

"Estudio del Agua Virtual asociada al comercio de Andalucía y el resto de España a través de un análisis Multi-Región Input-Output (MRIO)"

*Navarro, Francisco**^a y Madrid, Cristina^{a,b}*

^a Departamento de Economía Aplicada. Universidad Autónoma de Barcelona

Edifici B. Campus de Bellaterra. 08193 Bellaterra

Phone: 93.581.17.40. E-mail: Francisco.Navarro@uab.cat

^b Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental. Universidad Autónoma de Barcelona

Edifici C. Campus de Bellaterra. 08193 Bellaterra

Phone: 93.581.45.82 E-mail: cristina.madrid@uab.es

*Autor de contacto

Abstract (English)

The aim of this work is to accomplish a regional and sectorial analysis of the Net Virtual Water 'Trade' between Andalusia and the rest of Spain for 2005. In order to do so, we develop a methodology that allows a comparative analysis of both regions regarding their sectorial production and final demand. The new concept of Virtual Water is included in the methodological framework since it is acquiring importance in the Water Management arena.

This methodological framework has the Input-Output model as a basis. We build a Multi-Regional Input-Output (MRIO) for the chosen regions. This method is widely used in studies with a territorial dimension where the responsibility in the use of resources is assigned according to sectorial Final Demands. Among other advantages, it allows for the interregional and intersectorial links to be determined. For a different perspective in the Net Balance results, we combine the Vertical Integration –or Subsystems- method. This perspective examines the influence of different Economic Activities in other Branches and Regions. To date, we acknowledge no works on the use of this perspective in the MRIO analyses that examine environmental impacts, nor have we read about the implementation of MRIO for the assessment of these impacts in the Spanish case.

Previous studies on the Andalusian water use have focussed on the international trade only, mainly due to the difficulties found to accomplish a sectorial analysis by using the road transport statistics. In spite of that, internal 'exports' and 'imports' of Andalusia account 52% and 62% of the total trade. Therefore, this work sums up the essential perspective of the internal trade to the studies earlier developed. Expected outcomes provide useful information on how changes in the Andalusian regional trade and productive structure must be arranged, in order to achieve a better use of water.

Keywords: Vertical Integration, Multi-regional Input-Output Models, Virtual Water, Integrated Water Management.

Topic: 5

Resumen (español)

El objetivo del presente trabajo es realizar un análisis regional y sectorial del Balance Neto de Agua Virtual asociada al comercio entre la región de Andalucía y el resto de España para el año 2005. Para ello, desarrollamos una metodología que nos permite efectuar un análisis comparativo del uso del agua en ambas regiones, en cuanto al impacto de su producción sectorial y de su demanda final. Incluimos en el marco metodológico el nuevo concepto de Agua Virtual, ya que está tomando gran relevancia en la arena de la Gestión Hídrica.

La base del marco metodológico es el análisis Input-Output. En particular, construimos un modelo Input-Output Multi-Regional (MRIO) para las regiones consideradas. Esta herramienta es el método más utilizado para los estudios en los que se asigna la responsabilidad del uso de recursos de acuerdo a la demanda final, localizada territorialmente, de cada rama productiva. Entre otras ventajas, nos permite analizar los vínculos interregionales e intersectoriales de las regiones consideradas. La incorporación de la técnica de la integración vertical o subsistemas a nivel interregional nos permite un enfoque alternativo para el Balance Neto resultante, en el que puede examinarse la importancia de una determinada rama productiva de acuerdo a su influencia en el resto de sectores de las diversas regiones. No tenemos constancia de que este enfoque haya sido utilizado con anterioridad en los análisis MRIO aplicados al estudio de los impactos medioambientales incorporados en el comercio. Tampoco la tenemos sobre la aplicación de los MRIO de forma general para estos impactos a nivel interregional de la economía española.

Los estudios previos sobre el uso del agua de la región andaluza se han centrado en el comercio internacional ante la dificultad de hacer un análisis exhaustivo a nivel sectorial utilizando las estadísticas de transporte por carretera. Sin embargo, en términos monetarios, el comercio interior de la región con el resto de España supone un 52% de las “exportaciones” y un 62% de las “importaciones”. Por lo tanto, a nivel práctico, este trabajo aporta a los estudios desarrollados con anterioridad la esencial perspectiva del comercio interior. Los resultados esperados contribuyen a mejorar una información de extrema relevancia para una posible reforma estructural de la economía y el comercio interregional andaluz acorde a un mejor uso del recurso agua.

Palabras clave: *integración vertical, , modelos multi-region input-output, Agua Virtual, gestión hídrica integrada.*

Área temática: 5

1 Introducción

Andalucía es una región que sufre una escasez social de agua, entendida como tal la situación en la que la demanda de agua supera la disponibilidad de la misma. Esta situación se ve acentuada por las características climáticas típicas de una región mediterránea: aridez y disponibilidad variable en el tiempo y el espacio. El uso de agua en la región es frecuentemente cercano a la insostenibilidad, especialmente en lo referente a la agricultura (Berbel et al. 2008) y el sistema productivo y comercial se estructura de tal manera que paradójicamente Andalucía es un exportador neto de agua virtual (Esther Velázquez 2007).

El concepto de agua virtual define la cantidad de agua asociada a la producción de un bien. Este indicador ha adquirido importancia en el mundo académico en los últimos años, especialmente relacionado con el comercio. Se dice que un flujo comercial lleva asociada una cantidad de agua virtual igual al agua que ha sido necesario utilizar para producirlo (Hoekstra & Hung 2005). Este concepto ha mostrado su utilidad en la evaluación del uso del agua de regiones y ha sido estimado por diferentes métodos, entre los que se encuentran el análisis de flujos (ver, por ejemplo (Chapagain & Hoekstra 2008a; Hoekstra & Hung 2005; Madrid & E. Velázquez 2008; Qadir et al. 2003) y el análisis Input-Output (ver, por ejemplo, (Blackhurst et al. 2010; Cazcarro et al. 2010; Dietzenbacher & E. Velázquez 2007; Duarte et al. 2002; Guan & Hubacek 2007; Huang et al. 2005; M. Lenzen 2009; Esther Velázquez 2006). Este último tipo de análisis presenta la ventaja de eliminar los errores de truncamiento (Manfred Lenzen 2000).

Concretamente, para el caso de Andalucía, diversos estudios de los flujos de agua virtual asociados al comercio se han desarrollado utilizando la metodología de la Evaluación de Flujos (Madrid & E. Velázquez 2008; Esther Velázquez 2007) y el análisis Input-Output (Esther Velázquez 2006). Estos estudios presentan la debilidad de no incorporar un análisis del agua incorporada en el comercio con el resto de España diferenciado del agua incorporada en el comercio interno de la región y con el resto del mundo.

El análisis Multirregional Input-Output (MRIO, en inglés) (Miller & Blair 2009), es una técnica que permite el estudio integrado de las actividades económicas y el medioambiente, especialmente en la estimación de los impactos globales de ciertas actividades económicas localizadas regionalmente. Los avances metodológicos y de disponibilidad de información han hecho que en la última década se haya intensificado notablemente el uso de esta metodología en este tipo de análisis (Wiedmann et al. 2007). En el caso del agua, existen ya algunos estudios (M. Lenzen 2009; Okadera et al. 2006; Wang et al. 2009), aunque no es una metodología muy extendida hasta el momento y no se ha aplicado para estudiar el caso de España.

Además, la aportación a estos modelos de la técnica de integración vertical permite, bajo ciertas condiciones, analizar la estructura productiva particular de cada una de las industrias que conforman el sistema económico, sin desvincularlo del resto de sectores. Esta técnica fue propuesta originalmente por (Sraffa 1960) y, más tarde, por (Pasinetti 1977). Aunque no es hasta (Alcántara 1995) donde se desarrolla esta metodología desde una perspectiva medioambiental, con la construcción de subsistemas generadores de impacto de forma ampliamente desagregada. Para el caso de España, existe el estudio de (Navarro & Alcántara 2010) centrado en la generación de metano por parte del sector agroalimentario catalán y el de (Duarte et al. 2002) que estudia el uso del agua en España mediante la evaluación de vínculos intersectoriales hacia delante y hacia atrás. Pero ninguno de estos estudios incorpora un análisis MRIO.

El objetivo de este trabajo es la estimación de los flujos de agua virtual y sus balances mediante un análisis MRIO con integración vertical, que permitirá, por un lado, una mejor evaluación de los flujos de agua virtual y por el otro un mejor análisis de la responsabilidad en el uso del agua. En el trabajo se estructura de la siguiente manera: tras esta breve introducción, en la sección 2 se desarrolla la metodología utilizada detalladamente. La sección 3 explica las fuentes de datos y las estimaciones realizadas. Tras la sección 4 de resultados, en la sección 5 se expresan las conclusiones.

2 Metodología

La metodología propuesta para este trabajo es un análisis MRIO. El modelo permite capturar a través de los vínculos comerciales interregionales los efectos de la demanda final de una región en el resto de regiones consideradas desagregado sectorialmente. Aunque en general el análisis input-output presenta importantes limitaciones, una importante cantidad de autores señalan la potencialidad de los análisis MRIO y lo consideran el método más apropiado para la asignación del uso de recursos o impactos medioambientales en el consumo (ver, por ejemplo, (Wiedmann 2009; Turner et al. 2007)).

2.1 *Análisis multirregional input-output*

El punto de partida es el clásico modelo input-output caracterizado por la ecuación¹

$$x = Ax + y \tag{1}$$

¹ Las letras mayúsculas indican matrices y las minúsculas vectores los cuales son columnas por definición. La transposición de un vector viene expresado por (') y su diagonalización por (^).

donde x es el vector de outputs totales de cada rama productiva, y es la demanda final de cada industria y A es la matriz ($N \times N$; $N=24$ sectores) de coeficientes técnicos a_{ij} . La ecuación constituye un sistema de n ecuaciones cuya solución viene dada por $x = (I - A)^{-1}y$, donde $(I - A)^{-1} \equiv L$ indica la matriz inversa de Leontief.

El modelo inicial puede considerarse de forma particionada incluyendo diferentes regiones con sus respectivas relaciones comerciales a través de un modelo MRIO. En este trabajo el modelo estará formado por tres regiones (Andalucía será la región 1, el resto de España la 2 y el resto del mundo la 3). Así la ecuación (1) puede expresarse como sigue

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_{11} + y_{12} + y_{13} \\ y_{21} + y_{22} + y_{23} \\ y_{31} + y_{32} + y_{33} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Ahora la matriz A inicial se ha transformado en una matriz ($3N \times 3N$) multirregional de coeficientes técnicos (A^*). Cada matriz A_{rr} ($N \times N$) que forma la diagonal principal indica los coeficientes técnicos domésticos de la región r . Las matrices A_{rs} fuera de la diagonal indican los coeficientes de la región s de inputs importados de r . De esta manera, cada elemento característico a_{rs}^{ij} de la matriz A^* expresa la cantidad de output del sector i producido en r y consumido como input por el sector j de la región s , por unidad de output total del sector j en s . Análogamente, y_{rr} representa la demanda final doméstica de r e y_{rs} las importaciones provenientes de la región r consumidos por la demanda final de s . El output final de cada región viene dado por los vectores ($N \times 1$) x_r donde cada elemento x_r^i indica (Manfred Lenzen 2000) el output total del sector i en la región r .

Nótese que la suma de las matrices que forman cada columna de A^* , tal que $\sum_{s=1} A_{1s} = A_1^T$ resultaría la matriz de coeficientes totales de la ecuación (1) y por lo tanto la tecnología de cada región.

La expresión (2) supone un sistema de ecuaciones en la que el output total de cada región es

$$x_r = A_{rr}x_r + y_{rr} + \sum_{s \neq r} (A_{rs}x_s + y_{rs}) \quad (3)$$

donde los dos primeros sumandos representan la producción para la demanda doméstica y el resto las exportaciones.

Ahora podemos expresar la solución del modelo en forma particionada como sigue:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & L_{13} \\ L_{21} & L_{22} & L_{23} \\ L_{31} & L_{32} & L_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{11} + y_{12} + y_{13} \\ y_{21} + y_{22} + y_{23} \\ y_{31} + y_{32} + y_{33} \end{bmatrix} \quad (4)$$

donde la matriz L^* (3Nx3N) es la inversa de Leontief interregional cuyo elemento característico L_{rs}^{ij} indica la cantidad de output del sector i producido en la región r y que es requerido, directa e indirectamente, por el sector j en s para satisfacer una unidad de su demanda final. Esta matriz permite captar la magnitud de los vínculos interregionales e intrarregionales entre los sectores de las distintas regiones (Miller & Blair 2009).

2.2 Consumo de agua por cada región

Definimos w_r (Nx1) como el vector de coeficientes de uso de agua por output de la región r , cuyo elemento característico w_r^i indica la cantidad de agua utilizada por unidad de output del sector i en la región r . Podemos estimar el consumo de agua asociado a la producción de cada región de esta manera

$$\begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{W}_1 & 0 & 0 \\ 0 & \hat{W}_2 & 0 \\ 0 & 0 & \hat{W}_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & L_{13} \\ L_{21} & L_{22} & L_{23} \\ L_{31} & L_{32} & L_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{11} + y_{12} + y_{13} \\ y_{21} + y_{22} + y_{23} \\ y_{31} + y_{32} + y_{33} \end{bmatrix} \quad (5)$$

donde $\hat{}$ expresa la diagonalización de un vector, y cada elemento h_r^i indica la cantidad de agua consumida en la producción del output de i en la región r .

2.3 *Supuestos para el comercio con el resto del mundo*

Una de las limitaciones más importantes que presentan los análisis MRIO es la enorme cantidad de datos que requiere su construcción, y que en gran parte no están disponibles. En el caso más ambicioso, si deseáramos estimar el impacto global de la demanda final de una región, por ejemplo en generación de emisiones atmosféricas, se requeriría la construcción de una MRIO mundial (Turner et al. 2007).

Como el propósito de este trabajo es el estudio de las relaciones entre Andalucía y el resto de España, no es tan exigente en cuanto a los requerimientos de datos. En principio, un modelo birregional de este tipo conllevaría considerar de forma exógena las relaciones comerciales con el resto del mundo (RM), situadas únicamente en la demanda final, y obviar las importaciones del exterior. No obstante, en este estudio es deseable considerar las importaciones provenientes del RM e incorporarlas en el análisis del Balance Neto de agua virtual incorporada en el comercio entre ambas regiones. Carecería de rigurosidad un análisis comparativo en el uso de este recurso, por parte de ambas economías, en el que no se considerase lo incorporado en las importaciones. Consecuentemente, hemos cerrado el modelo respecto al comercio con el resto del mundo incorporándolo como una tercera región (expresión 2). Este proceso implica la necesidad de asumir ciertos supuestos para la viabilidad del modelo.

El primer supuesto considera que las regiones 1 y 2 son realmente pequeñas en comparación al RM (Peters & Hertwich 2006). De este modo, podemos asumir que las exportaciones que las regiones 1 y 2 realizan a la demanda intermedia del RM, aunque son diferentes de cero, son poco significantes para su estructura productiva en comparación a su output total. Por lo que podemos asumir que $A_{13} = A_{23} = 0$. Esto relaja la necesidad de información sin introducir grandes errores. Implícitamente, consideramos que todas las exportaciones de la regiones 1 y 2 al RM, tienen exclusivamente como destino la demanda final, puesto que nos interesa cuantificar el agua total incorporada en las exportaciones.

Un segundo supuesto es el de asumir que los productos importados del RM son producidos con la misma tecnología y suponen los mismos coeficientes de uso de agua que la economía doméstica. Es un recurso muy común en este tipo de metodología por la indisponibilidad de datos, pero que puede causar importantes errores que deben sopesarse (Manfred Lenzen et al. 2004). Ya que las dos regiones centrales consideradas componen la economía española, asumiremos que las importaciones provenientes del RM están producidas de acuerdo a la tecnología (A_{33}) y uso de agua de la economía española. De esta manera no distorsionamos el análisis comparativo entre ambas regiones.

2.4 Aplicación de la integración vertical a los MRIO

En la siguiente sección se presenta un avance metodológico a este tipo de estudios a través del uso de sectores verticalmente integrados o subsistemas. Esto permitirá una mejora en la estimación e interpretación de la responsabilidad en el impacto de cada sector en cada región de acuerdo a su demanda final y a la localización de ésta.

La aplicación de este enfoque al modelo presentado arriba nos va a permitir cuantificar el efecto, en términos de uso de agua, de un determinado sector en relación al resto de ramas productivas de cada una de las regiones consideradas. Será posible un análisis más detallado de los vínculos interregionales entre los diversos sectores productivos y del balance en agua incorporada en el comercio.

A partir de la expresión (5), desagregamos horizontalmente la demanda final de cada región de acuerdo a su destino territorial y diagonalizamos los vectores de demanda final resultantes, tal que:

$$\begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & H_{13} \\ H_{21} & H_{22} & H_{23} \\ H_{31} & H_{32} & H_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \widehat{W}_1 & 0 & 0 \\ 0 & \widehat{W}_2 & 0 \\ 0 & 0 & \widehat{W}_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & 0 \\ L_{21} & L_{22} & 0 \\ L_{31} & L_{32} & L_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{y}_{11} + \hat{y}_{12} + \hat{y}_{13} \\ \hat{y}_{21} + \hat{y}_{22} + \hat{y}_{23} \\ \hat{y}_{31} + \hat{y}_{32} + \hat{y}_{33} \end{bmatrix} \quad (6)$$

donde H_{rs} es una matriz (N×N) en la que el elemento característico h_{rs}^{ij} indica la cantidad de agua consumida, directa e indirectamente, por el sector i en la región r para satisfacer la demanda final del sector j en s . Similarmente, la suma de cada columna $h_{rs}^{(i)}$ nos devuelve la cantidad de agua consumida, directa e indirectamente, por los distintos sectores de la región r para la obtención de la demanda final del sector i en s . Así, la integración vertical nos permite ver el potencial de arrastre de cada sector en relación con el resto de ramas productivas en las diferentes regiones consideradas.

2.5 Agua asociada al comercio y responsabilidad

Los estudios de flujos de agua virtual asociados al comercio han estimado tradicionalmente el balance de uso de agua de forma opuesta a como se calcula el saldo comercial, es decir, sustrayendo las “exportaciones” de agua de las “importaciones” (Chapagain & Hoekstra 2008b; Chapagain et al. 2006; Hoekstra & Chapagain 2006). En este trabajo, sin embargo, para estimar el agua virtual neta necesaria para satisfacer la demanda final de una región descontaremos el agua incorporada en las exportaciones sumaremos la incorporada en las importaciones, restando aquellas

que son importadas en primera instancia y finalmente incorporadas en las exportaciones. Dicho cálculo puede realizarse para el caso de dos regiones obteniendo el balance neto en agua incorporada en el comercio entre ambas. Esto nos permite asignar la responsabilidad en el uso del agua de una región más allá del generado en su territorio, de acuerdo al principio contable del consumo. Así, a partir de la ecuación (5)

$$B_{1-r} = H_{1r} - H_{r1} \quad (7)$$

expresa el balance neto para la región 1 (Andalucía) respecto a la región r . De manera que un $B_{1-r} > 0$ indicará que Andalucía incorpora mayor cantidad de agua virtual asociada a las exportaciones que a las importaciones, en relación al comercio con r . Dicho de otro modo, Andalucía sería un exportador neto de agua en relación a r .

Nótese que B_{1-r} es una matriz (N x N) donde la suma de cada columna $B_{1-r}^{(i)}$ muestra la diferencia entre el uso de agua total en la región 1 para satisfacer la demanda final del sector i en r , y la utilizada en r para obtener la demanda final del mismo sector en la región 1. De esta manera, podrá analizarse la importancia del sector i de una región cualquiera en relación a su impacto interregional en la obtención de su demanda final doméstica. El balance estimado no variará respecto realizado generalmente sin sectores integrados verticalmente, pero si mejorará su poder explicativo.

Podemos extender el cálculo incorporando el resto de regiones consideradas en el modelo, tal que

$$B_1^T = \sum_{r=1} H_{1r} - H_{r1} \quad (8)$$

donde ahora, si el balance tiene signo positivo indicará que Andalucía es un exportador neto global de agua.

Similarmente, el total de agua virtual asignada a la demanda final de Andalucía viene dado por

$$h_1^T = \sum_{r=1} h_{r1}^T \quad (9)$$

con $h_{r1}^T = u^T H_{r1}$, siendo u^T un vector fila unitario (1 x N). Cada elemento $h_1^{T(i)}$ expresa el total de agua virtual asignada a la demanda final del sector i de Andalucía.

3 Base de datos y preparación

La necesidad de información para los MRIO es considerable y rara vez completamente disponible. A las limitaciones metodológicas derivadas de los supuestos implícitos del análisis input-output (Miller & Blair 2009), debemos añadir la problemática de la disponibilidad de datos. Por un lado, esto requiere asumir determinados supuestos de acuerdo a cada caso, como los formulados en la sección anterior. Por otro lado, el reto de construir un modelo MRIO pasa por la estimación de parte de la información no disponible directamente e imprescindible en el análisis, especialmente en cuanto al comercio interregional. En esta sección describimos las fuentes de datos utilizadas y su preparación para el desarrollo del estudio.

3.1 Bases de datos

Las fuentes de datos para la elaboración del modelo MRIO son las tablas input-output (TIO) simétricas para el 2005 para España y Andalucía, elaboradas por el INE (instituto Nacional de Estadística) y el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía respectivamente. Los datos de uso de agua para el año 2005 provienen de las cuentas del agua publicadas por el INE en el marco de la contabilidad ambiental.

Es importante comentar aquí una debilidad de las cuentas del agua utilizadas. El INE proporciona información sectorial para cada Comunidad Autónoma en una serie temporal que recoge hasta el año 2001. A partir de este año sólo se recogen datos estatales de uso del agua por sectores. Es por eso que hemos actualizado los datos de Andalucía para el 2001 con los datos de consumo estatal de 2005.

Además, los marcos Input-Output de España y Andalucía proporcionan tablas simétricas industria por industria a 73 y 81 sectores CNAE 93 rev-1 respectivamente. Sin embargo, los datos de consumo de agua recogidos en las cuentas del agua están desagregados sólo a 24 sectores. Por lo tanto ha sido necesario hacer un proceso de agregación sectorial de ambas tablas para hacerlas compatibles con los datos de uso de agua, para el cual se ha procedido de la siguiente manera.

$$A_{rs}^{ESP-24} = G^{ESP1} A_{rs}^{ESP-73} G^{ESP2} \quad (10)$$

donde G^{ESP1} y G^{ESP2} son las matrices de agregación (24x73) y (73x24) respectivamente, A_{rs}^{ESP-73} es la matriz simétrica correspondiente a las regiones r y s a 73 sectores y A_{rs}^{ESP-24} la agregada final.

En el caso de los sectores 75.12 y 90.01², ha sido necesario el proceso opuesto, es decir su desagregación de “Administración pública “ y “Servicios de depuración” respectivamente. Para hacerlo, se han comparado las producciones y demandas intermedias de los sectores 75.12 y 90.01, que se pueden consultar en las cuentas del agua, con las totales de los grandes sectores. De esta manera las matrices G^{ESP1} y G^{ESP2} no son completamente traspuestas.

3.2 Construcción de las tablas MRIO

La TIO simétrica para Andalucía nos permite disponer de forma directa de las matrices A_{11} , A_{21} y A_{31} , así como los vectores y_{11} , y_{13} , y_{21} e y_{31} del modelo. Así mismo, la TIO para el total de España nos aporta la matriz A_{33} . El resto de tablas deben estimarse a través de diferentes métodos utilizados comúnmente en la literatura y que expondremos a continuación.

3.2.1 Estimación de la TIO para el resto de España (RE) de las importaciones procedentes de Andalucía

En primer lugar, necesitamos estimar los datos correspondientes a las importaciones recibidas por el RE procedentes de Andalucía A_{12} e y_{12} . Para este caso únicamente disponemos del vector de exportaciones z_{12} de la TIO andaluza, y no conocemos su destino en términos de la demanda intermedia sectorial y demanda final del RE. Para esta estimación, aplicaremos el método utilizado en Allan G et al. (2004) bajo el cual se supone que las distintas ramas productivas y la demanda final utilizan en la misma proporción el output procedente de Andalucía o del RE de acuerdo a los coeficientes de distribución de la TIO interior de España. De esta manera, cada elemento m_{12}^{ij} , que expresa las compras realizadas por el sector j del RE al sector i de Andalucía, viene dado por

$$m_{12}^{ij} = z_{12}^i \frac{x_{ESP}^{ij}}{X_{ESP}^i} \quad (11)$$

donde x_{ESP}^{ij} son los elementos de la matriz (24x24) correspondiente a la TIO española de producción interior agregada y X_{ESP}^i representa el output total del sector i . Similarmente, la misma

² “Servicios administrativos relacionados con el agua” y “Servicios de tratamiento y depuración de aguas residuales”

distribución se aplica para el vector de demanda final, y_{12} , donde cada elemento se estima como sigue

$$y_{12}^i = z_{12}^i \frac{y_{ESP}^i}{x_{ESP}^i} \quad (12)$$

De modo que el total de importaciones del RE procedentes de Andalucía para el sector i , queda tal que

$$M_{12}^i = \sum_{j=1}^n (m_{12}^{ij} + y_{12}^i) \quad (13)$$

3.2.2 Estimación de la TIO interior para el resto de España (RE)

Una base de datos metodológicamente integrada para las TIO regionales y nacional en España permitiría obtener de forma directa la TIO de producción interior para la región del resto de España, tal y como lo hacen Allan G et al. (2004) en la construcción de un modelo MRIO para el Reino Unido. EL método consiste en restar a la TIO simétrica española de producción interior la análoga andaluza, las importaciones del RE y la TIO estimada para el RE correspondiente a las importaciones procedentes de Andalucía. Ésta no ha sido una opción válida para este trabajo, la presencia de algunos valores negativos y la incongruencia de otros muestra una importante carencia de integración metodológica entre las TIO regionales y nacional (Llano 2004). Esto ha provocado que hayamos optado por un método alternativo.

Para este propósito, obtenemos el consumo de inputs intermedios total por sector j (columna j) para el RE (CI_2^j) como sigue

$$CI_2^j = CI_{ESP}^j - CI_1^j - Z_{21}^j - M_{12}^j \quad (14)$$

donde CI_{ESP}^j y CI_1^j muestran el total de inputs intermedios consumidos por el sector j en España y Andalucía respectivamente. Z_{21}^j indica los inputs consumidos por el sector j en Andalucía importados del RE. Similarmente, M_{12}^j muestra la parte de inputs intermedios consumidos por el sector j correspondiente a las importaciones realizadas por el RE procedentes de Andalucía. Nótese que estos dos últimos datos indican el consumo intermedio, contabilizado como interno para la TIO española, que corresponden a relaciones interregionales para la TIO del RE y Andalucía.

Una vez obtenido CI_{ESP}^j , cabe asignar su valor entre los diferentes sectores de acuerdo con los coeficientes técnicos nacionales (mix de producción), para la estimación de los consumos intermedios intersectoriales del RE. Implícitamente estamos suponiendo la misma tecnología o mix de producción entre los sectores del RE y los nacionales. Un supuesto aplicado por diferentes autores en los modelos MRIO, para aquellas regiones sin disponibilidad de TIO regional, como es el caso de (Llano Verduras et al. 2001) y (Oosterhaven & Boomsma 1992), y recomendado en A. Pulido (1992).

Formalmente las entradas x_2^j , que forman la TIO de la producción interior para el RE, viene dadas por

$$x_2^j = CI_2^j \frac{x_{ESP}^j}{CI_{ESP}^j} \quad (15)$$

Lo siguiente es estimar la demanda final doméstica del output interior de cada sector para el RE (y_{22}^j) como sigue

$$y_{22}^j = y_{ESP}^j - y_{11}^j - y_{12}^j - y_{21}^j \quad (16)$$

donde y_{ESP}^j representa la demanda final interior doméstica del sector j en España.

Similarmente, cada elemento del vector y_{23} correspondiente a las exportaciones al RM de la producción interior del RE,

$$y_{23}^j = z_{ESP}^j - y_{13}^j \quad (17)$$

3.2.3 Estimación de la TIO para el resto de España (RE) de las importaciones procedentes de RM

Siguiendo la metodología utilizada en Allan G (2004), la matriz de importaciones procedentes del RM realizadas por el RE (M_{32}) es el resultado de restar a la TIO nacional española de importaciones del RM (M_{ESP}), su análoga andaluza (M_{31}). Del mismo modo, el vector de demanda final y_{31} , correspondiente a las importaciones para la demanda final del RE procedentes del RM, surge de restar a las importaciones del RM, realizadas por la demanda final del total de España, las llevadas a cabo por la andaluza.

4 Resultados y discusión

Las diferentes ramas productivas de Andalucía usaron unos 5000 Hm³ de agua en el año 2005, lo que supone más de un 25% del total de los sectores productivos españoles. En primer lugar, con el objetivo de establecer una visión general de la situación de cada sector en la región de Andalucía, se presenta en la tabla 1 una primera desagregación sectorial del uso de agua tanto directo como total. Los resultados de uso de agua por sectores en la región muestran que mientras que el uso de agua directo en la región se realiza en un 95% por el sector agrícola; las proporciones de agua virtual a imputar, directas más indirectas, son diferentes, viéndose reducido el agua virtual neta utilizada por el sector agrícola al 43%. Esta deslocalización del agua se debe principalmente a la necesidad que tienen la industria de la alimentación y la hostelería (contenida en “Otras Actividades Económicas”) de productos procedentes del sector agrario, mostrando así los importantes efectos de arrastres que estas ramas productivas tienen sobre la primera.

Tabla 1. Agua Utilizada en Andalucía por sectores (Hm³)

RAMAS PRODUCTIVAS	Agua directa (1)	% directa	Agua total (2)	% total	multiplicador sectorial (2)/(1)
Agricultura y ganadería	4745,5	95,0%	2161,7	43,3%	0,5
Industria de la alimentación, bebidas y tabaco	16,6	0,3%	1735,0	34,7%	104,8
Industria química	15,3	0,3%	24,8	0,5%	1,6
Resto ramas de la industria	49,5	1,0%	98,5	2,0%	2,0
Construcción	8,7	0,2%	80,4	1,6%	9,3
Otras actividades económicas ³	126,9	2,5%	871,0	17,4%	6,9
Resto de ramas productivas ⁴	31,1	0,6%	22,1	0,4%	0,7
TOTAL	4993,5	100,0%	4993,5	100,0%	

Esta conclusión viene apoyada por los multiplicadores sectoriales, obtenidos bajo la propuesta de (Proops 1988) que dan como sectores con un consumo de agua directo mayor que el total únicamente a la agricultura y al resto de ramas, con multiplicadores menores a 1. Aunque plausible, llama la atención el alto multiplicador de la industria de la alimentación, cuyos flujos de agua virtual son 104 veces superiores al uso directo de agua. Estos resultados difieren con los de (Esther Velázquez 2006) ya que la autora propone multiplicadores sectoriales superiores a 1 para las ramas agrícolas, y por tanto consumos directos sectoriales mayores que los indirectos. Sin embargo en este estudio, realizado para 1995, el sector con un mayor multiplicador es también el de la industria agroalimentaria.

³ “Otras actividades económicas” engloba los sectores G a Q de la CNAE 93Rev-1 excepto el 90.01 y el 75.12.

⁴ Resto de Ramas productivas incluye pesca (B), Industrias extractivas(C), y Producción y distribución de energía, gas y agua (E).

Tabla 2. Responsabilidad en los flujos de Agua Virtual (Hm³)- Análisis MRIO

	AGUA CORRESPONDIENTE A LA DEMANDA FINAL					TOTAL
	DE:		DE:		DE:	
AGUA UTILIZADA EN:	ANDALUCIA	% VERTICAL	RESTO DE ESPAÑA	% VERTICAL	RESTO DEL MUNDO	
ANDALUCIA	1606,2(32%)	51,6%	1333,4(27%)	9,4%	2053,8(41%)	4993,4(100%)
RESTO ESPAÑA	832,3(6%)	26,7%	7807,9(54%)	55,2%	5689,9(40%)	14330,1(100%)
RESTO DEL MUNDO	673,8	21,6%	5001,8	35,4%	1203,3	6878,9
	3112,3		14143,1			

En cuanto al destino regional de estos flujos de agua, La tabla 2 muestra que la mayor parte de los flujos de agua virtual de Andalucía (41%) se corresponden con la demanda final del resto del mundo. Este hecho es una consecuencia clara de la especialización del sector agrícola andaluz en la producción para exportación promovida por la apertura al mercado europeo derivada de la entrada en la Unión Europea de España. Los principales productos exportados son pimiento, tomate y pepino, y entre los principales países se encuentran Alemania, y el Reino Unido.

Sin embargo, El contenido de agua virtual de la demanda final española es muy similar al de la andaluza, siendo ésta sólo 5 puntos superior a la española. En realidad, el agua contenida en la demanda final andaluza supone únicamente el 32% de la utilizada de forma directa en la región. La región equivalente al resto de España, sin embargo, dedica el 54% del agua utilizada para satisfacer su propia demanda final, y un 40% a las exportaciones al resto del mundo. Sólo un 6% se dedica a satisfacer la demanda andaluza. Estos 800 Hm³ de agua virtual vienen dados por las importaciones andaluzas de industria agroalimentaria del resto de España, como puede verse en la tabla 4. El segundo contribuidor a esta importación es el sector “resto de actividades económicas” y, aunque previsiblemente es debido a los servicios, no podemos asegurarlo debido a la falta de desagregación de los datos proporcionados por las cuentas del agua.

En este punto, merece la pena destacar una diferencia sustancial en cuanto a la composición sectorial entre agua utilizada para satisfacer la demanda final del resto de España y la del resto del Mundo que muestra la tabla 4. En la primera, más de la mitad del agua exportada corresponde a la industria de la alimentación, siendo el peso del sector agrícola menor del 20%. En cambio, en las exportaciones al resto del mundo se invierte el orden de importancia de estos dos sectores, con más de un 67% para el sector agrícola y quedando en un 27% el sector de la industria de la alimentación. Como hemos dicho, estos datos muestran las diferencias en el contenido de ambas demandas de productos andaluces, y sus consecuencias en la composición sectorial de su responsabilidad sobre el uso de agua en Andalucía.

Tabla 3. Balance de agua incorporada (Hm³) – Análisis MRIO

BALANCE AGUA VIRTUAL AND RE:		BALANCE AGUA VIRTUAL AND RM:		BALANCE TOTAL
Agua utilizada en And para DF de RE	1333,4	Agua utilizada en And para DF de RM	2053,8	3387,2
Agua utilizada en RE para DF de And	832,3	Agua utilizada en RM para DF de And	673,8	1506,1
Balance And_RE	501,12	Balance And_RM	1380,00	1881,12

Por otro lado, el balance de agua virtual entre Andalucía y el resto de regiones nos ayuda a detectar las “deudas hídricas” entre las mismas. La tabla 3 muestra que el resto de España tiene una “deuda de agua virtual” de unos 500 Hm³ con Andalucía, focalizada casi en su totalidad (99%) en los sectores agrícola y de la industria de la alimentación y bebidas y tabaco. Esta deuda es algo menos de la mitad que la que el resto del mundo tiene con Andalucía, unos 1400 Hm³, y equivalente a casi el doble del agua de riego necesario en la cuenca del Guadalquivir (unos 800 Hm³).

Finalmente, Los resultados muestran también las diferencias regionales entre el agua utilizada por los sectores a través del principio contable del productor (tabla 1) y del consumidor (tabla 4, ultimas columnas). Mientras que el total de agua utilizada por Andalucía-productor es de unos 5000 Hm³ (tabla 1), en realidad sólo unos 3000 son suficientes para satisfacer la demanda de Andalucía-consumidor (tabla 4). Este dato es el equiparable a la Huella Hídrica de Andalucía.

Estas diferencias, implican cambios en la composición sectorial del impacto de la demanda final andaluza, fruto, como hemos comentado arriba, de la especialización productiva exportadora de la región. Así, mientras que desde la perspectiva del productor, la agricultura andaluza utiliza el 43% del agua (tabla 1), desde la perspectiva del consumidor utiliza el 19% (tabla 4), y es la industria alimentaria la que contabiliza el mayor porcentaje de uso de agua con casi un 38%.

Tabla 4. Desagregación por sectores del balance de agua virtual asociada al comercio en Andalucía (Hm³)

RAMAS PRODUCTIVAS	AGUA UTILIZADA EN LA PRODUCCIÓN EN ANDALUCÍA				AGUA IMPORTADA POR ANDALUCÍA				BALANCE EN AGUA AND RE		BALANCE TOTAL EN AGUA PARA AND		TOTAL AGUA UTILIZADA PARA DF AND			
	SOPORTADAS POR DF AND		SOPORTADAS POR DF RE		SOPORTADAS POR DF RM		SOPORTADAS POR DF RE		SOPORTADAS POR DF RM		SOPORTADAS POR DF RE		SOPORTADAS POR DF RM			
	Hm ³	%	Hm ³	%	Hm ³	%	Hm ³	%	Hm ³	%	Hm ³	%	Hm ³	%	Hm ³	%
Agricultura y ganadería	505,0	31,44%	264,7	19,85%	1392,0	67,78%	64,2	4,26%	22,2	1,47%	200,5	40,01%	1570,4	83,48%	591,4	19,00%
Industria de la alimentación, bebidas y tabaco	473,8	29,50%	704,6	52,84%	556,6	27,10%	407,3	27,04%	289,9	19,25%	297,3	59,33%	564,0	29,98%	1171,0	37,62%
Resto ramas de la industria	29,5	1,84%	29,9	2,24%	66,9	3,26%	45,9	3,05%	81,2	5,39%	-16,0	-3,20%	-30,3	-1,61%	156,6	5,03%
Construcción	53,4	3,33%	27,0	2,02%	0,0	0,00%	36,7	2,43%	48,6	3,23%	-9,7	-1,94%	-58,3	-3,10%	138,7	4,46%
Otras actividades económicas	529,4	32,96%	303,7	22,77%	37,9	1,85%	276,3	18,34%	228,4	15,16%	27,4	5,46%	-163,1	-8,67%	1034,1	33,22%
Resto de ramas productivas	15,0	0,94%	3,7	0,28%	0,3	0,02%	2,0	0,13%	3,6	0,24%	1,7	0,33%	-1,6	-0,08%	20,6	0,66%
TOTAL	1606,3	100%	1333,4	100%	2053,8	100%	832,3	55,3%	673,8	44,7%	501,1	100%	1881,1	100%	3112,3	100%

5 Conclusiones

Este trabajo explora las responsabilidades en la creación de flujos de agua virtual a partir de un análisis MRIO con sectores verticalmente integrados. Estos modelos presentan importantes ventajas analíticas, en cuanto que permite captar los vínculos interregionales entre los sectores de cada territorio e integrar en un mismo análisis múltiples estructuras económicas regionales o nacionales con sus correspondientes tecnologías e impacto ambiental. Además, este método tiene la fortaleza de analizar los flujos de agua sin arrastrar errores de truncamiento. Todos los modelos IO que trabajan con un vector de impacto ambiental, conllevan la debilidad de tener que calcular a partir de datos monetarios las relaciones físicas. A pesar de ello, los resultados obtenidos proporcionan bases muy interesantes para la discusión sobre el uso del agua en este caso, en Andalucía.

Como valor añadido incorporamos al análisis la técnica de la integración vertical o *subsistemas*, lo que nos permite un enfoque alternativo para el Balance Neto resultante en particular, y a las relaciones de responsabilidad regional en general, en cuanto al agua asociada a los intercambios comerciales entre ambas regiones. Un tratamiento centrado en el impacto del consumo de la demanda final regional, en última instancia, de cada output sectorial que aporta un importante avance metodológico a estos análisis.

Los resultados corroboran lo ya especificado en otros estudios de la misma zona sobre la especialización andaluza en exportación de agua, pero además abre la caja negra sectorial, demostrando qué sectores son clave en la exportación de agua. Estos resultados son muy relevantes a la hora de elaborar políticas de estructura económica en las que la limitación de agua debe ser tomada en cuenta.

La economía andaluza utiliza aproximadamente un quinto del agua total utilizada en España por los sectores económicos, desde la perspectiva de la producción, sin embargo, de estos 4993 hm³, casi el 70% son para abastecer demandas finales externas a la región. Concretamente, para el caso de España el agua virtual exportada desde Andalucía es de un 70% de la total utilizada. Sectorialmente, es el uso del agua de la producción agrícola el que más modificaciones sufre al cambio de perspectiva, desde un 43% a un 19% del agua utilizada. En cuanto a la contabilidad de agua de forma directa/indirecta, el porcentaje de la agricultura cambia de un 95% al 43% antes mencionado, con relocalización del agua principalmente en la industria agroalimentaria. Es decir, que del 95% del uso del agua imputable a la agricultura, sólo un 19% está dedicada realmente a producir para la demanda final interna.

Finalmente, el contraste regional pone de manifiesto la deuda hídrica neta que tienen las regiones del resto de España y el resto del mundo con Andalucía. Estos flujos, aunque no son físicamente reales, lo son en cuanto al impacto causado. Los flujos de agua virtual hacen referencia a la pérdida de oportunidad de volver a usar el mismo agua para la misma función en un periodo de tiempo limitado, en este caso, de un año. Por lo tanto, los flujos de agua virtual son una indicación

del impacto del comercio sobre los recursos hídricos, que podría conllevar un deterioro de los términos hídricos de intercambio.

6 Agradecimientos

Agradecemos al Programa FPU del Ministerio de Educación y Ciencia por su financiación.

7 Bibliografía

Allan, G., McGregor, P.G., Swales, J.K., Turner, K.R., (2004). Construction of a multi-sectoral interregional IO and SAM database for the UK', **mimeo, strathclyde discussion papers in economics**, 04–22.

Alcántara, V., 1995. Economía y contaminación atmosférica: hacia un nuevo enfoque desde el análisis input-output. Doctoral Thesis. Barcelona: **Universidad Autónoma de Barcelona**.

Berbel, J., Gutiérrez, C. & Martín-Ortega, J., 2008. Situación y tendencias del uso agrícola del agua en la cuenca del Guadalquivir. **Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros**, 220, pp.163-176.

Blackhurst, B.M., Hendrickson, C. & Vidal, J.S. i, 2010. Direct and Indirect Water Withdrawals for U.S. Industrial Sectors. **Environmental Science & Technology**, 44(6), pp.2126-2130.

Cazcarro, I., Pac, R.D. & Sánchez-Chóliz, J., 2010. Water Consumption Based on a Disaggregated Social Accounting Matrix of Huesca (Spain). **Journal of Industrial Ecology**, 14(3), pp.496-511.

Chapagain, A.K. & Hoekstra, A.Y., 2008a. The global component of freshwater demand and supply: an assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products. **Water International**, 33(1), pp.19-32.

Chapagain, A.K. & Hoekstra, A.Y., 2008b. The global component of freshwater demand and supply: an assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products. **Water International**, 33(1), p.19.

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y. & Savenije, H.H.G., 2006. Water saving through international trade of agricultural products. **Hydrology and Earth System Sciences**, 10, pp.455-468.

Dietzenbacher, E. & Velázquez, E., 2007. Analysing Andalusian virtual water trade in an input - Output framework. **Regional Studies**, 41(2), pp.185-196.

Duarte, R., Sánchez-Chóliz, J. & Bielsa, J., 2002. Water use in the Spanish economy: an input-output approach. **Ecological Economics**, 43(1), pp.71-85.

Guan, D. & Hubacek, K., 2007. Assessment of regional trade and virtual water flows in China. **Ecological Economics**, 61(1), pp.159-170.

Hoekstra, A.Y. & Chapagain, A.K., 2006. Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. **Water Resources Management**, 21(1), pp.35-48.

Hoekstra, A.Y. & Hung, P.Q., 2005. Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade. **Global Environmental Change Part A**, 15(1), pp.45–56.

Huang, X.-R., Pei, Y.-S. & Liang, C., 2005. Input/output method for calculating the virtual water trading in Ningxia. **Shuikexue Jinzhan/Advances in Water Science**, 16(4), pp.564-568.

- Lenzen, M., 2009. Understanding virtual water flows: A multiregion input-output case study of Victoria. **Water Resources Research**, 45(9). Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-72149113054&partnerID=40&md5=215995cbd785e2df35219f80641d7f54> [Accessed February 23, 2011].
- Lenzen, Manfred, 2000. Errors in Conventional and Input-Output-based Life-Cycle Inventories. **Journal of Industrial Ecology**, 4(4), pp.127-148.
- Lenzen, Manfred, Pade, L.-L. & Munksgaard, J., 2004. CO2 Multipliers in Multi-region Input-Output Models. **Economic Systems Research**, 16(4), pp.391-412.
- Llano Verduras, C., Pulido San Román, A. & Universidad Autónoma de Madrid Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, 2001. Economía sectorial y espacial el comercio interregional en el marco input-output. Available at: <http://www.tesisenred.net/handle/10803/13531?show=full> [Accessed July 6, 2011].
- Madrid, C. & Velázquez, E., 2008. El metabolismo hídrico y los flujos de agua virtual: una aplicación al sector hortofrutícola de Andalucía (España). **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, 8, pp.29-47.
- Miller, R.E. & Blair, P.D., 2009. Input-Output Analysis: Foundations and Extensions 2nd ed., **Cambridge University Press**.
- Navarro, F. & Alcántara, V., 2010. Las emisiones de metano (CH₄) en el subsistema agroalimentario catalán: un análisis input-output alternativo. **Economía Agraria y recursos Naturales**, 10(2), pp.25-39.
- Okadera, T., Watanabe, M. & Xu, K., 2006. Analysis of water demand and water pollutant discharge using a regional input-output table: An application to the City of Chongqing, upstream of the Three Gorges Dam in China. **Ecological Economics**, 58(2), pp.221-237.
- Oosterhaven, J. & Boomsma, P., 1992. A Double-Entry Method for the Construction of Bi-regional Input-Output Tables. **Journal of Regional Science**, 32(3), pp.269-284.
- Pasinetti, L.L., 1977. Lectures on the theory of production, New York:: **Columbia University Press**.
- Peters, G.P. & Hertwich, E.G., 2006. A comment on “Functions, commodities and environmental impacts in an ecological-economic model.” **Ecological Economics**, 59(1), pp.1-6.
- Proops, J.L.R., 1988. Energy Intensities, **Input-Output Analysis and Economic Development**. In M. Ciaschini, ed. Input-output analysis: current developments. Chapman and Hall.
- Qadir, M. et al., 2003. Agricultural water management in water-starved countries: challenges and opportunities. **Agricultural water management**, 62(3), pp.165–185.
- Sraffa, P., 1960. Production of commodities by means of commodities prelude to a critique of economic theory., **Cambridge [Eng.]: University Press**.
- Turner, K. et al., 2007. Examining the global environmental impact of regional consumption activities -- Part 1: A technical note on combining input-output and ecological footprint analysis. **Ecological Economics**, 62(1), pp.37-44.
- Velázquez, Esther, 2006. An input-output model of water consumption: Analysing intersectoral water relationships in Andalusia. **Ecological Economics**, 56(2), pp.226-240.
- Velázquez, Esther, 2007. Water trade in Andalusia. Virtual water: An alternative way to manage water use. **Ecological Economics**, 63(1), pp.201-208.
- Wang, Y., Xiao, H.L. & Lu, M.F., 2009. Analysis of water consumption using a regional input-output model: Model development and application to Zhangye City, Northwestern China. **Journal of Arid Environments**, 73(10), pp.894-900.

Wiedmann, T., 2009. A review of recent multi-region input-output models used for consumption-based emission and resource accounting. **Ecological Economics**, 69(2), pp.211-222.

Wiedmann, T. et al., 2007. Examining the global environmental impact of regional consumption activities -- Part 2: Review of input-output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade. **Ecological Economics**, 61(1), pp.15-26.