad de tomar en cuenta estos posibles impactos sugiere la idea de construir una matriz que vincule los diferentes sucesos, tal como hace el análisis de impacto cruzado. Dicha matriz fue utilizada por primera vez por O. Helmer y T. J. Gordon en un estudio sobre Kaiser Aluminium Co. en 1966, por primera vez explicada en T. J. Gordon y H. Hayward en el número de Diciembre de 1968 de la revista *Futures*, y más tarde desarrollado en Fontela y Gabus (1974).

Más recientemente, dentro del ámbito de la modelización medioambiental a nivel mundial, existe un notable incremento del interés por la posibilidad de vincular escenarios (en términos descriptivos) con modelos a nivel global y, finalmente, estimaciones probabilísticas a priori aplicadas a modelos econométricos (Fontela, 2000; Fontela, 2002).

En conclusión, este trabajo se ha concentrado en diseñar y ofrecer una incipiente posibilidad de vincular los métodos de análisis de impacto cruzado para escenarios probabilísticos y los modelos input-output mundiales (incluyendo aspectos medioambientales), con los principales objetivos de mejorar los procesos de toma de decisiones a nivel mundial hacia un desarrollo sostenible así como hacia otros aspectos situados en el centro de las preocupaciones de la sociedad en general, y de ser capaz de avanzar los futuros sucesos y consecuencias de la actividad humana sobre la economía global y la sociedad en su conjunto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dalkey, J. (1971): *An Elementary Cross-Impact Model*, RAND report r-677, ARPA.
- Duchin, F. (1998): *Structural Economics. Measuring Change in Technology, Lifestyles and the Environment*, Island Press.
- Duchin, F., Fontela, E., Nauphal, K. y Pulido, A., (2002): "Scenario Models of the World Economy", *Cuadernos del Fondo de Investigación Richard Stone*, 7, noviembre.
- Duchin, F. y Lange, G.M., (1994): *The Future of the Environment, Ecological Economics and Technological Change*, Oxford University Press, Oxford.
- Duval, A., Fontela, E. y Gabus, A. (1975): *Cross-Impact Analysis, a Handbook on Concepts and Applications in Portraits of Complexity, Application of Systems Methodologies to Societal Problems*, A Battelle Monografía n° 9.
- Fontela, E. (2000): "Bridging the Gap between Scenarios and Models", *Foresight*, 2, 1, 10-14.
- Fontela, E. (2002): "Cross-Impact Analysis and Structural Economic Models", presentado en *International Conference on Input-Output Techniques*, Montreal, 10-15 octubre.
- Fontela, E. y Gabus, A. (1974): "Events and Economic Forecasting models", *Futures*, 6, 4, 329-333.
- Forrester, J.W. (1971): *World Dynamics*, Wright-Allen Press.
- Godet, M. (1993): *From Anticipation to Action: A Handbook of Strategic Prospective*, UNESCO.
- Helmer, O. (1972): "Cross-Impact Gaming", *Futures*, 4, 2, 149-167.
- Leontief, W. (1954): *Studies in the Structure of the American Economy*, International Arts and Sciences Press.
- Leontief, W. (1974): "Structure of the World Economy", *The American Economic Review*, diciembre, LXIV, 6, 823-834.
- Leontief, W., Carter, A. y Petri, P. (1977): *The Future of the World Economy*, Oxford University Press, Oxford.
- Meadows, D., Randers, J. y Behren, W.W.III (1972): *The Limits to Growth First Report to the Club of Rome*, Universe Books.
- Pulido, A. (2005): "Los modelos mundiales: un reto pendiente", *Revista de Economía Mundial*, 13.
- Sallin-Kornberg, E. y Fontela, E. (1981): "Scenarios Building with the Explor-Multitrade 85 Model", en *Commerce mondial et modèles multinationaux*, *Economica*.
- Stone, R. (1976): "Major Accounting Problems for a World Model", presentado en *Working Seminar on Global Opportunities and Constraints for Regional Development*, Harvard University, Cambridge, Mass., 18-22 febrero, mimeo.