



XIV JORNADAS DE ECONOMÍA CRÍTICA

Perspectivas económicas alternativas

Valladolid, 4 y 5 de septiembre de 2014

Área:

Economía Ecológica y Medio Ambiente



XIV JORNADAS DE ECONOMÍA CRÍTICA

Perspectivas económicas alternativas

Valladolid, 4 y 5 de septiembre de 2014

Instituciones y gestión de los recursos naturales: mecanismos de cumplimiento y resolución de conflictos.

Raquel Fernández González

Universidad de Vigo, grupo ERENEA

INSTITUCIONES Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES: MECANISMOS DE CUMPLIMIENTO Y RESOLUCIÓN DE CONFLICTOS.

Raquel Fernández González
Universidad de Vigo, grupo ERENEA.
raquelf@uvigo.es

Resumen

La Nueva Economía Institucional (NEI) considera a las instituciones como las reglas de juego de la sociedad, constituidas por reglas formales, reglas informales y mecanismos de cumplimiento de las anteriores (North, 1990). Por otra parte, Ostrom (2009) expone que las reglas que no se supervisan ni se hacen cumplir son ineficaces, por lo cual los mecanismos de cumplimiento son de vital importancia. Estos mecanismos son aplicados en la resolución de conflictos surgidos en diversos ámbitos como, por ejemplo, la gestión de recursos naturales. Este artículo analiza los mecanismos de cumplimiento, derivados de la aplicación de normas, para la resolución de conflictos desde un enfoque propio del nuevo institucionalismo. En particular, se realiza un análisis institucional en dos casos de referencia sobre cumplimiento de normas y gestión de los recursos naturales.

En primer lugar se estudia la expropiación contra-derecho de YPF a Repsol. Después de un periodo, de casi dos años, sin producirse la indemnización que reclamaba la empresa española, ambas partes han llegado a un acuerdo privado que pone fin a los procedimientos judiciales previos.

Por otra parte, ante el hundimiento del Prestige, se han buscado responsabilidades a través del ámbito judicial. Es por ello que se ha celebrado un macro juicio, diez años después, donde los delitos contra el medio ambiente y desobediencia grave de los acusados han sido en su mayoría desestimadas.

Así pues, bajo la perspectiva de la Nueva Economía Institucional, este trabajo analiza los procedimientos, las razones y los resultados que las distintas vías tienen para la resolución de conflictos.

Palabras claves: Nueva Economía Institucional, mecanismos de cumplimiento, gestión de recursos naturales, caso Prestige, expropiación de YPF.

Clasificación JEL: Q33

1. Introducción

La expropiación de YPF a Repsol y el proceso judicial por el desastre ecológico del Prestige representan dos casos de estudio donde la resolución de los conflictos ha sido laboriosa, sobre todo cuando se ha tratado de hacer efectiva la indemnización correspondiente.

Por una parte, el caso de la nacionalización de YPF por parte del Estado argentino. En abril del 2012, su presidenta, Cristina Fernández de Kirchner, ratificaba el decreto por el cual la empresa, dedicada al sector energético, era declarada de utilidad pública. Este fue el culmen del deterioro de las relaciones existentes entre Repsol y Argentina. Aunque meses atrás, la retirada de licencias por parte de algunas regiones, como Neuquén y Mendoza ya hacían presagiar el desenlace final. Las razones por las cuales se justificó este proceso fueron la falta de inversión de Repsol y la consecución del autoabastecimiento energético, aunque hay indicios de que existen otros motivos para llevar a cabo la nacionalización, como el descubrimiento del yacimiento de Vaca Muerta, el cual aumentaría las reservas de gas y petróleo del país sustancialmente. La nacionalización ha puesto en el punto de mira el entramado institucional del país, el cual ha quedado en entredicho después de esta expropiación. De hecho, esta decisión ha tenido consecuencias en el corto plazo para YPF, pues su búsqueda de socios para invertir en Vaca Muerta ha sido ardua aun ofreciendo condiciones ventajosas a su medida.

Por otra, el juicio del Prestige ha representado uno de los mayores procesos penales que se han vivido en este país. Diez años después del suceso, tres acusados se sentaban en el banquillo para depurar responsabilidades de un accidente que había producido daños por valor estimado de más de 4.000 millones de euros. Ni el jefe de máquinas del Prestige, ni el ex director de la marina mercante fueron condenados, tan solo el capitán Mangouras a nueve meses de cárcel por desobediencia. Sin embargo, en la sentencia del tribunal la responsabilidad civil no es aplicada a ninguno de los acusados, por lo que aunque, este mismo, reconozca que se han producido ingentes daños y prejuicios no atribuye esta responsabilidad a nadie. Es en esta argumentación donde una gran cantidad de los 17 recursos a la sentencia ponen su énfasis.

Ante tales casos de estudio, la Nueva Economía Institucional analiza los fenómenos sociales, políticos y económicos que envuelven estos sucesos. Lograr una adecuada comprensión de estos dos casos ayudará a extraer lecciones relevantes para la gestión de conflictos y promoverá el alcanzar el adecuado cumplimiento y supervisión de las normas.

2. El enfoque de la Nueva Economía Institucional

Desde hace tres décadas, hemos asistido al retorno de las instituciones como parte fundamental de la ciencia económica. En todos estos años, se ha comprobado que la economía institucional, en su enfoque más reciente, ha sido una disciplina muy prolífica. Su influencia en la economía ha sido tal que su relevancia fue reconocida con la concesión del premio Nobel a sus más

importantes representantes: Ronald Coase y Douglass North en 1991 y 1993 respectivamente.

El impulso que ha tenido la nueva economía institucional (NEI) ha hecho que el término instituciones llegue a ser de gran relevancia. Esto no significa que, ya anteriormente, las instituciones no demandasen un papel de suma importancia, en el análisis económico, o que ciertos autores no recalasen en su trascendencia, si no que su retorno a la corriente principal de la ciencia económica no llegaría hasta finales del pasado siglo¹. El análisis institucional ha cobrado fuerza no solo en la economía, sino también en el conjunto de las ciencias sociales. Esta afirmación responde a que la NEI respalda la importancia de que las ciencias sociales se interrelacionen.

La teoría económica predominante en el siglo XX ha sido la teoría neoclásica. En ella, las instituciones fueron relegadas de la primera línea del análisis económico de acuerdo a la revolución marginalista de finales del siglo XIX. Este enfoque no puede explicar todo lo que sucede en la realidad pero, a pesar de esta falta, la economía neoclásica ha prevalecido en el tiempo gracias a su potente base teórica.

Lo que ha hecho esta corriente imperante ha sido desarrollar sus modelos económicos para estudiar el comportamiento de los agentes en la economía. En su análisis no había hueco para las instituciones, por lo que, la economía neoclásica se ha quedado corta a la hora de analizar los procesos que inducen al desarrollo en las distintas áreas económicas. En ella las ideologías, los patrones de conducta o las instituciones no importan y los mercados tanto políticos como económicos son eficientes.

La NEI comparte fundamentos con la economía neoclásica como son el individualismo metodológico o el criterio de eficiencia para el análisis. Además conserva y se basa en la suposición fundamental de escasez y por lo tanto de competencia, lo que supone la base del enfoque de la teoría de elección que subyace en la microeconomía. (North, D.C; 1992) Lo que si supone un cambio con respecto a la economía neoclásica es la inclusión de la importancia de la senda, la dimensión temporal y el hecho de adoptar el supuesto de racionalidad limitada de los agentes o la imperfección de los mercados en una economía donde no existe el óptimo social (Caballero, G. y Garza, M.D; 2010). Existen muy diversas definiciones sobre lo que las instituciones son. Buena parte de ellas comparten la idea de que estas forman parte de las estructuras sociales y que incluso pueden cambiar el comportamiento o las preferencias de los agentes. Aunque no todas las estructuras sociales son instituciones, puesto que existen ciertas formas de organización que no han sido creadas por la interacción humana como por ejemplo la estructura demográfica.

Pero desde luego quien dio una de las definiciones de institución más certera fue el premio Nobel Douglass North. En su obra Instituciones cambio institucional y desempeño económico North (1990) enuncia a las instituciones como:

¹ Si bien es cierto que el llamado “viejo institucionalismo” nace a finales del siglo XIX su percepción holista y su rechazo a las bases de la economía neoclásica lo alejan del Nuevo Institucionalismo que considera que el “viejo institucionalismo” hacía un ejercicio de descripción de instituciones pero no llegaba a someterlas a un estudio detallado. De hecho Coase (1984) llega a tachar los seguidores del “viejo institucionalismo” como anti-teóricos.

“Las instituciones son las reglas del juego en la sociedad o, más formalmente, son las limitaciones ideadas por el hombre que dan forma a la interacción humana. En consecuencia, estructuran los incentivos en el intercambio humano, ya sea en el ámbito político, social o económico...Conceptualmente, lo que se debe diferenciar claramente son las reglas de los jugadores. El propósito de las reglas es definir la manera de jugar el juego. Pero el objetivo del equipo dentro de ese conjunto de reglas es ganar el juego” (North, 1990)

Así pues, podemos decir sin lugar a equivocación que el concepto de instituciones desarrollado por Douglass North es uno de los pilares básicos de la economía institucional junto con la aportación de Ronald Coase sobre los costes de transacción. Ambas nociones han sido claves para desencadenar el resurgimiento de la economía institucional en esta nueva era denominándola “Nueva economía institucional”. Uno de sus rasgos más destacables es que las instituciones determinan la interacción social, pudiendo promover o contraer los intercambios en una economía. Esto sucede así ya que disminuyen o dificultan la incertidumbre a la que los individuos se ven sometidos, estimulando o desincentivando las transacciones al proporcionar más seguridad sobre cuál va a ser la actuación de los agentes económicos.

Las instituciones son las reglas de juego de la sociedad, reconocidas por sus miembros, que definen que pautas de comportamiento seguir en ciertas situaciones y que se autoimponen o se mantienen gracias a cierta autoridad. Como tales, cumplen una serie de características: son un rasgo estructural de la sociedad, son ciertamente estables en el tiempo, afectan a las acciones de los agentes y entre los integrantes de la institución se comparten criterios comunes.

No solo pertenecen al ámbito jurídico o se ciñen a un ámbito formal, sino que también están presentes, en mayor o menor medida, en todos aquellos ámbitos en los que exista la interacción social. En innumerables ocasiones los propios agentes no se percatan de su utilización u obediencia, puesto que llegan a estar tan internalizadas, tan asumidas por el individuo o la sociedad en su conjunto que se consideran como algo natural (reglas informales). Bajo su amparo podemos dar cabida a explicaciones antes no planteadas. Por ejemplo, utilizando el análisis institucional se alcanza a comprender por qué existen distintas experiencias de crecimiento.

Las instituciones se componen de las reglas formales (por ejemplo, reglas, leyes, constituciones), las reglas informales (por ejemplo, normas de comportamiento, convenciones, códigos autoimpuestos de conducta), y sus mecanismos de aplicación. Juntos, definen la estructura de incentivos de las sociedades y las economías (North, D.C., 1994).

Atendiendo a las reglas formales e informales podemos crearnos una idea ciertamente aproximada de cuál es el nivel de desarrollo de una región. Aunque, la mera aprobación de las reglas no significa que estas se cumplan, por lo que han de existir diversos medios que permitan el cumplimiento incondicional de las mismas y así garantizar que se consiga el propósito buscado. En un entorno en el que las reglas formales no son supervisadas por los miembros de la propia comunidad, funcionarios u otros participantes, estas suelen resultar totalmente ineficaces y no culminan su propósito: el de modificar el comportamiento de los agentes (Ostrom, E; 2009). Como bien decía Ostrom, las reglas que no se hacen cumplir son mera palabrería. Por lo

tanto es de vital importancia asegurarse de su correcta aplicación y cumplimiento.

3. Mecanismos de cumplimiento

Aún con las reglas adecuadas, ¿Cómo hacer que los agentes lleguen a acuerdos duraderos a través del tiempo? Según la regla de elección racional esto ocurrirá cuando los beneficios sean mayores que los costes del acuerdo. La economía neoclásica anterior a la influencia de Coase, presentaba un mundo sin costes de transacción donde negociar implicaba costes cero (solo se tenía en cuenta el precio de los factores) y con ello los intercambios acaecidos nos llevaban a un resultado eficiente. Con este planteamiento, la existencia de las instituciones, las empresas –recordemos que, según Coase, son un agente que ayuda a reducir costes de transacción – y todos aquellos conjuntos de normas que garantizan el cumplimiento de los contratos –como por ejemplo el sistema jurídico- no tenían cabida en la teoría económica imperante.

No obstante, al contrario que lo sostenido por la economía neoclásica, los costes de transacción están presentes en cualquier intercambio en cualquiera economía. En definición de Matthews (1986) “Los costes de transacción son los costes derivados de la suscripción ex ante de un contrato y de su control y cumplimiento ex post”. Estos costes se entienden como los recursos usados para establecer, mantener e intercambiar los derechos de propiedad (Allen D.W., 1991). Esto nos remite a que las transacciones constan de dos partes: la primera, reside en controlar y definir la exclusividad del recurso; la segunda, se produce cuando se incurre en un intercambio y se vela por su cumplimiento y el traspaso de derechos. (Coase, 1998). Muchos esfuerzos se han hecho para que el desarrollo económico sea el deseado, sin embargo una buena parte de las instituciones no han garantizado el compromiso creíble necesario para el desarrollo ni de las transacciones de bajo costo ni de su cumplimiento (North, 1993).

Justamente el compromiso creíble ha sido una de las cuestiones más relevantes en el planteamiento institucional. Lo cierto es que existen varios aspectos a tener en cuenta para que exista un compromiso creíble en el devenir económico, North (1993) expone sobre ello:

1. Las reglas formales son una parte importante del marco institucional pero sólo representan una parte. Estas, deben complementarse con las de tipo informal (convenciones, creencias, normas de comportamiento) reduciendo así los costes de ejecución. Si las reglas formales y las restricciones informales son inconsistentes entre sí, la tensión resultante va a conducir a la inestabilidad política.

2. Las organizaciones²son la principal fuente de cambio institucional. Cuanto mayor sea la competencia entre las organizaciones (ya estén fuera o dentro de la misma economía) mayor será el incentivo para invertir en habilidades y conocimientos para mejorar la supervivencia de la organización y por lo tanto mayor es la tasa de cambio institucional. Esto implica que una evaluación acorde a las circunstancias hace más robusta la organización y por lo tanto tiene más probabilidades de permanecer en el tiempo y ser efectivo. Además,

² Para North, las instituciones son las reglas de juego y las organizaciones son los jugadores

dado que las organizaciones son agentes de cambio en una economía, una modificación en el poder de negociación de organizaciones existentes conduce a alteraciones en el marco institucional. Por ejemplo, una disminución en la eficacia percibida de organizaciones existentes debilitará su capacidad de mantener y apoyar la estructura institucional existente.

3. Los cambios en las reglas formales, y su ejecución, llegan a través de las actuaciones de los poderes ejecutivo, legislativo y judicial. El crecimiento económico exitoso ha sido históricamente vinculado con la evolución de un gobierno representativo de las preferencias de sus ciudadanos y la seguridad sobre los derechos de propiedad han sido basadas en el Estado de Derecho.

4. La forma en que los actores perciben los problemas a los que se debe enfrentar su sociedad determinará las políticas que se deseen llevar a cabo. La correcta y armoniosa interacción entre los modelos mentales de los individuos de una sociedad, la estructura institucional y las organizaciones es la clave para ir por el buen camino.

Estos tres puntos representan las características que toda economía debería poseer para alcanzar un desempeño económico eficaz y hacer cumplir aquellas normas que se han decretado. Pero, esta situación ideal no es reproducida en muchos países contemporáneos. Por lo que si se quiere llegar a una situación económica estable se debe tener en cuenta que:

1. El éxito de la reestructuración de una economía implica la reestructuración tanto de los derechos de propiedad para proporcionar los incentivos correctos como de los modelos mentales de los jugadores, con el fin de inducir decisiones que son complementarias a este tipo de incentivos.

2. La reestructuración de los derechos de propiedad no sólo significa la creación de las reglas formales, sino la creación y la implementación de un sistema judicial imparcial que haga cumplir dichas normas.

3. Las reglas informales tardan mucho más tiempo en evolucionar que las reglas formales y para las economías que no tienen un patrimonio adecuado de dichas normas el proceso de reconstrucción necesariamente será largo y el resultado muy incierto.

4. El objetivo de la reestructuración debe ser la creación de una economía adaptativa eficaz, es decir, una economía que proporcione un marco institucional duradero en el tiempo. Sin, embargo es de vital importancia el adecuarlas al escenario al que se quiere llegar. De forma distinta, las probabilidades de éxito serán mucho menores.

Todas estas medidas son difíciles de llevar a cabo a la vez que necesitan tiempo para ser completamente implementadas, pero con esfuerzo, seguimiento y perseverancia es posible conseguir un entorno económico donde las actuaciones de los participantes sean las adecuadas.

4. La expropiación de YPF

El primer caso de estudio expuesto se trata de la nacionalización de YPF por el ejecutivo argentino. Un caso no libre de polémica, donde se ha preferido una solución "second best" a seguir un lento y costoso proceso judicial y administrativo hasta la indemnización deseada por Repsol.

Las relaciones entre Repsol y el gobierno argentino fueron cordiales hasta que en Noviembre de 2011 el gobierno argentino comenzó a dar señales de que

esta situación pronto iba a cambiar. En un primer momento el gobierno advierte a la compañía que su inversión es insuficiente para la producción idónea para el país. Más tarde, se repiten diversas inspecciones fiscales, las cuales finalizan en expedientes administrativos. La situación se agravó cuando cinco gobernadores rescindieron los contratos de explotación que sus provincias tenían con Repsol –YPF, lo que supuso una pérdida del 12% de la producción en Argentina.

Ante tales circunstancias la cotización de la empresa en Wall Street comenzó a disminuir. Fue entonces, cuando el presidente de Repsol, Antonio Brufau, solicitó audiencia con la presidenta argentina. Sin embargo, esta petición no fue atendida y el Sr. Brufau envió una misiva al gobierno presentando proyectos de inversión de 3.500 millones de dólares y sus planes de explotación para el yacimiento de Vaca Muerta (el cual posee la mitad de las reservas de gas del país) pero esto tampoco fue suficiente para llegar a un acuerdo con Argentina. Las discrepancias terminaron el 16 de abril con la expropiación del 51% de las acciones de YPF del total de 57,43% que posee. Estas se reparten de la siguiente forma: el 26,01% para el gobierno y el restante 24,99% para los gobernadores de las distintas provincias.

Esta decisión se apoyó en una amplia base jurídica que comenzó el mismo día 16 de abril de 2012 con el Decreto nº 530/2012 (B.O. 16-04-12) el cual dispuso la intervención transitoria de YPF por un plazo de treinta días “con el fin de asegurar la continuidad de la empresa, la preservación de sus activos y de su patrimonio, el abastecimiento de combustibles y garantizar la cobertura de las necesidades del país”, Este primer decreto sentaba las bases para que el poder ejecutivo argentino declarara de utilidad pública y sujeto a expropiación del 51% del patrimonio de YPF por medio de acciones de Clase “D”. Pero no fue el único, a este lo acompañó el decreto nº 557/2012 (B.O. 19-04-12) que extendió el alcance del Decreto nº 530/2012 a YPF GAS, cuya intervención se perfeccionó el 18 de abril de 2012. Al mes siguiente el decreto nº 732/2012 (B.O. 16-05-12), se prorrogaron las intervenciones de YPF e YPF GAS.

Pero la gran baza legal fue la Ley Nº 26.741 (B.O. 7-05-12), de Soberanía Hidrocarburífera Nacional en el que se declaró “de interés público nacional y como objetivo prioritario de la República Argentina el logro del autoabastecimiento de hidrocarburos, así como la exploración, explotación, industrialización, transporte y comercialización de hidrocarburos, a fin de garantizar el desarrollo económico con equidad social, la creación de empleo, el incremento de la competitividad de los diversos sectores económicos y el crecimiento equitativo y sustentable de las provincias y regiones”. Por lo cual en su artículo 7º declaró de utilidad pública y sujeto a expropiación el cincuenta y un por ciento (51%) del patrimonio de YPF.

Los argumentos esgrimidos por la presidenta, Cristina Kirchner, han sido los de buscar la suficiencia energética para Argentina. Se achacaba el saldo comercial deficitario a la falta de inversiones de Repsol- YPF.

Sin embargo, (Bermejo García y Garciandía Garmendia, 2012), proponen tres causas para explicar esta expropiación. La primera de ellas se refiere a la retirada progresiva de licencias de explotación por parte de los gobernadores de las provincias. La segunda se centra en el descubrimiento del yacimiento de petróleo no convencional Vaca Muerta. Su extensión es de 30.000 km. cuadrados y, según el informe de la consultora Ryder Scott, las reservas del

mismo ascienden a 22.807 millones de barriles de petróleo equivalentes³. Por último, el tercer factor sería la baja popularidad con la que contaba el ejecutivo Kirchner, pues los malos datos económicos y la crisis de gestión en un accidente ferroviario habrían restado apoyo a la presidenta.

Estas acciones fueron extraídas de la parte que Repsol tiene en YPF y no de las pertenecientes al grupo Petersen de la familia Eskenazi, que cuenta con un 25,46% de las acciones. Su entrada en YPF no estuvo exenta de polémica, puesto que el pago del 90% del valor de las acciones se haría con los dividendos que ganase la familia Eskenazi en los sucesivos años, el otro 10% ya lo había abonado en efectivo. El préstamo que recibió la familia Eskenazi, en 2008, ascendía a 1.080 millones de dólares y procedía de un sindicato de bancos compuesto por CréditSuisse, Goldman Sachs, BNP Paribas y Banco Itaú Europa entre otros. Además, Repsol también ejerció de prestamista ofreciéndole 1.015 millones de dólares para la adquisición del 14,9% de las acciones de YPF, los cuales serían devueltos basándose en el compromiso de que el 90% de los beneficios serían repartidos. En 2011 consiguió otro préstamo de 670 millones de dólares de un consorcio de Banca compuesto por el Banco Itaú, Standard Bank, CréditSuisse y City, mientras que Repsol también daba su aportación para adquirir el 10% de YPF.

Sin embargo, el grupo Petersen, no pudo hacer frente a los pagos para devolver los créditos a sus acreedores, dado que la nueva política de dividendos de la compañía YPF contemplaba una gran reducción de estos. El 11 de mayo de 2012, Crédit Suisse informó de los primeros impagos. Repsol y el grupo Petersen tenían en su acuerdo una cláusula donde la primera, bajo ciertas condiciones, debía hacerse cargo de los préstamos de la familia Eskenazi y por lo tanto con las acciones correspondientes a este. El 31 de mayo de 2012, en junta general de Repsol, se hizo público el anuncio de que la compañía había asumido los derechos políticos correspondientes al 6% del capital de YPF que anteriormente pertenecían al grupo Petersen. De esta forma Repsol tiene en su pertenencia el 12% de las acciones de YPF, convirtiéndose así, en el segundo mayor accionista después del gobierno argentino.

Pero Repsol no fue el único beneficiado de esta situación. Un 8,4% de las antiguas participaciones de la familia Eskenazi fueron adquiridas por Inbursa, banco de Carlos Slim. No obstante, en abril del 2014 se deshizo del 3,6% de las acciones que tenía reduciendo su participación al 4,8%. En total fueron 4 operaciones en la bolsa de Nueva York, por la última, recibió 26 millones de dólares por el 0,2% de la compañía. Ha sido una maniobra ventajosa para el multimillonario mexicano puesto que la cotización de la empresa se ha visto incrementada en más de un 130% desde 2012.

Después de varios meses de rumores sobre un posible acuerdo de indemnización entre YPF y Repsol y posteriormente de que la Junta General de Accionistas aprobara, el 28 de marzo de 2014, el acuerdo, el 27 de marzo de 2014 el Senado argentino daba el visto bueno a dicha indemnización por 42 votos a favor, 18 en contra y 8 abstenciones. Además de los obvios votos del partido de Cristina Fernández Kirchner, el Frente para la Victoria, el acuerdo logró el voto de dos peronistas opositores y de dos senadores del Movimiento

³ Nota de prensa de Repsol S.A.: http://www.repsol.es/es_es/corporacion/prensa/notas-de-prensa/ultimas-notas/08012012-repsol-eleva-prevision-recursos-vaca-muerta.aspx, 8 de febrero de 2012.

Popular neuquino, partido que gobierna en la provincia donde se halla el yacimiento de Vaca Muerta. Esta votación no ha estado exenta de polémica puesto que el jefe del grupo de senadores de la unión Cívica Radical alzó su voz para mostrar su descontento acerca de pagar a los que, a su entender, ya habían aprovechado los recursos que le brindaba la compañía.

El 23 de abril de 2014, tras más de 16 horas de debate, la Cámara de diputados por 135 votos a favor, 59 en contra y 42 abstenciones el acuerdo por el que el Estado compensa a Repsol por la expropiación de YPF. El bloque que votó a favor de la aprobación de la propuesta estuvo compuesto por el Frente para la Victoria, por los aliados del Frente Cívico de Santiago del Estero, de Nuevo Encuentro, del Movimiento Solidario Popular, del Partido Justicialista La Pampa y por una de las integrantes del Movimiento Popular Neuquino (MPN). Asimismo, cuatro diputados opositores más también apoyaron el proyecto. En contra votaron bloques como el Frente Amplio Progresista, UNEN, Unidad Popular y el Frente de Izquierda, entre otros; mientras que se abstuvieron los representantes del PRO, del Frente Renovador y de Compromiso Federal. Tal convenio otorga 5.000 millones de dólares en títulos públicos por la nacionalización de las acciones de la petrolera en 2012.

El convenio de Solución Amigable y Avenimiento de Expropiación

Basándose en las leyes argentinas nº. 21.499 y 26.741 y el Tratado Bilateral entre Argentina y España, la República Argentina reconoce a Repsol su derecho de indemnización tasándolo en la suma de 5.000 millones de dólares a causa de la expropiación de 200.589.525 acciones Clase "D" de YPF y 89.755.383 acciones Clase "A" de YPF GAS.

El pago se hizo mediante títulos de deuda pública interna argentina, bajo bonos en dólares. Los intereses que devenguen los títulos se considerarán remuneración por el aplazamiento del pago de la compensación. Los bonos públicos son del tipo:

- BONAR X: con vencimiento el 17/04/2017, por importe nominal de 500 millones de dólares. Cuyo interés corresponderá a una tasa fija del 7% nominal anual. Los intereses serán pagaderos semestralmente calculados sobre la base de un año de 360 días, integrado por meses de 30 días (30/360).
- DISCOUNT 33: por importe nominal de 1.250 millones de dólares (que incorpora intereses capitalizados por importe de 500 millones de dólares, aproximadamente, sobre los que también se devengan intereses). Cuyo vencimiento será el 31/12/2033. A partir de junio de 2024 amortizará en 20 cuotas semestrales iguales. Cada uno de los 20 pagos semestrales incluirá la parte proporcional de los intereses capitalizados devengados antes de la primera fecha de amortización de (7,01%). Devengará intereses a la tasa nominal anual del 8,28%. Las fechas de pago de intereses son el 30 de junio y el 31 de diciembre de cada año hasta el vencimiento. Los intereses serán calculados sobre la base de meses de 30 días y años de 360 días (30/360).
- BONAR 24: por importe nominal de 3.250 millones de dólares. Cuyo vencimiento será a 10 años a partir de la fecha de emisión. Amortizaciones anuales del 16,66% del capital nominal entre los años 5 y 9 y del 16,7% el año 10. Devengará intereses a la tasa nominal anual del 8,75%, pagadero

semestralmente. Los intereses serán calculados sobre la base de un año de 360 días integrado por meses de 30 días (30/360). Cuando el vencimiento de un cupón no fuere un día hábil, la fecha de pago del cupón será el día hábil inmediato posterior a la fecha de vencimiento original, pero el cálculo del mismo se realizará hasta el vencimiento original.

Los BONAR X y DISCOUNT 33 serán ampliaciones de bonos ya emitidos y cotizados, pero el BONAR 24 se ha creado específicamente por la República Argentina para instrumentar el pago de la compensación. Estos bonos son del tipo negociable puesto que cotizan o cotizarán en mercados de valores y en el caso de ser de nueva creación tienen características equivalentes a otros títulos públicos argentinos. Todas estas características pretenden favorecer su liquidez. Como se ha especificado, la cartera inicial de Bonos asciende a 5.000 millones de dólares de valor nominal. Sin embargo, si a cuatro días hábiles antes de la fecha de cierre del Convenio, el valor de mercado de la cartera inicial (calculado por referencia al valor promedio de los Bonos durante los 90 días anteriores a la entrega en función de las cotizaciones proporcionadas por cinco bancos internacionales de primer orden) no llegue a la suma de 4.670 millones de dólares, la República Argentina deberá compensar este desajuste entregando a Repsol Bonos adicionales, hasta que el valor promedio de mercado de los Bonos iniciales y los adicionales alcance ese valor límite. Eso sí, el valor nominal límite de los bonos adicionales no superará los 1.000 millones de dólares.

Los bonos adicionales son los siguientes:

BODEN 2015: por importe nominal de hasta 400 millones de dólares. Cuya fecha de vencimiento es del 3 de octubre de 2015. En cuanto a su interés consta de una tasa fija del 7% nominal anual. Los intereses serán pagaderos semestralmente calculados sobre la base de un año de 360 días, integrado por meses de 30 días cada uno.

BONAR X: por importe nominal de hasta 300 millones de dólares. Las restantes condiciones son las mismas que el BONAR X descrito en la cartera inicial.

BONAR 2024: por importe nominal de hasta 300 millones de dólares. Las restantes condiciones son las mismas que el BONAR 2024 descrito en la cartera inicial.

Aunque se haga efectiva la entrega de los títulos públicos, la compensación no se considerará realizada hasta que:

1. Repsol reciba los importes debidos en concepto de amortización de los títulos públicos, libres de medidas disruptivas; o
2. Repsol enajene por cualquier causa tales títulos públicos a favor de terceros. (convenio de solución amigable y avenimiento de expropiación, 2014)

Repsol no podrá percibir de ninguna forma posible una cantidad mayor a los 5.000 millones de dólares estimados para la compensación. En la estimación de la cantidad percibida por Repsol se tendrá en cuenta: los montos obtenidos en concepto de Amortizaciones de los títulos públicos, los gastos deducibles e intereses devengados y pendientes de pago de la enajenación de los títulos públicos.

Por otra parte, existe la cláusula donde se especifica que si Repsol vendiese Bonos por una cuantía igual o mayor a 300 millones de dólares, la compañía

deberá ofrecer la posibilidad a la República Argentina de adquirir los mismos Bonos en igual cantidad (si dispone de ellos) y en idénticas condiciones.

Pero, además de la compensación por las acciones expropiadas de YPF e YPF Gas, el convenio tiene otra vertiente que es la de poner fin a los litigios entre ambas partes por este mismo problema. De hecho, a parte de este convenio existe otro paralelo denominado “Convenio de Finiquito” por el cual se recoge el firme compromiso de no seguir adelante con las demandas judiciales y zanjar los procesos de indemnización paralelos ya puestos en marcha. Esto es:

- La República Argentina y Repsol se obligan a desistir de las acciones judiciales y arbitrales ya iniciadas por ellas.
- Repsol renuncia al derecho a reclamar en lo sucesivo por la expropiación.
- La República Argentina renuncia a exigir responsabilidades a Repsol derivadas de su condición de accionista y gestor de YPF e YPF Gas.

De todas formas, si es que algún punto del presente convenio no es cumplido, Repsol puede exigir su cumplimiento en un Tribunal arbitral. En el mismo convenio se especifica la compensación por la indemnización por daños y perjuicios, que ascendería al 10,5% anual.

Resolución del conflicto

El 8 de mayo de 2014, la República Argentina hizo efectivo parte del acuerdo entregándole a Repsol títulos de deuda pública argentina Bonos por un importe nominal total de 5.317.361.184 dólares. El paquete estaba compuesto por los siguientes bonos:

- BONAR X: 500 millones de dólares.
- DISCOUNT 33: 1.250 millones de dólares.
- BONAR 24: 3.250 millones de dólares
- BODEN 2015: 317.361.184 dólares

Como valor de referencia se ha calculado el valor promedio de los bonos durante 90 días antes del plazo límite, en este caso el 30 de abril de 2014, en función de cotizaciones proporcionadas por cinco bancos internacionales de primer orden. El paquete de Bonos alcanza el valor de mercado promedio de 4.670 millones de dólares previsto en el Convenio.

Ya que el BONAR 24 es una bono creado específicamente para la indemnización a Repsol, el Banco de la Nación Argentina ha entregado a Repsol una garantía cuyo fin es garantizar el pago de los intereses del BONAR 24, hasta un importe máximo de 150 millones de dólares y con una vigencia de 18 meses.

Por otra parte, Repsol entregó a la República Argentina los documentos necesarios para la correcta transferencia de las acciones expropiadas de YPF, S.A. e YPF Gas, S.A. así como los escritos de desistimiento de las acciones judiciales, administrativas y arbitrales iniciadas por la Sociedad, por las Sociedades del Grupo y por sus funcionarios o dependientes en relación con los procesos relativos a la expropiación. De hecho estas últimas acciones tienen mucho que ver con el suceso acaecido un día después por el que entraba en vigor el Convenio de finiquito firmado por resol, YPF e YPF Gas. Aunque un día antes de la entrega de bonos, 7 de mayo, Repsol movió ficha para romper definitivamente los lazos que le unían a YPF. La petrolera

española vendió el 11,86% de su participación en YPF, 46.648.538 acciones ordinarias Clase D, a Morgan Stanley & Co. LLC por valor de 1.255.312.157,58 dólares, cuya plusvalía llegará a los 622 millones de dólares antes de impuestos. Tales acciones se venden en la forma de American Depositary Shares (ADS). A su vez, Morgan Stanley vendió las acciones en el mercado por un precio de venta de 26,91 dólares cada una.

Sin embargo, esa no fue la única venta que realizó Repsol esa semana. El día 9 de mayo de 2014, vendió toda la cuantía de bonos pertenecientes al BONAR 24 a JP Morgan Securities PLC. Hasta una semana después a Repsol no le fue permitido la venta a terceros de los restantes bonos. Lo recaudado por esta venta, incluyendo los intereses devengados (cupón corrido) asciende a 2.813.619.791 dólares. El BONAR 24 fue precisamente el bono creado ex profeso para esta operación por este motivo y el que más recelos creaba a los analistas por no cotizar en el mercado. Por ello fue el primero en ser vendido. La operación se cerró el 13 de mayo cuando Repsol acordó con JP Morgan la venta de la totalidad de la cartera de los bonos BONAR X y DISCOUNT 33 y una parte del conjunto de bonos BODEN 2015. Las operaciones de venta de estos bonos son valoradas en 2.010,0 millones de dólares, a lo que hay que sumar los 59,3 millones de dólares por intereses devengados. El cierre de las operaciones de venta ha sido fijado para el 16 de mayo. Con la estrategia de Repsol, la cual intentaba desprenderse cuanto antes de la compensación, la deuda mantenida por la República Argentina a favor de Repsol descendía en 4.815 millones de dólares.

Finalmente el día 23 de mayo de 2014, Repsol rompía todo vínculo con YPF. Por una parte vendía el 0,48% del capital de YPF que aún poseía. En total, la venta de sus participaciones en la petrolera argentina asciende a 1.311,3 millones de dólares. Por otra parte, los únicos bonos que quedaban aún en su poder (BODEN 2015) fueron adquiridos por JP Morgan Securities por la suma de 117,36 millones de dólares.

5. El Prestige: Inspecciones

El accidente del Prestige es otro ejemplo de cómo el cumplimiento de las normas establecidas antes del suceso ha sido poco conciso. Existe una gran amplitud de estudios sobre la vigilancia en el transporte marítimo. Aunque existen ciertas discrepancias en la academia la mayoría de los autores están de acuerdo en que un nivel mayor de vigilancia sobre el cumplimiento de los acuerdos adoptados produce un menor nivel de contaminación y reduce la posibilidad de accidente substancialmente.

Es importante recordar que el Prestige operaba bajo la bandera de las Bahamas, lo cual entre otras ventajas económicas, le proporcionaba un margen mayor cuando se trataba de cumplir con las obligaciones derivadas de los convenios internacionales.

El Prestige, como buque petrolero estaba sujeto a diversas inspecciones. La última inspección de Control por el Estado de puerto en el marco del MOU (marco del Memorando de París) efectuada al buque se hizo en Rotterdam el 1 de septiembre de 1999 en donde se encontraron tres deficiencias. A partir de esta fecha, este tipo de inspección no fue aplicada al Prestige, ya que el buque no recaló en puertos de países firmantes del anteriormente citado Memorando.

Además, entre el 2 de abril y el 19 de mayo de 2001 al petrolero le fue realizado su reconocimiento especial en seco, el cual era el quinto en su trayectoria. Esta inspección se realizó en Guangzhou (China). Según la Sociedad de Clasificación ABS, en esa revisión se efectuaron reparaciones en los tanques laterales 2 y 3, en babor y estribor; 362 toneladas de acero fueron remplazadas.

Gracias al resultado satisfactorio de la revisión de Guangzhou, el Certificado Internacional de Prevención de la Contaminación por Hidrocarburos (Certificado IOPP), al amparo del Convenio MARPOL, le fue renovado. En dicho documento solo aparecía el suplemento relacionado con el “lavado con crudo”. Sin embargo, también debería constar el de “lastre limpio”, ya que es el otro tipo de operación que efectúa el buque de acuerdo con las declaraciones del American Bureau of Shipping (ABS).

La última inspección fue realizada en Dubai entre el 15 y el 25 de mayo de 2002, esta ya a flote. En el que supuso su último reconocimiento anual obligatorio, su casco fue inspeccionado. Según lo manifestado por ABS, los inspectores dieron un veredicto satisfactorio al reconocimiento. Por ello, los Certificados pertinentes le fueron renovados a 25 de mayo de 2002.

Aún con todas estas revisiones con veredicto positivo, es destacable reseñar que la petrolera española Repsol YPF, sometió al buque a inspección en enero de 1997, cuyo resultado fue de “descalificado”. Esta revisión tuvo un resultado negativo por varias razones. Primeramente, el barco ya contaba con más de 15 años en el momento de la revisión y llevaba más de dos años sin haber tenido una revisión en seco. En segundo lugar, el Prestige no había realizado la CAP (Condition Assessment Program), revisión no obligatoria para el armador, pero ampliamente exigida por empresas del sector para fletar al barco. Y, por último, el sistema de limpieza del Prestige era deficitario. Los petroleros, a razón de ser estables cuando no llevan carga, han de llenar agua en parte de sus tanques. El Prestige, en aquel momento, elegía los mismos tanques en los que había transportado fuel, por lo que esta agua sucia, para desacerse de ella, exige como plus que los puertos tengan un sistema apropiado para este hecho. El puerto donde se realizó la inspección no contaba con ello (puerto de A Coruña).

No hai que perder de vista que la edad del Prestige en el momento del accidente era de 26 años, una antigüedad considerable la cual supone un peligro añadido a la circulación marítima, pues en el 2000, la Comisión Europea alertaba de que existe una relación inequívoca entre la edad de los buques y los accidentes. Tengamos en cuenta que la CCE (2000) expone que la media de edad de los buques petroleros era de 18 años de edad en 1999 y que un 41% de estos fueron construidos antes de 1979. El Prestige formaba parte de esta estadística pues había sido construido en 1976 y para mayor preocupación sobrepasaba la edad media por un amplio margen.

Como bien se ha recogido en párrafos anteriores la compañía clasificadora del petrolero era la American Bureau of Shipping (ABS). Salvo pocas excepciones, podemos apreciar, como se recoge en la tabla, que a mayor número de inspecciones mayor será la probabilidad de tener un resultado positivo en ella. Esto es así dada la competencia que existe entre este tipo de empresas, que rivalizan para tener un segmento de mercado mayor que el de sus rivales. (Loureiro García y Vázquez Rodríguez 2005).

Tabla 1. Compañías Clasificadoras y resultados de las inspecciones (1998)

Compañía	Inspecciones totales	Porcentaje negativas
American Bureau of Shipping	914	4,8
DetNorske Veritas	943	4,7
Lloyd's Register of Shipping	1.583	4,1
Maritime Register of Shipping	559	8,6
China Classification Society	1.267	9,11
Korean Register of Shipping	802	7,8
Hellenic Register of Shipping	37	16,2
Registro Italiano Navale	123	15,4
Total	14.545	7,2

Fuente: Loureiro García M, y Vázquez Rodríguez M.X. (2005)

6. Prestige: un desastre ecológico de dimensiones épicas

Los grandes desastres ecológicos producidos por los vertidos de crudo se iniciaron con el encallamiento del Torrey Canyon en 1967. El litoral noroeste de España no es ajeno a estos derrames. El Polycommander (1970), el Urquiola (1976), el Andros Patria (1979) o el Aegean Sea (1992) componen la larga lista de accidentes petrolíferos en el litoral gallego. Aproximadamente 312.000 toneladas de crudo han sido vertidas en la costa gallega, todo ello sin olvidar el impacto que otras sustancias como insecticidas o productos químicos provenientes de los cargueros Erkowit (1973) y Casón (1987) han tenido en el medio marino de nuestras rías. El número y la magnitud de las catástrofes marítimas es alarmante: en el ranking europeo de derrames petrolíferos en los últimos treinta años, Galicia ha sido localización de siete de ellos (Juste Ruiz, J; 2003)

El 13 de noviembre de 2002 a las 14.15h (Dirección General de la Marina Mercante. Comisión Permanente de Investigación de Siniestros Marítimos. 2003) el CZCS Finisterre captó una petición de socorro, correspondiente a "peligro no definido", proveniente del Prestige cuya posición en ese momento era: latitud 42° 54' norte, longitud 009° 54' oeste. La petición de MAYDAY fue

⁴ El 18 de marzo de 1967, uno de los primeros súper petroleros construidos encallaba en las islas Solingas, en la costa británica. De las 121.000 toneladas de crudo 119.000 fueron vertidas al mar. La nula experiencia de las autoridades hizo que la respuesta a este desastre aún lo empeorara más, puesto que los dispersantes y agentes de limpieza, con los que se pretendía diluir y reducir el petróleo, dañaron aún más el medio marino.

contrastada con la estación costera de A Coruña (CCR). Al comprobar su veracidad los equipos de salvamento se prepararon para el rescate. Por una vía de agua en dos tanques vacíos de estribor, en esos momentos el barco estaba escorado 25 grados. Estaba situado a 50 kilómetros (28 millas) de Fisterra. A las cinco de la tarde se comienza a evacuar fuel oil M-100, uno de los derivados de petróleo más tóxicos. Como posible intento de solución el capitán Mangouras llena los tanques de lastre de babor, corrigiendo la posición del buque y disminuyendo su inclinación 20 grados. Pero esta acción es solamente un parche temporal. A las 16.10h siete tripulantes habían sido evacuados gracias al helicóptero de salvamento el "Pesca I", fueron llevados hasta Vigo. De los restantes tripulantes, 17 de ellos fueron rescatados por el helicóptero "Helimer Galicia" a las 17:05h. En ese momento únicamente tres personas quedaban dentro del petrolero: El capitán, el primer oficial y el jefe de máquinas.

En un primer momento el Capitán se niega a permitir la operación de remolque del buque, posiblemente por el carácter económico de la operación. Su carga de 77.000 toneladas está valorada en 60 millones de euros. Su arrastre hasta la costa implica que la compañía remolcadora puede hacerse con el 10% del valor de la carga. Los remolcadores más próximos son el Ría de Vigo, ya en la zona, y el Ibaizábal I y el Chiruca. El Prestige, aún sin falta de propulsión, se dirigía hacia la costa a una velocidad de 1 milla por hora.

Sin embargo, a las ocho de la tarde del 13 de noviembre de 2002 se confirma que es la compañía Smit la que ha firmado un acuerdo con la armadora para el rescate. El capitán Mangouras, alegando falta de personal, solicita ayuda de los tripulantes de los remolcadores para efectuar la maniobra. Pero esto ni era cierto, ni era una excusa válida para retrasar su rescate. Basándose en la Regla 3-4 del Capítulo II-1 del SOLAS, el Prestige estaba equipado, a proa y a popa, con dos remolques de emergencia. Dichos remolques no fueron puestos a disposición de los remolcadores de salvamento, aunque las peticiones de que lo hiciera fueron reiteradas. Además, los remolques que poseía el Prestige podían ser manejados por una sola persona en cualquier circunstancia, según la Resolución 35 (63) del Comité de Seguridad Marítima de la OMI. Todo ello nos lleva a la conclusión de que la justificación por falta de tripulación no era más que una mera excusa.

En la madrugada del 14 de noviembre, la pérdida del fuel era de 6.000 toneladas y su extensión abarcaba ya los 10 km de largo y los 300 metros de ancho. La empresa Smit, encargada del rescate, barajó dos posibilidades: trasvasar el fuel en una ensenada tranquila o llevar el barco a puerto y descargarlo. Esta última opción se descarta, definitivamente será remolcado mar adentro. Se encienden los motores y se prevé que a las 00:00 se encuentre a 65 millas de la costa. Pero, las labores para remolcar al Prestige se vieron dificultadas por, entre otras causas, el mal tiempo y ciertas contingencias de naturaleza técnica. Por lo que los intentos por parte del "Charuca Silveira", el "Sertosa 32" y el "Ria de Vigo", en un primer momento, resultaron infructuosos. Por ello se embarcaron a 3 técnicos de salvamento, 5 tripulantes del buque y un inspector de la Capitanía Marítima de A Coruña. Gracias a esta ayuda el Prestige pudo ser finalmente enganchado por el remolcador "Ría de Vigo" a las 11:40h, a 4,5 millas de la costa. Mientras, se prepararon 7.800 metros de barreras y 13 succionadoras (skimmers) para proteger a Laxe, Muxía, Camariñas, Corme y Camelle.

En la mañana del día 15 de noviembre se conocen malas noticias: el barco está tan solo a 62 millas de la costa y presenta una grieta de 40 metros en el casco, por ello se apagan los motores para evitar una grieta mayor. Sigue el temporal y el buque se mantiene en el mismo lugar. Es en esa misma mañana cuando el capitán abandona el barco acusado de desobediencia y delito ecológico. En estos momentos sobreviene la idea de que el barco se puede partir en dos, con lo cual las autoridades proponen, en ese caso, remolcar las partes por separado. En la costa llegan las primeras aves manchadas de fuel y la mancha se aproxima a menos de 5 km de las islas Sisargas, y a 11 km de Roncudo.

El sábado 16 de noviembre el vertido mancha 190 km de costa y se prohíben la pesca y el marisqueo entre Fisterra y Mera. Se traen barreras del Reino Unido y Cantabria que suponen 18 km de protección, pero el temporal se las salta y el fuel llega a la costa. Mientras, el Prestige se sitúa a 48 millas de la costa y, con los motores apagados, avanza a un nudo hacia el sur. Ante los esfuerzos infructuosos de los remolcadores Ría de Vigo y Alonso de Chaves, acude a la llamada un super-remolcador chino De Da.

El quinto día, el domingo 17 de noviembre, el capitán Mangouras ingresa en prisión con una fianza de 3 millones de euros. En cuanto al Prestige se encuentra a 60 millas de la costa, en frente a Corrubedo, con un tercer tanque roto. Este, espera la llegada del remolcador De Da, el más grande del mundo, que sale a las 21:00h de Vigo rumbo al norte. Lo que intentará será dar la vuelta al buque para que las olas dejen de actuar en su costado más débil. Las tareas de limpieza comienzan tímidamente, a la vez que la Xunta y el Gobierno prometen ayudas a todos los perjudicados.

El super-remolcador chino llega el día 18 de noviembre, cuando el barco se encuentra a la altura de Marín. El Gobierno comunica que el buque ha entrado en la zona económica Exclusiva de Portugal, pero el propio Portugal desmiente la noticia y hacen zapar la fragata Joao Coutinho. La mancha de fuel se extiende hasta Porto do Son y la prohibición de pesca se extiende hasta Cabo Prioriño, en Ferrol. Se convoca al ejército y a la armada para las tareas de limpieza y se concretan las ayudas (30€ por día inactivo).

Pero fue el 19 de noviembre a las 8:50 h de la mañana cuando el Prestige se partió en dos. Contaba con 66.000 toneladas de fuel, derramando 5.000 en el proceso de partición, y había recorrido 243 millas, situándose a 260 km de distancia de las islas Cíes. La popa se hundió primero a las 10:45h, latitud 42°-12,6' norte y longitud 012°-03' oeste; mientras que la proa lo hizo a las 15h 45m en latitud 42°-18,8' norte y longitud 012°-03,6' oeste. Casi un día después los restos tocaron lecho oceánico a 3.500 metros de profundidad. Todo eso hace que el temporal arrastre el fuel hacia las costas gallegas.

Procesos civiles

FRANCIA

El conjunto de reclamaciones francesas, incluyendo las de su propio Gobierno, llegaban a la cifra de 232 solicitudes. Las demandas se centraban en pedir responsabilidades al propietario del buque, el London Club y el Fondo de 1992. Estas peticiones se hicieron en 16 tribunales de Francia llegando a reclamar, en total, unos 111 millones de euros, de los que 67,7 millones € corresponden a las reclamaciones del Gobierno francés. Sin embargo, 111 solicitudes fueron desestimadas, por lo que solo 121 de ellas, incluidas las del ejecutivo francés, son las que continuaron adelante. Esperando la sentencia de la Audiencia Provincial de A Coruña, se han aplazado 17 acciones judiciales. Además, 174 reclamantes, entre los que se encuentra el Gobierno francés, se han presentado como acusación en el citado juicio.

DEMANDA DE ESPAÑA CONTRA ABS EN ESTADOS UNIDOS

España presentó una demanda contra la American Bureau of Shipping (ABS), sociedad de clasificación del Prestige, en el Tribunal Federal de Primera Instancia de Nueva York. El propósito de dicha demanda era solicitar una indemnización por los daños causados por el vertido, estimados en 1.000 millones de dólares. Su reclamación venía justificada por la negligente inspección que la compañía había realizado al Prestige pocos meses antes del siniestro.

ABS reaccionó con una contrademanda, alegando que la negligencia procedía del Estado Español, por alejar el barco de la costa, y no de ellos. Por ello, pretendían que España se hiciese cargo de todos los costes que debiera pagar. Esta contrademanda fue desestimada por la Ley de inmunidad soberana extranjera (FSIA).

En enero de 2008, el Tribunal del Distrito concedió la moción de ABS de sentencia sumaria, desestimando la demanda de España basándose en el artículo IX.1 del CRC de 1992⁵, por el cual España solamente podría hacer reclamaciones a ABS en sus propios tribunales.

Tanto España como ABS apelaron ante las desestimaciones de sus demandas. Para junio de 2009, el Tribunal de Apelaciones dictaminó que el CRC de 1992 no tenía la potestad de privar de jurisdicción a un Tribunal Federal de EE.UU. sobre este caso. Sin embargo, tal tribunal podía no hacerse cargo del asunto basándose en la doctrina del *forum non conveniens* o por los principios de cortesía nacional. De nuevo, la causa fue remitida al juez del Tribunal de Distrito para una nueva consideración.

En agosto de 2010, el Tribunal del Distrito de Nueva York decidió otorgar la sentencia sumarial⁶ a ABS y desestimar la demanda de España contra ABS, reafirmando en su primera sentencia. No se tuvo en consideración la

⁵ Artículo IX.1 del CRC de 1992: Cuando de un suceso se hayan derivado daños ocasionados por contaminación en el territorio, incluido el 1. mar territorial, o en una zona a la que se hace referencia en el artículo II, de uno o más Estados Contratantes, o se hayan tomado medidas preventivas para evitar o reducir al mínimo los daños ocasionados por contaminación en ese territorio, incluido el mar territorial o la zona, sólo podrán promoverse reclamaciones de indemnización ante los tribunales de ese o de esos Estados Contratantes. El demandado será informado de ello con antelación suficiente.

⁶ Sentencia solicitada por cualquiera de las partes en un proceso civil para su terminación, cuando se cree que no existe un verdadero motivo de disputa.

reclamación española de que "una sociedad de clasificación tiene el deber de abstenerse de comportamientos temerarios ante todos los Estados costeros que podrían previsiblemente sufrir daños por fallos de los buques clasificados". De nuevo, España apeló la sentencia.

El tribunal de apelaciones, en agosto de 2012, desestimó la reclamación presentada. Uno de los motivos en los que fundamentaba esta decisión era el de que España no había presentado pruebas suficientes para demostrar la mala praxis de ABS. Este punto fue más que suficiente para desestimar la causa. Sin embargo, no aclaró en la sentencia si ABS tenía la obligación de evitar un comportamiento temerario ante los Estados costeros. España no apeló contra la sentencia, por lo tanto, esta es definitiva.

DEMANDA DE FRANCIA CONTRA ABS EN FRANCIA

En el Tribunal de Primera Instancia de Burdeos, el Estado francés presentó una demanda contra tres compañías del grupo ABS en abril de 2010. La compañía se amparó en la inmunidad soberana para impugnar la acción. El tribunal está valorando este derecho de amparo.

Procedimientos penales

El Juzgado de lo Penal de Corcubión en Galicia, inició una investigación poco después del hundimiento del Prestige. En julio de 2010, el juzgado decidió que existía responsabilidad tanto penal como civil para cuatro personas: el capitán, el primer oficial, el responsable de máquinas del Prestige y el exdirector de la Marina Mercante, por haber participado en la decisión de no dejar entrar el buque en un puerto de refugio. Por un lado, el juzgado atribuyó responsabilidad con carácter solidario y mancomunado al London Club y al Fondo de 1992, por los daños del derrame. Por otra parte, la responsabilidad civil se imputaba al Gobierno Español, a la empresa propietaria y a la empresa gestora del buque.

El Derecho español admite reclamaciones civiles en procedimientos penales, ya que el tribunal de lo penal tiene potestad para decidir sobre ambas responsabilidades. A su vez, el juzgado de lo penal también decide sobre las indemnizaciones. En consecuencia, en mayo de 2003, el propietario del buque depositó 22.777.986€ en el Juzgado, la cual representa la cuantía de limitación aplicable al Prestige conforme al Convenio de Responsabilidad Civil de 1992 (CRC de 1992). En total, las reclamaciones suponen 2.317 millones de euros, de los que 1.214 millones de euros, se corresponden con las reclamaciones del Gobierno de España por daños medioambientales. Varios peritos judiciales fueron designados por el juzgado de lo penal de Corcubión para revisar las reclamaciones del proceso penal. Sus pesquisas finales arrojaron un resultado por el que la cuantía de las reclamaciones era mayor que la evaluada por los expertos del Fondo de 1992, ya que estos últimos disponían de una información más detallada.

La Audiencia Provincial de A Coruña fue quien, finalmente, acogió los procedimientos para celebrar el juicio penal.

JUICIO DE LA AUDIENCIA PROVINCIAL DE A CORUÑA

El Juicio del Prestige se inicia casi 10 años después de lo ocurrido, el 16 de Marzo de 2012. Antes de este procedimiento, Galicia ya vivió otros dos juicios sobre hundimientos de buques petroleros en las costas gallegas. En el caso del naufragio del Urquiola en mayo de 1976, el Estado indemnizó a la viuda del capitán al considerarse que el accidente se debió a un funcionamiento anormal de los servicios públicos. Sobre la condena del hundimiento del Mar Egeo, las culpas se repartieron equitativamente entre el capitán del buque y práctico del puerto de A Coruña, Rodolfo García Otero; por lo que en ambos casos el Estado asumió parte de culpa.

Tres acusados se sientan en el banquillo, Apostolos Mangouras, capitán del Prestige, Nikolaos Argyropoulos, jefe de maquinas del Prestige y José Luis López-Sors González, exdirector de la Marina Mercante. Existe un cuarto acusado: Ireneo Maloto, primer oficial del Prestige. Ireneo no ha comparecido en juicio y está en situación de rebeldía, por ello no ha sido juzgado. Además de estos tres procesados faltan dos actores importantes más: la aseguradora London P&I club y la operadora Universe Maritime. La primera de ellas ha sido informada y citada pero no ha presentado abogado. La segunda no ha sido citada ya que, aunque se ha intentado, los numerosos cambios de domicilio y la liquidación de la empresas hasta su desaparición no lo han hecho posible. Universe Maritime es la propietaria y armadora del buque, aunque figure que su propietaria, ex datos registrales, fuese la entidad Mare Shipping.

A este juicio lo precede el litigio contra la compañía American Bureau of Shipping (ABS), al dar calificación de apto para navegar al Prestige, demandada por el Estado español por tal hecho. Dicha demanda valorada en 1.000 millones de dólares fue desestimada por considerar el Tribunal de Apelación del Segundo Circuito de Nueva York que no existían pruebas suficientes. Aun así, queda la posibilidad de que la abogacía del Estado presente esta misma demanda en España. Las pruebas recabadas en el juicio estadounidense se aprovecharán para el juicio del Prestige en A Coruña.

Una de estas pruebas se refiere a la reparación defectuosa del barco en China en la primavera del 2001. En concreto, es un fax de George N. Alevizos, director técnico de la operadora del buque (Universe Maritime), donde siguiendo las explicaciones del Capitán Mangouras, el hundimiento fue producido por el desprendimiento del mamparo longitudinal del tanque de lastre de estribor. El propio Alevizos encontró desviaciones entre las calibraciones de acero que se hicieron en un primer momento y las utilizadas en la reparación en China.

Ya en la celebración del Juicio, después de enunciar las acusaciones, el fiscal del caso, Alvaro García Ortiz presentó el informe de impacto donde la cantidad de daños asciende a los 4.442 millones de euros. Seguidamente, los informes periciales: la pericial técnica, la pericial económica y la pericial de navegación. Para la primera de ellas, fue pedida la nulidad por parte del letrado de Nunca Más, Pedro Trepas, ya que alegaba que fuera elaborada por el mismo ingeniero naval que formaba parte del gabinete de crisis de la Delegación de Gobierno de A Coruña, con lo que su parcialidad se ponía en duda. El informe pericial económico fue tachado de tacaño y que para algunos Ministerios solo eran contabilizados el 20% de los gastos realizados.

En cuanto al principal acusado, el capitán del barco Apostolos Mangouras, su abogado expuso dos causas de posible anulación del juicio. La primera de ellas

versaba sobre la no citación de la operadora del buque, Universe Maritime. Con lo cual propuso su citación, la que llevaría la anulación o retraso del juicio o, a cambio, se la excluía del pago de indemnizaciones. La segunda táctica hacía referencia al delito contra el medio ambiente imputado a Mangouras, para él sin valor, puesto que exponía que los restos del naufragio del Prestige fueron analizados por el Estado unilateralmente y sin luz ni taquígrafo, insinuando que el Gobierno no facilitó las mediciones submarinas por ser estas correctas. Con este último argumento introducía la hipótesis de que el hundimiento se debía a causa naturales, posiblemente una ola gigante y no a la errónea reparación en China del buque.

Ni la fiscalía ni el Estado se mostraron partidarios de retrasar o suspender un juicio cuya instrucción judicial ya había durado diez años. Ante la primera petición de anulación la fiscalía optó por mantener a la compañía como responsable civil subsidiario y, ante la segunda, se respondió que el batiscafo Nautil solo realizó mediciones aisladas y cubrir fugas de fuel en una primera expedición. Mientras que en una segunda, dedicada a la extracción de planchas del buque, fue supervisada por el juzgado de instrucción y grabada. Lo que sí atrajo la atención fue la recuperación de documentos del barco. Entre ellos se encontraban emails de Universe Maritime, informes del mal funcionamiento de dispositivos del barco y avisos de inspecciones.

Después de 400 horas de declaraciones y casi ocho meses de juicio, este terminó. Apostolos Mangouras, acusado de un delito contra el medio ambiente y desobediencia grave, solo fue encontrado culpable de esta última. Por ello, fue condenado a nueve meses de cárcel. La justificación está en que el capitán se negó a tomar remolque a las seis de la tarde del 13 de noviembre de 2002, cuando aún era de día y se podía hacer. En cuanto al delito de medio ambiente, Mangouras queda al margen. Esto es así ya que, a juicio del tribunal, no puede ser condenado por "...deficiencias de mantenimiento y control de la conservación del buque que no respondían a vicios que pudieran observarse directamente sino que dependían de análisis técnicos complejos que no se realizaron con la debida profesionalidad, eficacia y/o prudencia.". Además, no se cree posible que Mangouras cooperase con ABS para ocultar información sobre el mal estado del barco: "...es poco verosímil que quien haya de navegar en un buque de esta clase coopere en ocultar defectos estructurales que puedan poner en riesgo su propia vida y la de su tripulación, ni siquiera para cooperar con gestores supuestamente codiciosos de los que dependería en gran medida su vida laboral."

Es cierto que el tribunal carga contra ABS y Universe Maritime, la empresa clasificadora que inspecciono el Prestige y la armadora respectivamente: "... los armadores fueron engañados por ABS y los responsables de los astilleros chinos donde se hicieron las últimas reparaciones al Prestige, aunque la empresa propietaria del buque sabía que sus condiciones eran inadecuadas pero ocultó ese conocimiento y asumió el riesgo de que navegase el buque en esas condiciones."

Nikolaos Argyropoulos, jefe de maquinas, resultó absuelto de los delitos contra el medio ambiente y de desobediencia. Tanto a él cómo al capitán Mangouras solo se les considera irresponsables a la hora de arrancar la maquinaria del buque, pero la sentencia también expone: "...nadie ha demostrado que conociesen el estado real del buque en cuanto a los defectos de conservación

que causaron su hundimiento.” Ya que “...El aspecto a simple vista no era alarmante aunque no fuera muy satisfactorio...”

José Luis López-Sors González, ex director de la Marina Mercante, fue absuelto del delito contra el medio ambiente y espacios naturales protegidos. Para el magistrado la decisión de alejar el barco aumentó la extensión del vertido, pero redujo la intensidad de la afectación y permitió recoger el fuel en el mar. La sentencia considera válida la actuación del ex alto cargo porque: “...Nunca se ha dicho hasta ahora cual fue la decisión correcta a tomar y protocolo a seguir en el supuesto no desdeñable de que se repitiesen hechos similares, ni aun ahora después de una dilatada instrucción y de un largo y árido juicio, ha sido capaz nadie de señalar lo que haya de hacerse aparte de algunas opiniones particulares más o menos técnicas.”

El único condenado fue el capitán Mangouras con nueve meses de prisión por un delito de desobediencia, al que se le esgrimió de cualquier responsabilidad civil, por lo que no debió hacer frente a ninguna indemnización y mucho menos a la reclamación de la fiscalía por 4.328 millones de euros. Por ello, la aseguradora del buque, London P&I Club, retiró los 22,5 millones de euros que depositó para repartir entre las víctimas. Los únicos entes que se han hecho cargo de las indemnizaciones a las víctimas han sido el Estado Español, que aportó 1.000 millones de euros y el Fidac, organismo internacional para daños debidos a contaminación de hidrocarburos, que destinó una partida de 151 millones de euros a paliar los daños. Esta cantidad se repartió entre los afectados que acudieron al organismo (5 millones de euros), al Estado Español (115 millones de euros) y el restante se repartió a los Estados francés y portugués y a los damnificados franceses.

El mismo Fidac ha anunciado su intención de demandar a la compañía que calificó al Prestige como apto, ABS, ante la justicia francesa. El propósito sería recuperar los 151 millones de euros en concepto de indemnizaciones que tuvo que abonar. Ciertamente es que el propio Gobierno Francés demandó en 2010 a ABS ante un tribunal de primera instancia de Burdeos.

Ante la insatisfacción general de la sentencia quedaba recurrir la misma. El 21 de mayo de 2014 el plazo para la presentación de recursos concluía. En total se presentaron 17 recursos, entre ellos la de los tres imputados: Mangouras, Nikolaos Argyropoulos, a través de sus abogados y José Luis López Sors, por medio de la Administración General del Estado que es quien ha llevado su defensa a lo largo de todo este procedimiento. Además, el colectivo Nunca Mais, la asociación ecologista Arco Iris y diversas administraciones públicas como el Gobierno español, el Estado francés, el Consejo General de la Vendée, el Consejo General de Bretaña y la Xunta de Galicia han presentado sendos recursos. Ha sido esta última administración la que responsabiliza al capitán del Prestige, Apostolos Mangouras, de graves negligencias las cuales llevaron a actitudes y maniobras irresponsables. Igualmente, pone en su punto de mira el deficiente estado en el que se encontraba el buque mientras que reclama a la aseguradora su responsabilidad civil directa y solidaria hasta el límite cubierto por la póliza de mil millones de dólares. Ante estos errores, la Xunta reclama 1,3 millones de euros atribuidos al reciclado y eliminación de las 10.000 toneladas de residuos. A parte de esta indemnización, también solicita otra para los daños medioambientales producidos a medio plazo cuantificados en 2.433 millones de euros. Asimismo, solicita la aplicación del Convenio Internacional sobre Responsabilidad Civil y el Convenio Internacional de

indemnización de Daños debidos a Contaminación por hidrocarburos (Fidac) ambos de 1992. La Fiscalía del Estado, por su parte, ha fundamentado su recurso en sus protestas contra la sentencia que, a su juicio, no se ajusta a derecho. A diferencia de la Xunta, recalca que la mayor parte de la responsabilidad recaiga en la aseguradora británica del petrolero.

Uno de los aspectos en los que se ha centrado la mayoría de los recursos es en el hecho de que la sentencia reconocía grandes daños y prejuicios atribuidos a la marea negra, pero no culpaba a nadie de ello, por lo que la responsabilidad civil quedó sin determinar, hecho que se pretende revertir.

7. Conclusiones

En este trabajo, se han expuesto dos casos en donde la gestión de recursos naturales errónea ha derivado en la resolución del conflicto de formas dispares, pero con igual protagonismo de las instituciones.

El caso de la expropiación de YPF por el Estado Argentino ha puesto de relieve el frágil entramado institucional del país. La estrategia por recuperar la autonomía sobre los recursos hidrocarburos y, a la vez, afianzar el poder del ejecutivo Kirchner ha llevado a menoscabar la reputación internacional de la nación. Ni el proceso estipulado por el tratado bilateral entre ambas naciones, ni cualquier otro procedimiento internacional, han hecho que se resuelva la controversia entre los dos países.

La pérdida de credibilidad del país, se ha hecho patente en la ardua tarea de encontrar inversores para Vaca Muerta, a pesar de que las ventajosas condiciones que proponía Argentina. Solo cuando la resolución de los pleitos entre Repsol y el Estado latino era una realidad, los inversores llegaron a ella. Argentina, no parece haber aprendido de sus experiencias históricas pasadas, siguiendo en una dinámica de continua inestabilidad. La reputación labrada, la cual proporciona información a los distintos agentes y la cual se considera un indicativo del cumplimiento de los acuerdos, no es la adecuada para atraer a nuevos agentes que deseen establecer relaciones comerciales. Esto es así, en parte debido a que las instituciones argentinas no instauraron mecanismos de credibilidad de sus compromisos. Todas estas características propician un desequilibrio institucional, el cual no es el apropiado para el desarrollo de los mercados tanto políticos como económicos. El cambio de esta trayectoria institucional hacia un desempeño institucional correcto es una tarea ardua y lenta, y constituye un reto pendiente del Estado Argentino.

En cuanto al caso Prestige, este es un ejemplo de como la mera aprobación de una norma no es suficiente para hacerla cumplir. A pesar de las regulaciones acerca de tratados de seguridad e inspecciones relacionadas, un barco de más de 20 años, monocasco y con graves deficiencias seguía prestando servicios de transporte de hidrocarburos. Y es que a pesar de las evaluaciones negativas y buscando refugio en su pabellón extranjero el Prestige hacía caso omiso de las advertencias contra sus malas condiciones. Las medidas ex –ante no han sido suficientes pero, las de tipo ex – post tampoco han ayudado a dejar de lado la impunidad con la que se actúa en cuanto a la seguridad marítima. En Europa, el régimen de responsabilidad de la compañía del buque accidentado establece la posibilidad de que esta pague solidariamente los daños, dando lugar a un límite de indemnización mucho más bajo que los costos reales de la catástrofe. Si a esto le sumamos la falta de responsabilidad en el fallo del

tribunal, nos da como resultado un régimen jurídico, penal y administrativo muy laxo con los infractores.

8. Referencias

Ostrom, E. (2009). "Las reglas que no se hacen cumplir son mera palabrería. Revista de economía institucional" 11(21), 15–24.

Allen, D.W. (1991). "What are transaction costs?" Research in Law and Economics, 14:1-18

Arias, X. C. y Caballero, G. 2003: "Instituciones, Costes de Transacción y Políticas Públicas: un panorama", Revista de Economía Institucional, 8, 117-146.

Banco Mundial. 2012: Doing Business. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento. Banco Mundial

Banco Mundial. 2013: Doing Business. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento. Banco Mundial

Barrera, M. A. 2011: Análisis del proceso de fragmentación y privatización de YPF: un estudio de su transformación en el marco de la desregulación del mercado primario de hidrocarburos (1989-1999), Tesis de maestría, MIMEO, Buenos Aires.

Bermejo García, R. y Garciandía Garmendia, R. 2009: "La expropiación de YPF (Repsol) a la luz del derecho internacional", Revista electrónica de estudios internacionales, 24, 2012.

Caballero, G. 2001: "La Nueva Economía Institucional", Sistema, 156, 59-86.

Caballero, G. 2002: "El programa de la Nueva Economía Institucional: lo macro, lo micro y lo político", Ekonomiaz, 50, 230-261.

Caballero, G. y Garza, M.D (2010). "La nueva economía institucional y la economía de los recursos naturales: Comunes, instituciones, gobernanza y cambio institucional". Economía agraria y recursos naturales, N°. 10, 2, 2010 , págs. 61-91.

CEPAL. 2012. La Inversión Extranjera Directa en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas. CEPAL.

Coase, R.H. (1984). "The New Institutional Economics". Journal of Theoretical and Institutional Economics, 140(1):229-231.

Coase R. H. 1998. "The New Institutional Economics". American Economic Review, 88 (2): 72-74.

Commission of the European Communities (2000): «Communication from the commission to the european parliament and the council on a second set of community measures on maritime safety following the sinking of the oil tanker Erika», CEE (2000) 142 final/2, 22.6.2000, Bruselas.

Comisión Europea (2000): «Communication from the commission to the european parliament and the council on maritime safety of oil transport», COM (2000) 802 final, 6.12.2000, Bruselas.

Hadfield, G. K. (2005). "The many legal institutions that support contractual commitments". En Menard, C. y M. Shirley (Eds.): Handbook of New Institutional Economics. Springer: 175-204.

Loureiro García M, y Vázquez Rodríguez M.X. (2005). "Incentivos y políticas de gestión de catástrofes ambientales marinas: el Prestige". Cuadernos Económicos de ICE, Nº 71.

Matthews, R.C.O. (1986). "The Economics of Institutions and the Sources of Growth" Economic Journal 96, 903-910.

North, D.C. (1990). "Institutions, Institutional Change and Economic Performance. Cambridge University Press". Cambridge.

North, D.C. (1992). "The New Institutional Economics and Development". Washington University in St. Louis.

North, D.C. (1993). "Institutions and Credible Commitment", The Journal of Institutional and Theoretical Economics 149, 11-23.

North, D.C. (1994). "Economic Performance through Time". The American Economic Review. 84,(3):359-368.

North, D. C. y B. R. Weingast 1989: "Constitutions and commitment: the evolution of institutions governing public choice in seventeenth-century England", The Journal of Economic History, Vol. 49, N. 4, pp. 803-832.

Ostrom, E. (2009). "Las reglas que no se hacen cumplir son mera palabrería. Revista de economía institucional" 11(21), 15-24.

Spiller, P., y Tommasi, M. 2000: "Los Determinantes Institucionales del Desarrollo Argentino: Una Aproximación desde la Economía Institucional", Desarrollo Económico, 159, 40.

Spiller, P., y Tommasi, M. 2009: "The institutional foundations of public policy in Argentina", Cambridge University Press. 2009.

Venganzones, M. A. y C. Winograd 1997: "Argentina in the 20th Century. An Account of Long-Awaited Growth", Development Centre of the Organisation for Economic and Development, París.



XIV JORNADAS DE ECONOMÍA CRÍTICA

Perspectivas económicas alternativas

Valladolid, 4 y 5 de septiembre de 2014

Economía y naturaleza en Marx: el "asunto Podolisky" como prueba de un divorcio inexistente.

Alfonso M. Rodríguez de Austria
Giménez de Aragón.

Universidad de Sevilla.

ECONOMÍA Y NATURALEZA EN MARX: EL "ASUNTO PODOLISNKY" COMO PRUEBA DE UN DIVORCIO INEXISTENTE.

Alfonso M. Rodríguez de Austria Giménez de Aragón.

Universidad de Sevilla.

alfrodgim@alum.us.es

alfonsorodriguezdeaustria@gmail.com

Resumen:

En 1880 el médico ucraniano Sergei Podolinsky envió un artículo suyo a Karl Marx en el que intentaba aplicar las teorías físicas del momento, especialmente las leyes de la termodinámica, a las teorías del valor y la plusvalía desarrollada por Marx. La respuesta que éste le dio no ha sobrevivido el curso de la historia. Sí se conservan en cambios dos cartas de Engels a Marx, de diciembre de 1882, en las que aquél muestra su opinión sobre "el asunto Podolinsky". Marx no contestó estas cartas de Engels y murió tres meses después. Podolinsky había sufrido en 1881 un colapso que lo había dejado inhabilitado para la vida intelectual.

Este breve intercambio epistolar e intelectual entre Podolinsky, Marx y Engels, se convirtió un siglo después en una de las pruebas más citadas y concluyentes del divorcio existente en el pensamiento de Marx entre economía y naturaleza. Los artífices de la prueba fueron Joan Martínez Alier y José Manuel Naredo, para los cuales Marx y Engels rechazaron las valiosas aportaciones de Podolinsky al no encontrarle acomodo en el sistema teórico que habían desarrollado. Esta opinión sigue siendo la más extendida a pesar de que contiene serias carencias lógicas y conceptuales.

El presente trabajo analiza el "asunto Podolinsky" para concluir que difícilmente puede adquirir el valor de prueba de un divorcio, por lo demás, inexistente.

Palabras clave: Podolinsky, economía ecológica, Marx, metabolismo social, entropía.

Clasificación JEL: Q 57

1.Introducción.

En 1880 el médico ucraniano Sergei Podolinsky envió un artículo suyo a Karl Marx en el que intentaba aplicar las teorías físicas del momento, especialmente las leyes de la termodinámica, a las teorías del valor y la plusvalía desarrollada por Marx. La respuesta que éste le dio no ha sobrevivido el curso de la historia. Sí se conservan en cambios dos cartas de Engels a Marx, de diciembre de 1882, en las que aquél muestra su opinión sobre "el asunto Podolinsky", como lo llama al comienzo de una de las cartas. Marx no contestó estas cartas de Engels y murió tres meses después. En cualquier caso, Podolinsky había sufrido en 1881 un colapso de algún tipo que lo dejó inhabilitado para la vida intelectual, y murió diez años después.

En 1979 Joan Martínez Alier y José Manuel Naredo reseñan el caso en su artículo "La noción de «fuerzas productivas» y la cuestión de la energía", publicado en los *Cuadernos de Ruedo Ibérico* (63-66). Las cartas de Engels son traídas a colación por estos autores como prueba de que las teorías económicas de Marx conducen, indefectiblemente, a una neta e irreal separación de los ámbitos de la naturaleza y la economía.

En líneas generales, el argumento es que ni Marx ni Engels comprendieron la importancia de las aportaciones de Podolinsky, o aún peor, que las rechazaron porque eran inconsistentes con su propio sistema de pensamiento. El primero no se dignó a contestar a Podolinsky, que le solicitaba su opinión sobre el texto enviado, a pesar de haber tenido tiempo para ello. El segundo rechazó las novedosas aportaciones del ucraniano en el ámbito de las relaciones economía-naturaleza, perdiéndose así una gran oportunidad para la economía política marxista de incorporar criterios ecológicos.

Esta interpretación ha sido sostenida por Martínez Alier y Naredo, conjunta o individualmente, desde 1979 en adelante (1982, 1987, 1995...), aunque la difusión de la misma se debe principalmente al influyente texto de Martínez Alier *Ecological Economics* (1987). Desde entonces la interpretación hizo fortuna y se convirtió en un hecho asumido como cierto por gran parte de los economistas ecológicos, a pesar de que contiene serias carencias lógicas y conceptuales. Entre los autores que se hacen eco y asumen como válida la interpretación de Martínez Alier y Naredo, Foster y Burkett (2004: 33) citan a Bramwell 1989: 86; Cleveland 1999: 128; Deléage 1994: 49; Hayward 1994: 226; Hornburg 1998: 129; Kaufman 1987: 91; Pepper 1996: 230; Salleh 1997: 155.

La interpretación de Martínez Alier y Naredo ha sido criticada, también en varias ocasiones, conjunta o individualmente, por Paul Burkett y John Bellamy Foster (2000, 2004, 2006, 2008), que la denominan "conventional wisdom" debido a su gran aceptación por parte tanto de economistas ecológicos como de economistas eco-marxistas (por ejemplo James O'Connor 1998, o Daniel Tanuro 2011, con postfacio sobre el tema de la ecología Marx de Jorge Riechmann).

En 2008 Burkett y Foster, publicaban el tercer artículo conjunto sobre Podolinsky, y daban el asunto por concluido. Ciertamente, Martínez Alier asumió un cambio de postura a partir de al menos 2003, reduciendo drásticamente su crítica al pensamiento de Marx, como veremos en adelante.

La principal razón que nos lleva a tratar el "asunto Podolinsky" es el alcance y la influencia que la interpretación de Martínez Alier y Naredo ha tenido en el ámbito de la Economía Ecológica. Una postura que ha causado el rechazo casi en bloque del pensamiento marxiano por parte de la disciplina. Y que ha provocado precisamente lo que se criticaba a Marx: una separación irreal y absolutamente desastrosa desde el punto de vista intelectual entre Economía Ecológica y la Economía Política.

2.Contexto. Crítica de Martínez Alier y Naredo a la obra de Marx y Engels.

El artículo de Martínez Alier y Naredo "La noción de «fuerzas productivas» y la cuestión de la energía" está inserto en el dossier "Energía, mitos y realidades", en el que Naredo critica que la "ideología del progreso y la producción", compartida según su opinión por el capitalismo y el comunismo, encubre en realidad la práctica de la destrucción. Este dato es relevante porque según ambos autores la "ideología productivista" del marxismo deriva directamente del pensamiento de Marx y de su divorcio con la naturaleza:

Volvamos sobre las críticas de Marx a los fisiócratas antes expuestas: [...] El punto débil de las formulaciones fisiocráticas era ciertamente tratar de explicar el aumento de los valores de cambio y lo que después se llamaría "plusvalía" partiendo del excedente en términos físicos que generaba la actividad agraria. De esta manera mezclaban infructuosamente esos dos niveles de análisis, el de las relaciones sociales con el de la materia y la energía. Éste último sería desterrado con este pretexto del campo de la llamada ciencia económica. Se analizaría el proceso económico sin tener las fuentes materiales de las que se nutría, desembocando en ese círculo de la "producción" y del consumo que se supone gira incesantemente sin necesidad de una fuerza exterior, ejemplificando el mito del movimiento perpetuo, lo que resultaba perfectamente funcional para mantener la fe en un crecimiento ilimitado. (Naredo 1979: 58-59)

Creemos que esta cita describe en líneas generales la crítica general que Naredo y Martínez Alier efectúan sobre el pensamiento de Marx, trayendo a colación para justificarla el asunto Podolinsky. Crítica que también se ha convertido en un lugar común ("conventional wisdom" u opinión ortodoxa) en el campo de la economía ecológica, y en líneas de activismo ecologista como el decrecimiento.(André Gorz, Ted Benton, James O'Connor, Sege Latouche, Julio García Camarero, etc...)

El artículo "La noción de las "fuerzas productivas" y la cuestión de la energía" se propone, entonces, responder a las siguientes preguntas:

¿Qué posición adopta el "marxismo" -o, al menos, los fundamentos de este sistema de pensamiento- frente a la cuestión de la energía? ¿Cómo es que los partidos que beben en las fuentes del "marxismo" no adoptan una posición de principio frente al hecho nuclear y comulgan, más o menos, en este punto con

los designios del poder establecido? ¿Se puede achacar esto a una deformación de la "doctrina" o es que sus orígenes esta no ofrecía otra cosa? (1979: 71)

En cuanto a la primera pregunta, la respuesta de los autores es que es lógico que

Marx y Engels no se interesaran en hacer un enjuiciamiento del proceso económico en términos energéticos, en cuanto que éste constituía un elemento alógeno a su sistema que podía arrojar resultados no asimilables dentro de él. (1979: 72)

La segunda pregunta, que obviamente no trataremos por exceder los objetivos del presente trabajo, nos sirve para situar históricamente un documento lanzado a la arena del debate político, en el contexto de la luchas anti-nucleares que vieron nacer el movimiento ecologista en España. Se entiende así el tono del mismo, por momentos más vehemente que analítico, y el hecho de que sus autores no llevaran a cabo un examen cuidadoso de las posturas de Marx con respecto a las relaciones Economía-Naturaleza.

La respuesta a la tercera pregunta es que la "doctrina" misma no daba cabida al análisis de la economía en términos energéticos porque, en términos generales, Marx y Engels

saludaban aquellos [descubrimientos científicos] que se ajustaban a la lógica de su propio sistema y los adaptaban a sus conveniencias despreciando aquellos otros que les resultaban incómodos. (1979: 73)

En resumen, la crítica general que Martínez Alier y Naredo hacen a Marx y Engels, presente en varias de sus publicaciones, y que se han convertido en la "opinión ortodoxa" sobre el tema, se basa en los siguientes aspectos íntimamente relacionados:

1º. Marx, que pertenece a la hornada de "economistas clásicos", expone como columna vertebral de su pensamiento económico la teoría del valor trabajo, es decir, que sólo el trabajo produce valor económico.

2º. Esta asunción le lleva a considerar como campos independientes la Naturaleza y la Economía. Es decir, ya que el valor se mide sólo a través del trabajo, sólo el trabajo debe ser incluido como categoría económica.

3º. La expulsión de la Naturaleza del campo de la Economía provoca que no se tengan en cuenta los límites físicos del proceso económico, convirtiendo éste en un ente metafísico.

4º. La (supuesta) falta de límites en el proceso económico de valorización provoca que éste sea considerado indefinido o infinito, conduciendo al ansia por la producción como respuesta a las desigualdades sociales, al "productivismo".

5º. La independencia de la Economía con respecto de la Naturaleza, derivada de la teoría del valor trabajo, oculta el deterioro ecológico que provoca el

proceso económico de valorización.

6º. El "productivismo" (= desarrollo económico + deterioro ecológico oculto) es el eje fundamental en que se basa la sociedad de la abundancia futura descrita por Marx como Comunismo, tras la fase de la "dictadura del proletariado".

7º. Comunismo y Capitalismo coinciden entonces en el "productivismo": El primero basado en el beneficio para todas las personas, en segundo basado en el beneficio para unas pocas.

Este es, en nuestra opinión, un catálogo de puntos que responde en esencia a la opinión más extendida entre la mayor parte de los y las intelectuales relacionados con los campos de la economía ecológica, el ecologismo o la educación ambiental.

3.Podolinsky como prueba del divorcio Naturaleza-Economía en el pensamiento de Marx .

Como prueba de la tan poco científica actitud que mostraban Marx y Engels, aceptando los descubrimientos científicos que se ajustaban a su "doctrina" y rechazando los que resultaban incómodos, los autores citan en su artículo varios ejemplos. A saber, Marx y Engels aceptan la teoría de la evolución y el primer principio de la termodinámica (la ley de conservación de la energía). Y rechazan el segundo principio de la termodinámica (la ley de la disipación/degradación de la energía, o entropía) y las novedosas aportaciones de Podolinsky, que veremos con detalle.

En los dos primeros puntos no nos detendremos más que para formularlos. El tercero, sobre el rechazo de Engels al segundo principio de la termodinámica, será tratado de forma breve. Y el cuarto es el eje principal del presente trabajo.

1º. "Marx saludó con entusiasmo la teoría de la evolución de Darwin", manifestando por carta a Engels (19 de diciembre de 1860) que la teoría era "el fundamento histórico-natural de nuestra concepción". Sin embargo "a Marx le incomodó que Darwin no señalara con claridad que la evolución natural apuntaba necesariamente hacia el "progreso" ". (Martínez Alier y Naredo 1979: 73)

Antes de seguir intentaremos explicar en qué consisten las dos leyes de la termodinámica, ya que el segundo y tercer ejemplo se refieren a ellas.

Según la primera la energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma. Es decir que en un sistema cerrado (sólo conocemos un sistema cerrado: el universo), la cantidad de energía es siempre la misma. Aunque no sucede lo mismo con la calidad de la energía. Porque según la segunda ley de la termodinámica, el proceso de transformación de un tipo de energía a otra (calorífica a cinética, cinética en eléctrica, etc.) conlleva siempre una pérdida. Es decir, que no toda la cantidad de energía calorífica que emite una caldera de

una máquina de vapor se convierte en movimiento. Ni toda la energía cinética que sale de las turbinas se convierte en electricidad. Siempre hay una cantidad de energía que se disipa, se degrada. Esta energía disipada, de mala calidad porque ya no puede transformarse en otro tipo de energía, se llama entropía. La entropía es energía inútil para las personas porque no puede convertirse en trabajo.

¿Cómo es posible que ambas leyes sean compatibles? Pues precisamente por las distintas "calidades" de la energía. La entropía no es energía destruida, es energía que, digámoslo así, flota en el espacio sin que ningún ser vivo (animal o planta) pueda utilizarla. Es decir que el universo tiene siempre la misma cantidad de energía pero ésta es cada vez de peor calidad. La flecha del tiempo conduce indefectiblemente a la "muerte térmica del universo", algo por lo que creo que aún no debemos asustarnos.

2º. La ley de la conservación de la energía (la primera ley de la termodinámica) fue bien acogida por Marx y Engels, porque

también reforzaba indirectamente la concepción que Marx y Engels tenían del mundo económico, en la que el trabajo en general era esa sustancia común que subyacía tras el velo monetario que recubría los intercambios, capaz de explicar el verdadero valor de las cosas... (Martínez Alier y Naredo 1979: 74-75)

3º. La ley de la degradación de la energía.

Los únicos comentarios encontramos al respecto corresponden a las notas escritas por Engels en 1875 y publicadas en la *Dialéctica de la Naturaleza* en las que se niega a reconocer la validez de este principio. (Martínez Alier y Naredo 1979: 77-78)

Según los autores, Engels se encontraba, al igual que otros pensadores de la época, "fascinado" por los descubrimientos de la mecánica newtoniana, por el principio de conservación de la energía que sirvió de apoyo a la anterior, y por la teoría de la evolución, "en la medida en que ésta podía servir para demoler las antiguas creencias religiosas y para fundamentar la creencia en el «progreso»". Así que difícilmente podía "saludar con entusiasmo" un elemento extraño a la física newtoniana, que además podía "empañar la creencia en el «progreso» y que no encajaba en su propio sistema interpretativo del mundo económico". (1979: 78.)

Burkett y Foster¹ señalan que la afirmación de Martínez Alier y Naredo de que Engels niega el segundo principio de la termodinámica, está descontextualizada. O más concretamente, que está transferida de un contexto a otro.

The particular fragment in Engels's *Dialectic of Nature* to which Martínez-Alier refers was given the heading "Radiation of Heat into Universal Space" and was

1 Burkett y Foster manejan la traducción inglesa del artículo de Martínez Alier y Naredo, publicada en 1982 con el nombre (sugerido por Georgescu-Roegen según refiere el mismo Martínez Alier, 1994: 39.) de "A Marxist precursor of Ecological Economics: Podolinsky". Por supuesto también manejan *Ecological Economics*, Martínez Alier (1987: 76).

devoted to the broader, cosmological implications tied to the second law of thermodynamics. (2006: 124)

En efecto, Engels trata la incompatibilidad entre las dos leyes de la termodinámica en el contexto cosmológico de la "muerte térmica del universo", que se deriva como corolario de la ley de la entropía. De hecho, el centro de las reflexiones de Engels es el origen y fin del Universo, de si ha sido creado o es infinito en el tiempo, y de las implicaciones que cada una de las opciones conlleva. Para Engels, la muerte térmica del Universo, el punto máximo de entropía (energía disipada/degradada), y a partir del cual es imposible todo movimiento (todo intercambio de energía), implica que el Universo tuvo por fuerza que ser creado, y que este momento de la creación fue el punto mínimo de entropía, es decir el instante en que más energía disponible hubo en el Universo. La idea de que una ley física *probara* la creación del universo era el tema de debate. Engels sin embargo jamás publicó estas notas.

En cualquier caso, y a pesar de tratarse de un interesante debate, enriquecido por las posteriores teoría de la relatividad, del Big Bang, o de la radiación de fondo del Universo, el quid de la cuestión se encuentra en que Engels reflexiona sobre las implicaciones cosmológicas y cosmogónicas del segundo principio de la termodinámica, no sobre sus implicaciones físicas *terrenales*. Transferir las conclusiones de un ámbito a otro sin justificación explícita resulta, como mínimo, arriesgado.

To claim on the basis of this that Engels demonstrated skepticism toward or even rejected the second law of thermodynamics, as Martínez-Alier and some other have done, is presumptuous. Such a conclusion is particularly unacceptable since elsewhere in *Dialectics of Nature*, Engels express his deep respect for the results of Carnot and Clausius and conforms his own observations and analyses to the strictures of the second law. (Burkett y Foster 2006: 124-5)

De hecho, Engels asume y utiliza la segunda ley de la termodinámica cuando el tema sobre el que reflexiona es más terrenal, por ejemplo la transformación de energía calórica en movimiento de las máquinas de vapor. O la transformación de las calorías ingeridas por una persona en trabajo, tema central, como veremos, de la propuesta de Podolsky.

René Passet, en su obra *L'economique et le vivant*, de 1979, afirma de forma rotunda que Engels utiliza el concepto de entropía en su reflexiones sobre la consideración de las personas como máquinas calóricas:

En efecto, Engels estima que, debido a la entropía, es imposible que el hombre produzca trabajando más kilocalorías de las que absorbe. La plusvalía no puede demostrarse por esa vía. Entonces no disponía de la noción de *energía de ampliación*, en torno a la cual diserta sin embargo a veces. (1996: 267, nota 21, viene de la página 79.)

Sólo citamos aquí a Passet para ofrecer una interpretación distinta a la de Martínez Alier y Naredo, publicada además el mismo año que "La noción de "fuerzas productivas" y la cuestión de la energía". Más adelante sin embargo volveremos sobre el contenido concreto de las palabras del autor francés, y su,

creemos, correcta interpretación de las palabras de Engels. Martínez Alier y Naredo interpretan, basándose en las mismas palabras de la carta de 19 de diciembre de 1882, una cosa bien distinta.

Finalmente, el cuarto punto mencionado, el supuesto silencio y rechazo de Marx y Engels a las ideas de Podolinsky, y las consecuencias del mismo para las relaciones entre Economía Política y Economía Ecológica, será el asunto que nos ocupe el resto del artículo.

4.El silencio de Marx a las aportaciones de Podolinsky.

Engels' negative reaction to Podolinsky's work, and Marx's silence from 1880 to the end of his life in 1883 (three years in which he was still intellectually active, much involved in discussions on the Russian peasant commune), may have seen as a missed chance for an ecological Marxism. (Martínez Alier 2003: 11)

Esta referencia al "silencio de Marx" de Martínez Alier es ciertamente conflictiva desde un punto de vista científico. En primer lugar porque el silencio de Marx es una suposición, basada en que no había constancia de que Marx hubiera respondido. Suponer de forma categórica que, porque no se ha encontrado una carta de Marx a Podolinsky, esa carta no existió, es una afirmación carente de rigor lógico.

Ahora sabemos, además, que es una suposición errada: Burkett y Foster refieren el hallazgo de unas notas de Marx donde se extracta el artículo de Podolinsky². Son unas 1.800 palabras que serán publicadas en el volumen IV/27 MEGA (Marx-Engels *Gesamtausgabe*), y a las que los citados autores han tenido acceso, con la condición de no citarlas literalmente hasta después de su publicación. Es bastante creíble que si Marx se entretuvo en extractar el manuscrito que Podolinsky le había enviado, se entretuviera también en hacerle llegar sus observaciones. Burkett y Foster sugieren que la respuesta de Marx pudo no ser una carta independiente, sino el mismo manuscrito de Podolinsky devuelto con anotaciones en los márgenes, como era costumbre en esos años. El manuscrito, desgraciadamente perdido hasta el momento, pudo ser enviado por correo o a través de un amigo común, por ejemplo "el mentor económico de Podolinsky" Nikolai Sieber, que visitó a Marx varias veces durante los años 1880-81. (2004: 49)

5.Cuatro (o cinco) versiones en cuatro idiomas.

Existen que sepamos cuatro (o cinco) versiones del artículo de Podolinsky, en cuatro idiomas y con dos títulos diferentes. Cuatro de ellas se conservan y la quinta se ha perdido, precisamente el manuscrito que envió a Marx solicitándole sus observaciones.

2 Burkett y Foster (2004: 33 y 49-50; 2006: 113, y nota 11; 2008: 122, nota 26). Este hallazgo entre la ingente cantidad de papeles de Marx y Engels ha debido realizarse entre los años 2000 y 2004, porque en el año 2000 Foster no hace aún referencia al descubrimiento. Afirma sin embargo que "tampoco su silencio [de Marx] nos dice nada". (Foster, 2000: 257)

La primera de ellas parece ser la publicada en ruso a comienzos de 1880 en la revista *Slovo* (La palabra). Esta es con diferencia la versión más larga de todas, y es la editada por Martínez Alier, traducida al castellano por Margarita Estapé. El título era *Trud cheloveka I ego otnoshenie k raspredeleniiu energii* ("El trabajo humano y su relación con la distribución de la energía").

La segunda versión, escrita en francés, fue enviada a Petr Lavrov el 24 de marzo de 1880, y a Marx unos días después. El 30 de marzo Podolinsky escribió a Marx mencionándole su plan de ampliar el trabajo que le había enviado. Y el 8 de abril le comentaba que "esperaba impaciente su opinión de mi intento de armonizar la plusvalía con las teorías físicas actuales." (Martínez Alier 2003: 6.) Sabemos indirectamente, gracias al título que encabeza el extracto de Marx, que el manuscrito se llamaba *Le Travail humain et la Conservation de l'Energie* ("El trabajo humano y la conservación de la energía"). Esta sería la versión más corta de todas, de hecho Burkett y Foster suponen, tras su análisis del extracto de Marx, que en esta versión faltan los apartados que la "opinión ortodoxa" considera (erróneamente) compatibles con la teoría del valor de Marx. (2004: 34) Estos investigadores basan su argumento en que no hay referencia a estas ideas en el extracto de Marx, una persona bastante rigurosa en este sentido, que no las habría pasado por alto, y menos aún en sus notas personales.

La tercera versión, también en francés, fue publicada en *La Revue Socialiste* a finales de junio de 1880. El título del artículo es distinto al del manuscrito: *Le Socialisme et l'unité des forces physiques* ("El Socialismo y la unidad de las fuerzas físicas"). El artículo es más largo y contiene ideas que no aparecían en el manuscrito, si aceptamos la teoría de Burkett y Foster.

La cuarta versión, en italiano, aparece en dos capítulos a finales de 1881 en la revista *La Plebe*, y es esta la versión que Engels lee, o al menos sobre la que escribe a Marx dos cartas en diciembre de 1882, es decir un año después de haber sido publicado el artículo. Esta versión contiene veinte párrafos añadidos sobre la anterior, aunque el argumento central sigue siendo el mismo. (Burkett y Foster 2008: 123)

La quinta versión, en alemán, apareció en dos capítulos entre septiembre y octubre de 1883, en la revista *Die Neue Zeit*, con un nuevo título: *Menschliche Arbeit und Einheit der Kraft* ("El trabajo humano y la unidad de la energía"). Esta versión supera a la italiana en más de 3.000 palabras, aunque sigue siendo más corta que la rusa. También existen diferencias significativas, por ejemplo en su intención y extensión del tratamiento del ser humano como máquina térmica. (Burkett y Foster 2008: 123)

En el artículo conjunto que estamos tratando, Martínez Alier y Naredo son conscientes de que Engels leyó la versión italiana, pero ellos basan su análisis de las ideas de Podolinsky en la versión alemana. Es decir que existe cierta incongruencia en el planteamiento, obviamente motivada por su idea (suponemos) de que todas las versiones eran iguales. En cualquier caso, tras contrastar ambas versiones, Burkett y Foster concluyen que todos los pasajes

de la versión italiana a los que Engels hace referencia, se encuentran también en la alemana. (2008: 123). Es decir que de este fallo en el planteamiento no se derivan mayores consecuencias.

Por otro lado, la versión que nosotros manejamos, atentos por supuesto a la comparación de versiones que hacen Burkett y Foster, es la rusa traducida al castellano. A pesar de ser la más larga y menos condensada, esta versión no *contiene* completamente al resto, como veremos en el final del apartado. El núcleo y el proceso de la argumentación son sin embargo los mismos.

6. Resumen de las aportaciones de Podolinsky.

El objetivo del trabajo de Podolinsky era según Martínez Alier y Naredo

relacionar el funcionamiento de los sistemas económicos y el aparato conceptual elaborado por ellos con el campo de la energía y redefinir la teoría del «valor-trabajo» y la noción de «desarrollo de fuerzas productivas», aplicando para ello los conocimientos de la termodinámica. (1979: 79)

Este era el objetivo, al cual nos tememos que Podolinsky sólo se acercó de lejos. Vamos a intentar ofrecer un resumen global sobre sus ideas.

Podolinsky comienza su artículo haciendo un inventario de las energías existentes en la naturaleza (mareal, calor interno de la tierra, afinidad química no saturada, eólica, corrientes de agua, solar y "la energía transformable contenida en las plantas, animales y seres humanos") y concluye que todas estas fuentes de energía son transformaciones de la energía solar. Parte de esta energía solar es captada por las plantas y a través de la fotosíntesis convertida en materia, que luego se convertirá en alimento para los animales, carbón, etc. (1995: 76)

Es decir que el alimento de los animales proviene en última instancia de la energía solar fijada por las plantas. Si la cantidad de energía fijada por las plantas fuese igual a la ingerida por los animales, la tierra viviría en "una especie de estado de estancamiento, a pesar de la vida y del intercambio o metabolismo constante de materia y energía". (Pag. 89.)

Pero la realidad es que la tierra ha vivido un aumento de la productividad del material nutritivo que es la reserva de energía transformable. ¿De dónde procede este exceso de energía transformable? Del trabajo del ser humano y los animales domésticos. En efecto, los animales (incluidas las personas), ingieren una cantidad de material nutritivo/energía transformable, que transforman en trabajo mecánico, y gracias a este trabajo mecánico aumentan el material nutritivo/energía transformable sobre la tierra.

Por ejemplo, si comparamos la "productividad energética" (en forma de cantidad de material nutritivo) entre un ecosistema manejado por las personas y otro en el que no intervienen, el resultado es que los primeros acumulan más energía. Es decir, que un campo cultivado gracias al trabajo mecánico de las personas tiene una productividad energética superior a un bosque o prado que

crece naturalmente.

En base a esta idea, Podolinsky ofrece una nueva definición de trabajo:

El trabajo es una utilización del trabajo mecánico y psíquico acumulado en el organismo que tiene como resultado el aumento de la cantidad de energía disponible sobre la tierra. (Pag. 91.)

Esta definición tiene como consecuencia que actividades como la caza, la pesca o la composición musical no puedan ser consideradas trabajo, aunque Podolinsky las considera actividades absolutamente necesarias. Enseguida volvemos sobre esto. Porque

todavía no hemos hablado del origen de la capacidad para el trabajo en el organismo, y ello es totalmente imprescindible no sólo para seguir analizando el papel del trabajo en la vida social, sino incluso para entender bien el hecho fundamental de que el trabajo puede aumentar la energía disponible en la superficie de la Tierra. (Pag. 98)

Para contestar a esta pregunta Podolinsky desarrolla la consideración de las personas como "máquinas térmicas", y analiza las transformaciones fisiológicas que se dan en el cuerpo durante el trabajo, "los fenómenos físicos y químicos que acompañan a la actividad muscular". (Pag. 103)

Sobre esta consideración instituye el término de "coeficiente económico", es decir, la relación que se establece entre el consumo energético de una persona, a través de la ingestión de alimentos, y su capacidad de trabajo muscular. Según sus cálculos las personas convierten un quinto de la energía ingerida en trabajo muscular. Esta relación es medida en calorías. Pero a esta relación 5/1 hay que sumarle las calorías que cada persona dedica a sus necesidades no alimenticias, físicas y psicológicas, con lo cual la relación adecuada entre el consumo de calorías y la transformación de las mismas en energía muscular es en realidad de 10/1. Por cada diez calorías que consume, una persona convierte una en trabajo muscular.

Es, pues, necesario que cada caloría de trabajo humano tenga una "productividad" (ésta es la palabra que emplea) de por lo menos diez calorías; es decir, sea capaz de incorporar energía exterior por valor de diez calorías. (Martínez Alier y Naredo 1979: 83)

Efectivamente, según Podolinsky, las personas acumulan, gracias a su trabajo, al menos diez calorías de energía solar por una inversión de una caloría de trabajo muscular. Es decir, que compensa la relación 10/1 con una productividad en su trabajo de 1/10.

En una palabra, el trabajo humano acumula diez veces más energía de la que el propio trabajo contiene, precisamente *tanta como se necesita para obtener la misma cantidad en la forma superior de energía mecánica que ha utilizado*. Siguiendo nuestra analogía con la máquina térmica, vemos que en este caso se cumple precisamente la exigencia de Sadi Carnot de que el trabajo devuelva el

calor consumido en la máquina de vapor. En la humanidad esto se cumple a la perfección. El trabajo humano devuelve a los hombres bajo forma de alimentos, ropa, vivienda, satisfacción de las necesidades psíquicas, toda la cantidad de energía que fue utilizada para la producción de ese trabajo. *Ello nos permite concluir que la máquina que trabaja, llamada humanidad, satisface los requisitos expuestos por Sadi Carnot para la máquina perfecta.* (Pag. 103. Subrayados nuestros.)

La máquina humana, entonces, es la máquina perfecta, cuyo funcionamiento es perpetuo porque acumula la misma o más cantidad de energía de la que consume.

Este es en esencia el argumento de Podolinsky, que cree ver en él un correlato físico de las ideas económicas de Marx.

La teoría del valor-trabajo se corresponde entonces con la teoría del valor-energía disponible.

Aunque Podolinsky no lo expresa claramente, el concepto de plusvalía también puede ser redefinido en términos físicos (o termodinámicos): es, como podemos suponer, la capacidad que tienen las personas de acumular más energía de la que consumen.

En su versión alemana el artículo de Podolinsky termina, según refieren Martínez Alier y Naredo, con un "desafortunado *excursus* histórico" que trata de relacionar los modos de producción (esclavismo, servidumbre, capitalismo y socialismo) con la acumulación de energía. (Martínez Alier y Naredo 1979: 84)

La idea de Podolinsky es que la cooperación y solidaridad socialistas favorece una mayor acumulación de energía, ya que el capitalismo expulsa a los obreros del trabajo y los manda a la inactividad. Con el socialismo no habrá un "ejército de parados de reserva" que malgaste su energía.

El trabajo de Podolinsky contiene otra gran cantidad de ideas que sólo mencionaremos por ser de importancia relativa para el resto de la discusión. De hecho, todas ellas pertenecen a la versión rusa y fueron eliminadas en las posteriores: las necesidades humanas, los distintos tipos de trabajo y su relación con la distribución de la energía, la poca eficiencia energética de la máquina de vapor, la esperanza en que algún día se invente la máquina solar, la esperanza en que algún día se invente "la síntesis directa de las sustancias que sirven para la alimentación humana", o una refutación a la conocida idea de Malthus de que la población crece de forma geométrica y la producción de alimentos de forma aritmética..

7.La opinión de Engels sobre las ideas de Podolinsky.

Conocemos la opinión de Engels sobre las aportaciones de Podolinsky gracias a dos cartas que envió a Marx los días 19 y 22 de diciembre de 1882.

En la primera de ellas Engels afirma que el verdadero descubrimiento de

Podolinsky es que "el trabajo humano tiene el poder de fijar la energía solar sobre la superficie de la tierra permitiendo que su acción dure más de lo que duraría sin él", y que todas las consecuencias económicas que deduce de ello están equivocadas.

El problema es este: ¿cómo una cantidad dada de energía radicada en una cantidad dada de alimento puede dejar tras de sí una cantidad de energía mayor? Lo resuelvo así: supongamos que la ración alimenticia diaria que necesita una persona representa una cantidad de energía expresada en 10.000 calorías. Estas 10.000 calorías siguen siendo siempre 10.000 calorías, y en la práctica, como se sabe, pierden, en el curso de su transformación en otras formas de la energía —por fricción, etc.—, una parte de su total. Esta pérdida es considerable en el cuerpo humano. El trabajo físico aplicado al trabajo económico nunca puede ser, en consecuencia, = 10.000 calorías, sino siempre menor.³

Engels señala, como antes vimos que reseñaba Passet, que no es posible que una persona convierta 10.000 calorías ingeridas en 10.000 calorías de trabajo físico. Una parte es consumida por la radiación corporal, otra por fricción, otra en la transformación en otros tipos de energía (pérdidas debidas a la entropía), otra en los trabajos psíquico y muscular, y otra queda depositada en los excrementos.

En cualquier caso da igual que Podolinsky no haya tenido en cuenta todas las variables a la hora de establecer su "coeficiente económico", porque, en cualquier caso, "esto no significa que el trabajo físico sea trabajo económico."

¿Por qué el trabajo físico no es trabajo económico?

Por que no existe un flujo energético que atraviese el cuerpo de la persona transformándose de caloría a trabajo muscular y otra vez a caloría, en relación 1/5 o 1/10, o la que sea. Es decir que la relación de continuidad que Podolinsky establece entre:

calorías ingeridas → *trabajo muscular* → *calorías retenidas/fijadas/producidas*,

es, simple y llanamente, falsa.

No existe una relación directa y cuantificable entre la energía ingerida en forma de alimentos y la energía retenida/fijada por la naturaleza gracias al trabajo de las personas. Aún menos se puede hablar de que las personas *acumulan* energía: La persona *consume* su energía en el trabajo mecánico, y a través de éste propicia que las plantas retengan tal o cual cantidad de energía solar.

Podolinsky ha olvidado un elemento básico en su consideración de la persona como máquina térmica: la naturaleza. El flujo de energía es en realidad como sigue:

3 Citamos de la traducción castellana de las cartas realizada para la edición cubana de *Correspondencia*, La Habana, Ediciones Política, sin fecha, a disposición del público en Marxist Internet Archive. La versión descargada carece de paginación. Martínez Alier y Naredo anexan las cartas a su artículo.

calorías ingeridas → *trabajo muscular* → *manipulación de la naturaleza* → *calorías retenidas/fijadas/producidas por la naturaleza.*

La retención de calorías solares propiciada por el trabajo muscular no guarda una relación directa con la cantidad de calorías ingeridas por esa persona, sino que guarda relación con la forma en que la naturaleza ha sido manipulada por ese trabajo muscular.

Insistimos con otras palabras: La cantidad de calorías que consiga fijar una persona a través de la agricultura (o secundariamente a través de la ganadería), no depende de las calorías ingeridas por esa persona, transformadas en trabajo muscular. Depende de las condiciones en que su trabajo muscular afecta o transforma a la naturaleza, facilitando que ésta haga su trabajo de fijación fotosintética de calorías recibidas por la radiación solar. La forma en que el trabajo muscular manipula la naturaleza dependerá de las herramientas que maneje esa persona. Obviamente su productividad, medida en cantidad de calorías fijadas por el sol gracias a su trabajo, será mayor cuanto mejores herramientas tenga: manos, azadón, burro, tractor...

En otras palabras, la "productividad" de la supuesta máquina humana depende, como no puede ser de otra forma, de las condiciones de producción, en otras palabras, del "grado de desarrollo de los medios de producción".

El que la nueva cantidad de calor fijada por aplicación de las 10.000 unidades de calor de la alimentación diaria lleguen a alcanzar 5.000, 10.000, 20.000 o 1.000.000 de unidades, únicamente depende del grado de desarrollo alcanzado por los medios de producción. (Engels, Correspondencia, 19 diciembre 1882)

Enseguida veremos los disparates que interpretan Martínez Alier y Naredo sobre esta última frase, centro de su crítica a la reacción de Engels.

En adelante, Engels enumera algunas de las dificultades que encuentra a la hora de contabilizar la productividad energética de las personas. Algo más fácil en las ramas de la producción más primitiva, como la caza, pesca, ganadería y agricultura.

Aritméticamente, esto sólo puede representarse en las ramas más primitivas de la producción: la caza, la pesca, la ganadería, la agricultura. En la caza y en la pesca ni siquiera se fija nueva energía solar: únicamente se emplea la ya fijada.

En el caso de la ganadería, la fijación de energía se encuentra en el consumo por parte de los animales de plantas que de otra forma se secaría y morirían. En el caso de la agricultura habría que tener en cuenta, añade, el valor energético de los "fertilizantes y otros medios auxiliares".

El cálculo sería algo así como:

Energía muscular
+ Energía contenida en los fertilizantes
+ Energía puesta en marcha por los medios auxiliares

Energía contenida en las plantas en el momento X

Pero esta aproximación sería deficiente, pues no contabiliza el trabajo invertido en la elaboración/extracción/traslado... de los fertilizantes y de los medios auxiliares.

En el caso de la industria, Engels ya ve el cálculo totalmente imposible "en la mayor parte de los casos, el trabajo aplicado al producto ya no puede expresarse en unidades de calor". Parece que Engels repite aquí lo que había afirmado en otro sitio (*Dialéctica de la Naturaleza*) de que no es posible traducir el trabajo cualificado a calorías: "¡Que alguien intente convertir el trabajo cualificado en kilogramos/metro y determinar los salarios sobre esta base!".

El párrafo que sigue es bastante difícil de interpretar.

Si, por ejemplo, esto sigue siendo posible en el caso de una libra de hilo, debido a que su tesura y resistencia pueden reducirse, con mucho trabajo, a una fórmula mecánica, ya aquí esto se manifiesta como una pedantería totalmente inútil; y en el caso de una pieza de género en bruto, y tanto más en el caso del género teñido y estampado, se vuelve absurdo. El valor energético de un martillo, de un tornillo o de una aguja, calculado de acuerdo al costo de producción, es una cantidad carente de sentido. En mi opinión, es absolutamente imposible tratar de expresar las relaciones económicas en magnitudes físicas.

Parece que Engels no entiende los entresijos de los cálculos necesarios para llevar a cabo una contabilización energética de los productos, una vez que damos de lado la imposibilidad de cuantificar el trabajo cualificado. (Algo que por cierto admite discusión, como bien señalan Martínez Alier y Naredo, aunque no tenemos espacio para llevarla a cabo.)

Engels no establece una gradación de producto simple a producto complejo, como aparentemente podía ser una línea lógica del argumento: señalar la dificultad de este cálculo ante el innumerable número de factores a tener en cuenta⁴. En cambio señala, creemos que con bastante razón, que Podolinsky olvida que las personas, más que fijadoras de energía son derrochadoras de la misma, y que la industria, la caza y la pesca son únicamente gasto de energía solar acumulada. En realidad, esta justa crítica a Podolinsky no invalida la perspectiva de cuantificación energética que el otro proponía. Podolinsky había

4 En *El Capital*, I, V, *Proceso de trabajo y proceso de valorización*, por ejemplo, Marx desgana algunos de los factores a tener en cuenta en el proceso de valorización, un proceso muy cercano al de cuantificación energética, porque sigue de cerca todo el proceso de fabricación, desde la extracción y procesamiento de todos los materiales hasta la energía y trabajo invertido en el producto final, a los que habría que sumar el material, energía y trabajo invertidos en cada herramienta que ayudan a la elaboración del producto final. Este cálculo no era ajeno a Marx, desde la perspectiva de la valorización económica, no de la energética. La fórmula por la que la máquina pasa su valor al producto, según Marx, sería el resultado de dividir el coste total de la máquina, incluida la energía para su funcionamiento, por el número total de horas que la máquina ha estado en funcionamiento. Esto nos daría el coste de una hora del funcionamiento de la máquina. Sólo hay que averiguar ahora cuántos objetos fabrica la máquina en una hora, y hacer la división para obtener el valor monetario que cada producto incorpora de la máquina. Para el cálculo de energía incorporada en un producto industrial, habría que hacer "una historia de vida" bastante parecida.

propuesto un método pero no estaba haciendo buen uso de él.

Tampoco Engels lo ha comprendido del todo, a pesar de que lo afina señalando que Podolinsky no tiene en cuenta ni la disipación de la energía en los procesos corporales, ni que la industria es básicamente un proceso de consumo de energía acumulada (un *stock* energético y no un flujo renovable).

En el penúltimo párrafo, Engels señala que lo que las personas hacen a través de su trabajo, lo hacen las plantas de forma inconsciente. Esto es una nueva inconsistencia en las palabras de Engels, cuya cabeza parecía bullir con las ideas planteadas por Podolinsky. Así puede interpretarse que, tres días después de la primera carta a Marx, Engels le envió otra corrigiéndose a sí mismo y a Podolinsky:

el almacenaje de energía por medio del trabajo, en realidad, sólo ocurre en la agricultura; en la ganadería la energía acumulada en las plantas es simplemente transferida en conjunto a los animales, y sólo puede hablarse de almacenaje de energía en el sentido de que sin ganadería las plantas nutritivas mueren inútilmente, mientras que con ellas son utilizadas. En cambio, en todas las ramas de la industria, la energía es únicamente gastada. (Engels, Correspondencia, 22 diciembre 1882)

La conclusión de Engels es que:

Podolinsky, partiendo de este descubrimiento muy valioso, se ha extraviado por caminos equivocados porque estuvo tratando de encontrar en la ciencia de la naturaleza una nueva demostración de la verdad del socialismo, y con ello ha confundido la economía con la física.

Sobre ésta última frase de Engels se ha afirmado alguna vez que demuestra el divorcio entre economía y naturaleza del pensamiento marxiano. En nuestra opinión la inferencia es un tanto forzada: Engels no está diciendo que la economía y la física no estén relacionadas, lo que está diciendo es que no pueden confundirse. Quizás sea conveniente recordar que uno de los objetivos de Podolinsky era "redefinir la teoría del valor trabajo", como señalan Martínez Alier y Naredo, y lo hace proponiendo una teoría del valor-energía. Algo cuya utilidad el mismo Martínez Alier ha puesto en duda. En este sentido, Podolinsky confundió (las leyes de) la economía con (las leyes de) la física.

8.Revisión crítica de la interpretación de Martínez Alier y Naredo sobre las opiniones de Engels.

En la primera de las cartas, tras hacer un breve resumen de las tesis de Podolinsky, encuentran Martínez Alier y Naredo una (la) frase decisiva para entender la reacción de Engels:

El cuarto párrafo acaba con una frase que consideramos decisiva para entender el pensamiento de Engels sobre el tema. En efecto, Engels estima que la productividad puede aumentar de modo indefinido, "dependiendo del grado de desarrollo de los medios de producción". De hecho, podría haber definido esta expresión precisamente como la producción energética del trabajo humano. Tuvo

esa oportunidad, pero no la recogió. Al contrario, prefirió continuar usando de forma muy vaga, metafísica, la expresión "grado de desarrollo de los medios de producción", sin analizar a fondo ni estos "medios" ni el contenido de esa "producción". Si hubiera definido "grado de desarrollo de los medios de producción" como productividad energética del trabajo humano, entonces su proposición de que el trabajo humano puede fijar, incorporar 5.000, o 10.000 o 20.000, o un millón de calorías diarias, daría un contenido más empírico a la expresión "grado de desarrollo de las fuerzas productivas". Pero queda claro, en Engels, que esa expresión más bien se refiere a una especie de *deus ex machina*, que no necesita que se le dé ningún contenido empírico contrastable. (1979: 83)

Sorprende en primer término, y entre otras cosas, que ambos autores consideren el "grado de desarrollo de los medios de producción" como una formulación vaga y metafísica, siendo como es uno de los conceptos básicos del pensamiento de Marx y Engels, y desde luego no uno de los más difíciles de aprender. Enseguida explicaremos, creemos que de forma sencilla, qué hay que entender por "grado de desarrollo de los medios de producción".

Algo más adelante, los autores infieren, basándose de nuevo en las diez palabras que reproducen de Engels (que alcanzan así, permítaseme la broma, un poder evocativo casi omnímodo), que:

Además, aparece en esta frase de Engels su optimismo respecto al crecimiento de la "producción" y, seguramente (aunque más tarde se refiere a ello), la misma falta de énfasis en la diferencia entre *stock* y flujo de energía que advertíamos en Podolinsky. (1979: 85)

Es decir, que de la frase "...dependiendo del grado de desarrollo de los medios de producción", los autores extraen:

- 1º. Que Engels cree que la producción puede aumentar indefinidamente.
- 2º. Un destacable optimismo respecto al crecimiento de la "producción".
- 3º. Que no enfatiza en la diferencia entre flujo y *stock* energético *aunque* se refiere a ello en otro momento.
- 4º. Que el concepto de "grado de desarrollo de los medios de producción" está utilizado de forma vaga y es metafísico.
- 5º. Que si Engels hubiese definido "grado de desarrollo de los medios de producción" como productividad energética del trabajo humano, daría un contenido más empírico al concepto, que dejaría de ser un *deus ex machina* metafísico.

Recordemos la frase completa (en la traducción de los autores) y tratemos cada inferencia:

Si las unidades de calor nuevas fijadas por el uso de las 10.000 unidades de calor del alimento diario consisten en 5.000, 10.000, 20.000 o 1.000.000, esto dependerá del grado de desarrollo de los medios de producción. (Engels, en

1º. El aumento indefinido de la producción.

¿Puede inferirse en base a esta frase que Engels considera que la productividad puede aumentar de forma indefinida, tal y como interpretan los autores?: "Engels estima que la productividad puede aumentar de modo *indefinido*" (Martínez Alier y Naredo 1979: 83).

Las respuesta es obviamente negativa. Por muchas vueltas que le damos a la frase de Engels, no conseguimos encontrar de dónde han sacado los autores semejante "tontería"⁵. Aunque de hecho sí que lo sabemos: es una opinión propia que Martínez Alier y Naredo sostienen sobre el pensamiento económico de Marx y Engels (Véase por ejemplo Naredo 2003: 161-174. Primera edición de 1987), y que traen aquí, de forma absolutamente injustificada, apoyándose en la progresión numérica de la frase de Engels.

Esta idea del aumento indefinido de la producción sí puede inferirse razonablemente, en cambio, de las ideas de Podolinsky, y de su creencia en que la humanidad es la máquina perfecta de Carnot. La crítica que los autores realizan a Marx y Engels de que establecieron el proceso económico como apartado de los constreñimientos de la naturaleza, estaría en realidad mucho mejor dirigida a la figura de Podolinsky.

2º. Destacable optimismo sobre el aumento de la producción.

¿Aparece por algún lado en la frase de Engels "su optimismo respecto al crecimiento de la «producción»"? Nosotros no lo encontramos por ninguna parte. La extrapolación de Martínez Alier y Naredo nos resulta a todas luces excesiva para un ejemplo que pone Engels a la hora de analizar el pensamiento de Podolinsky, una simple gradación que no expresa deseo ni prescripción.

De nuevo, Podolinsky sí que parece mejor presa del optimismo, tanto con respecto al crecimiento de la "producción", como con respecto al tecno-entusiasmo según el cual el desarrollo tecnológico resolverá gran cantidad de problemas:

Además, existe en el fondo del alma de todos, de forma consciente o inconsciente, la esperanza de que, en el último extremo, aparecerá una nueva invención que lo salvará todo o, en todo caso, que aplazará la desgracia durante un tiempo indeterminado. (Podolinsky 1995: 131)⁶

5 Parafraseamos aquí a Martínez Alier: "las tonterías de Engels respecto a Cladius y a la segunda ley han recibido demasiada atención". Y unas frases más adelante: "los autores de prefacios de la *Dialéctica de la Naturaleza* [...] han dicho aún mayores tonterías al respecto." (Martínez Alier 1994: 317). No dudamos ni un segundo que tanto Engels, como Martínez Alier, Naredo, los autores de prefacios, e incluso es posible que yo mismo, hayamos proferido o puesto por escrito en alguna ocasión las mayores tonterías.

6 Seguramente esta frase de Podolinsky sólo estuviera en la primera versión del artículo.

3º. Falta de énfasis en la diferencia entre flujo y stock energético.

Por otra parte, afirmar como hacen Martínez Alier y Naredo (1979: 85), que en la frase de Engels aparece "*seguramente, (aunque más tarde se refiere a ello)*", la misma falta de énfasis en la diferencia entre *stock* y flujo que advertíamos en Podolinsky", es algo que parece no debe ser tomado demasiado en serio.

En efecto, cinco párrafos más adelante, cuando evalúa las aportaciones de Podolinsky, Engels llama la atención a Marx sobre que el ucraniano olvida que las personas no son sólo fijadoras de energía, sino que además, y en mayor medida, son derrochadoras de la misma. Y lo hace en base a que Podolinsky no diferencia entre *stock* y flujo de energía:

Lo que Podolinsky ha olvidado totalmente es que el hombre que trabaja no es sólo un fijador de calor solar presente [flujo], sino aún más un derrochador de calor solar del pasado [*stock*]. El grado de despilfarro de las reservas energéticas, carbón, minerales, bosques, etc., ya lo conoces tú mejor que yo. (Engels, en Martínez Alier y Naredo 1979: 90)

Los mismos autores citan más adelante la mención de Engels en los siguientes términos:

teniendo siempre presente la diferencia entre stock y flujo a la que el mismo Engels se refiere al recordar a Marx el despilfarro de las reservas energéticas en la minería de carbón. (Martínez Alier y Naredo 1979: 86)

Es decir, que Engels llama expresamente la atención a Marx sobre que Podolinsky no distingue entre flujo y *stock* energéticos, ¿y Martínez Alier y Naredo concluyen que, de la tan citada frase se puede inferir que Engels no enfatiza en la diferencia entre *stock* y flujo de energía?

Esto es, como mínimo, bastante contradictorio, y parece que tampoco debe ser tomado demasiado en serio.

Años después de escribir que ni Podolinsky ni Engels enfatizaban la diferencia entre flujo y *stock*, Martínez Alier matiza su opinión sobre Podolinsky y afirma casi lo contrario: "Podolinsky emphasized the difference between using the flow of solar energy and the stock of coal energy" (Martínez Alier 2005-6: 10). Creemos que hace referencia a un párrafo en que Podolinsky cita el carbón como energía contenida en las plantas en distintos periodos de la Tierra. El énfasis no lo encontramos por ninguna parte, por cierto que tampoco preocupación alguna sobre el agotamiento de este combustible: "La cantidad de dicho combustible es relativamente muy grande". (Podolinsky 1995: 75.)

La frase de Engels (recordemos su poder omnímodo), sin embargo, da la oportunidad a Martínez Alier y Naredo de ampliar la perspectiva de Podolinsky y el metabolismo humano hasta la consideración de metabolismo social "en general", citando los cálculos realizados por Naredo en las fincas andaluzas de campiña (Martínez Alier y Naredo 1979: 85). Al parecer el último término de la

gradación numérica puesta como ejemplo por Engels, la relación input/output de 10.000/1.000.000 se acerca de forma puramente casual a las estimaciones de Naredo sobre la productividad en agricultura andaluza moderna de campiña de aquellos años. Pero lo interesante, desde nuestro punto de vista, es que cuando los autores *corrigen* la propuesta de Podolinsky, solventando las deficiencias de la misma, lo hacen repitiendo lo que Engels había hecho cien años antes. A saber:

Primero, que Podolinsky no incorpora a su análisis del ser humano como "máquina térmica" las *entradas* (inputs) de energía en otras formas que no sea la ingestión de alimentos, como por ejemplo "los fertilizantes y otros medios auxiliares".

Segundo, que Podolinsky olvida la diferencia entre flujo y *stock*.

Ahora bien: como el mismo Engels advierte en su primera carta a Marx, al hacer esos cálculos habría que descontar el valor energético de los fertilizantes y otros medios auxiliares (petróleo, especialmente), ya que la productividad energética del trabajo [...] se logra, no mediante un mejor aprovechamiento del flujo de energía solar a través de una rotación más adecuada, o unas especies vegetales más aptas, sino que se logra recurriendo a un stock de combustibles fósiles. (Martínez Alier y Naredo 1979: 85-86)

Esa es la manera concreta de ver estas cuestiones [incorporando en los cálculos las *entradas* o inputs auxiliares], teniendo siempre presente la diferencia entre stock y flujo a la que el mismo Engels se refiere al recordar a Marx el "despilfarro de las reservas energéticas" en la minería de carbón. (Martínez Alier y Naredo 1979: 86)

Es decir, que cuando Martínez Alier y Naredo amplían la perspectiva de su artículo a la consideración moderna del metabolismo social, de la cual consideran a Sergei Podolinsky una figura pionera, lo hacen *en los mismos términos* que lo había hecho Engels.

Eso sí, Engels comete el *sacrilegio* de dudar de la utilidad, e incluso de la posibilidad, de "expresar relaciones económicas en medidas físicas". (Engels, en Martínez Alier y Naredo 1979: 90).

4º. El "grado de desarrollo de los medios de producción" como término vago y metafísico.

Ya manifestamos nuestra perplejidad ante esta afirmación de Martínez Alier y Naredo, sobre la que insisten en varias ocasiones: "prefirió usar de forma muy vaga, metafísica, la expresión...", "esta expresión más bien se refiere a una especie de *deus ex machina*", "... y la abundancia de estos frutos dependía del desarrollo de las fuerzas productivas, noción metafísica." (1979: 85, 85 y 87 respectivamente).

Vamos a intentar aclarar a qué se refiere Engels con el término "grado de desarrollo de los medios de producción". Primero qué son, y luego, cómo se

desarrollan.

Los momentos simples del proceso de trabajo son la actividad adecuada a un fin, o sea, el trabajo mismo, su objeto y sus medios. (Marx 2000: Libro I, Tomo I, 242. *El Capital*, I, 5, 1.)

El medio de trabajo es la cosa o complejo de cosas que el obrero interpone entre él y el objeto de trabajo, y que le sirven para encauzar su actividad sobre este objeto. (Marx 2000: Libro I, Tomo I, 243)

[...] ambos factores, medios de trabajo y objeto de trabajo, se presentan como medios de producción. (Marx 2000: Libro I, Tomo I, 246)

La materia prima puede formar la sustancia principal de un producto, o servir solamente de materia auxiliar en su fabricación. La materia auxiliar la consume el medio de trabajo, como la máquina de vapor consume carbón, la rueda, aceite, el caballo de tiro, heno [...]; o puede ayudar a la ejecución del trabajo, como, por ejemplo, los materiales utilizados para iluminar y calentar los locales de trabajo. (Marx 2000: Libro I, Tomo I, 246-7)

Los medios de producción son los elementos que intervienen en el acto de la producción. En términos modernos: materia (materia prima), herramientas y máquinas (medios de trabajo), energía (materia auxiliar) y trabajo.⁷ Ahora bien, la relación de mutua influencia entre estos factores no es estática.

La rueca, el telar manual, el martillo del herrero fueron sustituidos por la máquina de hilar, por el telar mecánico, por el martillo movido a vapor; el taller individual cedió el puesto a la fábrica, que impone la cooperación de cientos y miles de obreros. (Engels [Del socialismo utópico al socialismo científico], *Obras escogidas*, sin fecha: 434)

Las relaciones sociales en las que los individuos producen, *las relaciones sociales de producción, cambian, por tanto, se transforman, al cambiar y desarrollarse los medios materiales de producción, las fuerzas productivas.* (Marx [Trabajo asalariado y capital], *Obras escogidas*, sin fecha: 78. Cursiva en el original)

Es decir, que el "grado de desarrollo de los medios de producción" viene dado por la relación concreta, determinada e histórica que mantienen los elementos que participan de la producción (o medios de producción). Por ejemplo, la combinación histórica *labradora/azadón/fuerza muscular/jornada de 10 horas*, supone un grado de desarrollo totalmente diferente a la combinación *esclava/manos/fuerza muscular/jornada de 16 horas*, o a la combinación *agricultor/tractor/petróleo y fuerza muscular/jornada de 8 horas*.

Como vemos, la fórmula no es ni vaga ni metafísica. Describe la realidad de las relaciones que establecen las personas entre sí, y con la naturaleza, en el

7 La clasificación puede afinarse o generalizarse dependiendo de la perspectiva que queramos asumir. Por ejemplo, podemos hablar de naturaleza (materia y energía) transformada por el trabajo de las personas. Pero a su vez el trabajo de las personas es una forma de energía, que puede además considerarse desde distintas perspectivas: tiempo empleado, nivel de esfuerzo, consumo energético, cualificación... Materia y energía son también intercambiables, etc.

ámbito de la producción. Unas relaciones que varían con el tiempo, y lo hacen generalmente en el sentido de "aumentar la producción".

Bastantes años después de la publicación del artículo en *Ruedo Ibérico*, en la comunicación para una conferencia impartida en Lund en 2003, Martínez Alier suaviza un tanto su opinión sobre el significado de "grado de desarrollo de las fuerzas productivas". En este caso no problematiza explícitamente el concepto, ni lo describe como vago y metafísico:

Increases in productivity depended on the development of the productive forces (*Produktivkräfte*), where "Kraft" (force) was not used with the physical meaning of "energy". The productive forces could be furthered or could be fettered by the "social relations of production".

Nos sigue sorprendiendo, sin embargo, que utilice el epíteto "physical" para referirse a "energía". ¿Acaso existe un tipo de energía metafísica del cual nosotros no tengamos conocimiento? ¿O es que Martínez Alier está describiendo, a la contra, "Kraft" como algo no-físico, es decir como metafísico?

El punto siguiente arrojará algo más de luz, creemos, a la confusión que tienen Martínez Alier y Naredo con los términos físico y metafísico.

5º. Según los autores, si Engels hubiese definido "grado de desarrollo de los medios de producción" como productividad energética del trabajo humano, daría un contenido más empírico al concepto, que dejaría de ser un deus ex machina metafísico.

Usar la expresión "desarrollo de las fuerzas productivas" para indicar la mayor facilidad de apropiación y destrucción de combustibles fósiles tiene la desventaja de que oculta el proceso físico real que se está dando, y que obviamente hace imposible que se continúe indefinidamente por ese camino. Así, el rendimiento calórico del trabajo humano depende de fenómenos físicos reales, y más vale hablar de ellos que ocultarlos tras el término "grado de desarrollo de las fuerzas productivas". Engels prefirió ocultarlos, prefirió mantener separadas la economía y la física. (Martínez Alier y Naredo 1979: 86)

Engels se negó a dar un *status* empírico y material a la noción de "grado de desarrollo de los medios de producción". (Martínez Alier y Naredo 1979: 87)

Nuestra opinión es que, la noción de grado de desarrollo de las fuerzas productivas responde a una realidad concreta, histórica, y absolutamente empírica y contrastable. Recordemos, responde a la relación histórica concreta que se da entre trabajo, tecnología empleada en forma de herramientas, materia prima y energía. Martínez Alier y Naredo confunden claramente los términos. Utilizan "empírico" y "material" como sinónimos de "cuantificable", o aún peor, los utilizan como sinónimos de "fácilmente cuantificable".

Es un hecho empírico y demostrable que las fuerzas productivas han variado y varían a lo largo del tiempo, a medida que se ha desarrollado la tecnología, se han puesto en marcha nuevas formas de organización fabril, o se han

descubierta nuevas fuentes de energía, entre otras causas. Estos de los que hablamos son fenómenos físicos reales. Y de hecho son fenómenos físicos reales no reducibles a su expresión calórica, reducción que parece ser la piedra de toque del materialismo y empirismo de los autores. No se puede entender de otra forma que, cuando se enfrentan a una noción que pierde gran parte de significado en la transformación a flujo y *stocks* de calorías, la releguen al ámbito de lo metafísico, no real, no empírico ni contrastable.

En este sentido, se nos antoja poco menos que ridículo afirmar que Engels ocultó los "procesos físicos reales", cuando lo que está haciendo es describiéndolos de una forma mucho más *compleja* que la *simple* "cuantificación calórica", es decir, de una forma mucho más acorde con la realidad. Si la interacción entre trabajo, energía, materia prima, herramientas y máquinas no es un proceso físico real, no se yo que puede serlo.

La perspectiva de cuantificación calórica de Martínez Alier y Naredo es una reducción de la complejidad de la realidad a una sola de sus manifestaciones. La visión de los procesos físicos en términos de flujos de energía calorífica es *una* de las formas de considerar este proceso físico, de igual forma que lo es la reducción y cuantificación material del mismo. Sin duda alguna, el análisis del proceso de la producción en término energéticos (balance, rendimiento, etc.) es una herramienta de interpretación de la realidad muy útil y potente, y su ayuda en el terreno de la denuncia de las desigualdades es inestimable. Pero también es una herramienta que, supongo que como todas, debe ser combinada con otro tipo de herramientas si no queremos, parafraseando a Martínez Alier y Naredo, "ocultar la realidad" tras la pantalla de un concepto.

9.La ecología de Marx.

La forma en que Martínez Alier y Naredo manifiestan su (errónea) interpretación del concepto "desarrollo de las fuerzas productivas", deja además mucho que desear desde el punto de vista de la rigurosidad lógica.

Por ejemplo, Marx y Engels no usaban la noción de "«desarrollo de las fuerzas productivas» *para* indicar la mayor facilidad de apropiación y destrucción de combustibles fósiles". La usaban para designar la progresión histórica ascendente en el nivel de producción de una sociedad, debido, como explicamos, a la interacción variable entre los medios de producción: trabajo, energía, materia prima, herramientas y máquinas. La mayor facilidad de extracción (apropiación) y consumo (destrucción) de combustibles fósiles es uno de los factores de desarrollo de las fuerzas productivas, como lo es, por ejemplo, la variación en la intensidad del trabajo manual.

Además, que Marx y Engels utilicen un concepto que incluye como uno de sus factores la mayor destrucción de combustibles fósiles, no significa que consideren esta destrucción como algo positivo. En otras palabras, que hablen de desarrollo de las fuerzas productivas no significa que consideren que todos los factores que intervienen en este desarrollo sean positivos. Aún más, contrariamente a un punto de vista bastante extendido, el concepto de

desarrollo de las fuerzas productivas no es positivo *per se* para Marx y Engels. Una primera pista al respecto, sin salirnos del "asunto Podolinsky", la encontramos en el detalle de que Engels señale que Podolinsky no diferencia entre flujo y *stock*, entre uso de energía presente y uso de energía acumulada y *agotable*.

Marx deja más clara su opinión al respecto, en otra parte, en concreto en el libro I de *El Capital*, capítulo XIII, apartado 10. *Gran industria y agricultura*. Nos permitimos de nuevo una larga cita porque en el primer párrafo Marx usa el concepto de metabolismo, asociado a las relaciones de las personas con la naturaleza, es decir en el sentido moderno de "metabolismo social", y que sepamos es la primera persona en hacerlo:

Con el predominio cada vez mayor de la población urbana, concentrada en grandes centros, la producción capitalista acumula, de un lado, la fuerza histórica motriz de la sociedad, mientras que de otra parte *perturba el metabolismo entre el hombre y la tierra*, es decir, el retorno a la tierra de los elementos de ésta consumidos por el hombre en forma de alimento y de vestidos, o sea, la condición natural eterna de la fecundidad permanente del suelo. (Marx 2000: Libro I, Tomo II, 250. Subrayado nuestro.)

Tras mencionar la concentración de las fuerzas productivas en las ciudades, describe la fractura metabólica que esto supone con respecto a la fertilidad de la tierra. Es decir que afirma que el ciclo de materiales queda roto debido a la acumulación y concentración de los medios de producción. Marx continúa afirmando que la agricultura capitalista no es sólo el progreso en el arte de esquilmar al obrero, sino *también* a la tierra.

Al igual que en la industria moderna, en la agricultura moderna la *intensificación de la fuerza productiva y la mayor movilización del trabajo se compran a costa de devastar y agotar la misma fuerza de trabajo*. Y todo progreso de la agricultura capitalista no es sólo un progreso en el arte de esquilmar al obrero *sino también en el arte de esquilmar la tierra*, y cada paso que se da en el incremento de su fertilidad dentro de un periodo de tiempo determinado, supone a la vez un avance en la ruina de las fuentes permanentes de esta fertilidad. (Marx 2000: Libro I, Tomo II, 251. Subrayado nuestro.)

Finalmente, para Marx, el desarrollo de las fuerzas productivas (tomadas en su momento histórico de la producción capitalista), destruye las fuentes originales de toda riqueza: la tierra y las personas.

La producción capitalista sólo desarrolla, por tanto, la técnica y la combinación del proceso social de producción al tiempo que socava las fuentes originarias de toda riqueza: la tierra y el trabajador. (Marx 2000: Libro I, Tomo II, 251)

En el año 2000 John Bellamy Foster llevó a cabo una lectura ecológica del pensamiento de Marx que sin duda ayudó a Martínez Alier a modificar sus opiniones al respecto. En 2003 Martínez Alier se hace eco de esta lectura ecológica de Foster y afirma que "Marx era más *verde* de lo se piensa comúnmente". También se hace eco de la adopción por parte de Marx del término "metabolismo" aplicado a las relaciones entre las personas y la

naturaleza, tanto en algunas notas de finales de la década de 1850, como en el libro I de *El Capital*:

So, in conclusion, Marx was an historian and a economist, he was also a student of agriculture, and he read on the physiology of plants and animals and on agricultural chemistry, adopting the notion of metabolism between humans and Nature. (2003: 4)

La crítica de Martínez Alier al pensamiento anti-ecológico de Marx, basada en la separación que éste había llevado a cabo, supuestamente, entre economía y naturaleza, pierde *desde entonces* gran parte de su fundamento. Queda reducida a que, en su descripción pionera de lo que actualmente se conoce como "metabolismo social", Marx no llevó a cabo cálculos del uso de materia y energía en la economía ("neither himself nor Marxist authors did calculations of the use of materials and energy in the economy", Martínez Alier, 2004: 1)

Semejante afirmación es muy poco sostenible, visto el estrecho seguimiento que ambos autores hacían sobre las estadísticas económicas nacionales e internacionales, por ejemplo en lo que respecta al carbón o al expolio europeo del guano americano. De hecho, no tuvo que pasar mucho tiempo para que Martínez Alier la corrigiera. Esta vez "Marx had shown much interest in the relations between the economy and the environment, particularly as regards capitalist agriculture". (2005-6: 2).

En cuanto al tema de los "cálculos" se muestra también un gran avance:

He wrote that the metabolic flow of materials between human society and Nature was mobilized by human labour except in primitive gathering societies. Tool development by humans was essential for the metabolism. Marx did not consider energy flow (unless he did so in unpublished writings). (2005-6:)

Aquí se admite ya que Marx había calculado flujos de materia. Y lo que es más importante, que el desarrollo de la técnica era un elemento esencial del metabolismo sociedad-naturaleza. Es decir, que por fin Martínez Alier se decide a utilizar adecuadamente el concepto de Marx de "development of the productive forces", sólo que lo reduce a "tool development", dejando fuera factores no técnicos o tecnológicos, como la intensidad u organización del trabajo.

La crítica queda reducida, entonces, a que Marx no consideró los flujos energéticos. Esta postura es la mantenida, que sepamos, al menos hasta 2011. (Tanuro 2011: 229)

En cualquier caso, esta lectura ecológica del pensamiento de Marx ya había sido sugerida por René Passet, autor pionero en el campo de la Economía Ecológica, en 1979. Passet contraviene, desde una perspectiva frontal, la "opinión ortodoxa" sobre Marx y la naturaleza, titulando así uno de los epígrafes de su libro *Principios de bioeconomía*:

1. *Marx y Engels no separan la economía del conjunto de los fenómenos naturales.* La admirable correspondencia científica que intercambiaron revela

hasta qué punto sus posiciones divergen, al respecto, de las posiciones de la escuela clásica.

Lo que no deja de admirarnos a nosotros es que, en este tema de las relaciones del pensamiento de Marx con la naturaleza, la primera opinión de Martínez Alier y Naredo se haya extendido hasta convertirse en la "opinión ortodoxa". Y más teniendo en cuenta que una *simple* lectura atenta de la obra capital de Marx ofrece pruebas tan concluyentes en sentido contrario.

10.Podolinsky y la teoría del valor.

Podolinsky basó su intento de relacionar la física y la economía en la propuesta de una nueva teoría del valor. Para ello, tomó la teoría del valor-trabajo de Marx, y en base a esta definió el trabajo como acumulación de energía disponible para las personas, y el trabajo negativo como todo lo contrario.

(Suele ser necesario, cuando se habla de la teoría del valor de Marx, insistir en que Marx estaba *describiendo* una realidad, no *prescribiéndola*, así que lo hacemos y continuamos.)

Alienada respecto a la propiedad de los medios de producción, la proletaria (hablemos por una vez en femenino) no tiene más remedio que vender su fuerza de trabajo a la capitalista. Ésta la pone a trabajar y se apropia, tanto del resultado de la combinación del trabajo de ésta con la materia y la energía (=producto, valor de uso), como del resultado de la venta del producto en el mercado (dinero, valor de cambio). La "recompensa" de la proletaria es siempre una cantidad de dinero menor que la producida con su trabajo, ya que la diferencia es la plusvalía o ganancia de la capitalista. Es decir, que el plustrabajo de la proletaria se convierte en plusvalía en el mercado.

El análisis de Podolinsky toma la teoría del valor trabajo de Marx únicamente en su versión de creación de valores de uso, producción, o, como él propone, aumento o disminución de la energía disponible en la Tierra.

La aplicación de la termodinámica a la teoría del valor trabajo de Marx, en su dualidad valor de uso y valor de cambio, ofrece resultados aterradores:

Todo el monto del plustrabajo/plusvalía mundial puede ser considerado, desde este punto de vista, como la expresión monetaria de las ingentes cantidades de energía muscular y psíquica robada gracias a unas relaciones de producción que son relaciones de explotación. Y esta explotación, expolio y robo de energía humana están basados, a su vez, en la malversación de la energía acumulada en la naturaleza desde época inmemorial. Es decir que en términos energéticos, y parafraseando a Marx, las relaciones de producción capitalistas no son sólo "el arte de esquilmar la tierra, sino también en el arte de esquilmar al obrero".

BIBLIOGRAFÍA

Burkett, Paul; Foster, John. B. (2004): Ecological Economics and Classical Marxism: The «Podolinsky Business» Reconsidered. *Organization and Environment*, 17, 1, pp 32-60.

-(2006): Metabolism, energy and entropy in Marx's critique of political economy: Beyond the Podolinsky myth. *Theory and Society*, 35, pp 109-156.

-(2008): The Podolinsky Myth: An Obituary Introduction to 'Human Labour and Unity of Force', by Sergei Podolinsky. *Historical Materialism*, 16, pp 115-161.

Foster, John. B. (2000): *La Ecología de Marx. Materialismo y naturaleza. El Viejo Topo*.

Martínez Alier, Joan. (1994): *De la Economía Ecológica al Ecologismo Popular*. Barcelona, Icaria.

-(1999): *Introducción a la economía ecológica*. Barcelona, Rubes.

-(2003): Marxism, Social Metabolism, and Ecologically Unequal Exchange. (draft 30/08/03). Universidad de Lund, Suecia, World Systems Theory and the Environment, 19-22 Sept. 2003.

-(2004): Metabolic Profiles Of Countries And Ecological Distribution Conflicts. United Nations University, Tokyo, 25 Nov., y IEG, University of Delhi, 7 Dec. 2004

-(2005-6): Social Metabolism And Ecological Distribution Conflicts. Australian New Zealand Society for Ecological Economics, Massey University, Palmerston North, 11-13 Dic. 2005. Queen Elizabeth House & Wolfson College, Oxford, 17-19 Febr. 2006.

Martínez Alier, Joan (ed) (1995): *Los principios de la Economía Ecológica. Textos de P. Geddes, S. A. Podolinsky y F. Soddy*. Madrid, Fundación Argentaria-Visor Ediciones.

Martínez Alier, Joan; Naredo, José Manuel (1979): La noción de las «fuerzas productivas» y la cuestión de la energía. En *Cuadernos de Ruedo Ibérico* 63-66, «Energía, Política, Información», pp 71-90. Barcelona, Editorial Ruedo Ibérico.

Marx, Karl. (2000): *El Capital*. Madrid, Akal.

Marx, Karl; Engels, Friedrich (sin fecha): *Obras escogidas*. Moscú, Progreso.

Naredo, José Manuel (2003): *La economía en evolución. Historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico*. Madrid, Siglo XXI.

-(2006): *Raíces económicas del deterioro ecológico y social. Más allá de los dogmas*. Madrid, Siglo XXI.

Passet, René. (1996): *Principios de bioeconomía*. Madrid, Fundación Argentaria-Visor Ediciones.

Rodríguez de Austria, Alfonso (2012): Recensión del libro: *El imposible capitalismo verde. Del vuelco climático capitalista a la alternativa ecosocialista*, Daniel Tanuro. *Revista de Economía Crítica*, 14, pp 373-384.



XIV JORNADAS DE ECONOMÍA CRÍTICA

Perspectivas económicas alternativas

Valladolid, 4 y 5 de septiembre de 2014

Los procesos de aprendizaje desde el capital natural y la contribución de la naturaleza al proceso de innovación

Álvaro Pío Gómez Olaya

Universidad del Valle, Cali – Colombia

LOS PROCESOS DE APRENDIZAJE DESDE EL CAPITAL NATURAL Y LA CONTRIBUCIÓN DE LA NATURALEZA AL PROCESO DE INNOVACIÓN

Álvaro Pío Gómez Olaya¹

Resumen

En esta comunicación, se plantea que existe un hecho económico fundamental que no ha sido suficientemente analizado en el ámbito del Desarrollo Sostenible: la relación entre el capital natural y el proceso de innovación, a través de la producción de tecnologías, bienes y servicios de origen natural aprovechados por el sistema económico. El capital natural es una valiosa (y en muchos casos, imprescindible) fuente de información y conocimientos de naturaleza tecnológica que han sido aprovechados por el sistema económico a través de procesos de aprendizaje.

Es necesario plantear de manera diferente la contribución de los ecosistemas naturales, al ser considerados como fuente de innovación tecnológica, y ello implica asumir que los ecosistemas son “agentes” susceptibles de contribuir, inspirar, o producir innovaciones tecnológicas, lo cual constituye un aporte de la naturaleza al proceso humano de innovación el cual debe ser considerado de manera apropiada en los marcos explicativos de la disciplina económica, pues el no reconocimiento de esta propiedad básica del capital natural implica una subestimación tanto de los beneficios asociados a la utilización de las tecnologías naturales, como de los costos derivados de la destrucción de los ecosistemas, y con ello de sus posibilidades de ofrecer soluciones tecnológicas.

La comunicación plantea una reflexión que tiene contrapartidas tanto en el plano teórico (problemas de especificación en los modelos de Desarrollo Sostenible) como en el plano de la política económica (¿Qué tipo de políticas económicas, instrumentos, incentivos son apropiados para mantener los procesos de innovación natural?).

El texto se divide en 3 apartados. El primero aborda el análisis de la relación existente entre las tecnologías naturales y las tecnologías humanas, desde el punto de vista de la economía y de otras disciplinas. En el segundo se clasifican las tecnologías humanas basadas en la naturaleza en tres tipos de procesos de aprendizaje: bioinspiración, biomimética y bioutilización. En el tercero se plantean conceptos útiles en la construcción de una comprensión adecuada del proceso de aprendizaje desde el capital natural: La teoría de los sistemas de innovación, los aportes pioneros de Kenneth Boulding y una revisión del concepto de “funciones ecosistémicas”, son propuestos como elementos pertinentes para dar cuenta del proceso de aprendizaje desde el

¹ Profesor Universidad del Valle, Cali – Colombia. Vice-Decano Académico Facultad de Ciencias de la Administración – Estudiante de Doctorado Departamento de Economía Aplicada III – Universidad Complutense de Madrid. Correo electrónico: alvaropiogomez@gmail.com

capital natural que se genera a través de la interacción entre las tecnologías naturales y las humanas.

Palabras clave: Desarrollo Sostenible - Capital Natural - Servicios Ecosistémicos. - Innovación.

Clasificación JEL: Q2 Recursos Renovables y Conservación; Medio Ambiente

1. Tecnologías naturales e innovación humana

En la actualidad existe una intensa reflexión alrededor de la importancia que tiene la naturaleza como fuente de innovación humana, en disciplinas científicas tales como la física, la ingeniería, la biomecánica, la biología, la química (entre otras) la cual no tiene –aún- contrapartida al interior de la disciplina económica.

Dicha reflexión tiene como motivación esencial el análisis de tecnologías, bienes y servicios que tiene como factor común el uso de la naturaleza como fuente de inspiración, como referente para el diseño, o como insumo tecnológico: desde productos y tecnologías ampliamente conocidos tales como el Velcro®, o el aeroplano moderno, pasando por el tren bala japonés Shinkansen, la Pintura Lotusan®, el sistema de embalaje biodegradable a base de hongos Mycobond®, un conjunto de medicamentos como Zocor® (Simvastatina, Medicamento para el control del colesterol), Byetta® (Medicamento inyectable para el control de diabetes mellitus tipo 2), o el Agente Anticancerígeno Yondelis® (Trabectedina). Estas tecnologías han impactado áreas tales como la generación de energía (las Turbinas de viento Whalepower®), la arquitectura (el Edificio Eastgate Centre en Harare-Zimbawe o la arquitectura de Gaudí), entre muchos otros, los cuales han sido reseñados en diversos estudios en los que se presentan y describen las tecnologías humanas basadas en tecnologías naturales correspondientes a una gran diversidad de campos tales como la robótica, la nanotecnología, la medicina, los nuevos materiales, la microelectrónica, la arquitectura, la biomecánica, la bioremediación, los biopolímeros, la cibernética, la inteligencia artificial (Bar-Cohen 2006, National Academy of Engineering 2007, Bhushan 2009, Von Gleich et al 2009, Carpi y Brebbia 2010, Martin 2011, Reed et al 2009; entre otros).

Este proceso de interdependencia entre tecnologías existentes en la naturaleza y tecnologías humanas consiste, básicamente, en la transferencia de información, principios naturales, o materiales, para crear productos, servicios o tecnologías, aprovechando la capacidad que tienen los sistemas biológicos, los ecosistemas, de llevar a cabo funciones muy complejas con resultados óptimos. El estudio sistemático del funcionamiento de estos sistemas biológicos por parte de científicos en distintas disciplinas y de las posibilidades de adaptación de ideas, principios y características que rigen las tecnologías naturales, ha dado origen a un vasto conjunto de bienes, servicios y

tecnologías basadas en la naturaleza como modelo o fuente de innovación. La interacción entre tecnologías provenientes de la naturaleza y los procesos productivos ha recibido, en general, la denominación de “biomimética”, como campo de carácter amplio que incluye diversas denominaciones relacionadas (bioinspiración, biomimesis, biónica, entre otras). Como campo de investigación, la biomimética está experimentando un auge representado por su rápido crecimiento en las últimas décadas. El análisis bibliométrico de Lepora et al (2013) muestra que esta área de investigación ha duplicado su tamaño cada 2-3 años desde mediados de los noventa y ha producido casi 3000 publicaciones por año. Adicionalmente, el aporte a la innovación tecnológica de la biomimética también es creciente: la revisión hecha por Bonser (2006) de las patentes de la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos en el periodo de 1985 a 2005 encontró que el número de patentes que se basan en fundamentos biomiméticos ha crecido, en términos proporcionales, más rápido que el número total de patentes. En la misma línea, el estudio de Von Gleich et al. (2009: 117) muestra que a los países que lideran las aplicaciones de patentes en este campo son los Estados Unidos de Norteamérica, Japón, China y Alemania.

Las innovaciones humanas (bienes, servicios y tecnologías) que se basan en la transferencia de ideas, procesos, estrategias, materiales, tecnologías provenientes de los sistemas biológicos, se producen a través de diferentes tipos de procedimientos, que pueden asumirse como modalidades diferentes de apropiación humana (bioinspiración, biomimética, bioextracción, bioderivación, bio -asistencia, entre otros) sobre los cuáles surgen algunos interrogantes relevantes. En tal sentido, vale la pena preguntarse acerca de la diferenciación entre estas modalidades, lo cual nos conduce a la necesidad de contar con definiciones precisas y una delimitación que permita comprender los diversos grados de dependencia que las tecnologías humanas tienen respecto de las tecnologías naturales.

Respecto de las definiciones precisas, aparecen con el aporte de Otto Schmitt en el año de 1969, quien acuñó el término biomimética integrando los conceptos de “bios”, que significa vida, y “mimesis”, que significa imitar (Schmitt 1969), y continúan con una larga lista de aportes, de los cuales se reseñan algunos de los más relevantes con fines de permitir una comparación, en la tabla 1. En ella, se puede constatar la equivalencia entre las nociones de biónica y biomimética y la gran similitud de éstos con las definiciones correspondientes a la bioinspiración.

Las dificultades que entrañan los intentos de diferenciación clara entre los conceptos de bioinspiración, biomimética y los demás conceptos relacionados, se reflejan con precisión por Hanks y Swiegers:

“La distinción entre la biomimética y la bioinspiración no es, sin embargo, tajante. Existen muchos tonos de solapamiento entre estos dos conceptos. Por ejemplo, una imitación deliberada y sistemática de las técnicas empleadas por la naturaleza dentro de los sistemas que están muy lejos de la naturaleza puede ser considerada ya sea biomimética o bioinspiración... la distinción formal entre la biomimética y LA bioinspiración por lo tanto, pueden estar difuminadas y llegar a ser difícil de separar” (Hank y Swiegers 2012: 2).

Las motivaciones para la unificación de éstos conceptos han sido expuestas por autores como Vincent et al (2006), Lepora et al (2013), Rawlings et al (2012) y Drack y Gebeshuber (2013). Algunas de las modalidades estrechamente relacionadas con la biomimética suelen solaparse y pueden ser fácilmente confundidas, especialmente cuando se abordan las innovaciones relacionadas con el aprovechamiento de individuos, poblaciones, materiales, principios activos y sustancias naturales (relacionados al final de la tabla 1) con las nociones de bioderivación, bioadaptación, bioasistencia, bioextracción y bioutilización. El campo más comprehensivo, más amplio, es el de la bioinspiración, la cual consiste en obtener influencia o información desde fuentes naturales para crear bienes, servicios, tecnologías, procesos; tal vez es el más difícil de definir con precisión puesto que tiene una superposición muy amplia con la biomimética. Algunos autores señalan que la amplitud de la definición del concepto, indicaría que la biomimética estaría incluida en el concepto más general de bioinspiración, con lo cual la biomimética sería un caso especial de la bioinspiración en el sentido de que el desarrollo de todo producto biomimético (transferencia) requiere previamente de un proceso de bioinspiración (influencia, información). De otra parte, la bioutilización, la cual consiste –para efectos de este trabajo– en el aprovechamiento de un componente natural (dicho componente natural puede consistir en una molécula, una sustancia, un material, un organismo o población, o una función ecosistémica) con el propósito de integrarlo de manera funcional en una tecnología, bien o servicio desarrollado por los humanos, puede agrupar las nociones de bioderivación, bioadaptación, bioasistencia y bioextracción, puesto que cada uno de éstos representa una forma específica de incorporación de un elemento natural en bienes, servicios o tecnologías humanas.

Tabla 1. Biomimética, bioinspiración, bioutilización y definiciones relacionadas.

Autor(es) / Año	Definición (Fuente)
J. E. Steele / 1958–60	"La biónica explora sistemas cuyas funciones son modeladas a partir de los sistemas naturales, o cuyas propiedades se asemejan a las de los sistemas naturales, o son análogas a ellos " (Gérardin 1972: 11)
L. P. Kraismet / 1967 [publicación inicial 1962]	"La biónica es, pues, la ciencia que investiga los procesos y métodos biológicos con el propósito de aplicar los resultados al mejoramiento de las máquinas y sistemas antiguos para crear máquinas y sistemas más novedosos. También podría decir que se trata de la ciencia de los sistemas que demuestran características similares a las de los organismos vivos". (Kraismet 1967: 12)
J. F. V. Vincent et al. / 2006	"La biomimética (la cual debe entenderse como sinónimo de "biomimesis", "Biomimetismo", "biónica", "biognosis", "diseño inspirado biológicamente", y palabras o frases similares que implican la copia, adaptación o derivación desde la biología) es un estudio relativamente reciente dedicado al uso práctico de mecanismos y funciones de la ciencia biológica en la ingeniería, el diseño, la química, la electrónica, entre otras". (Vincent et al. 2006: 471)
Y. Bar-Cohen / 2006	"La biomimética es el término para designar al campo de estudio que involucra copiar, imitar y aprender de la biología ... el término biomimética en sí mismo se deriva de bios, que significa vida, y mimesis, que significa imitar. Esta nueva ciencia representa el estudio y la imitación de los métodos, diseños y procesos de la naturaleza". (Bar-Cohen 2006: 2)
Benyus/1998	"La biomimesis [biomimicry] (de bios, que significa vida, y mimesis, es decir, imitar) es una nueva ciencia que estudia la mejores ideas de la naturaleza y luego imita estos diseños y/o procesos para resolver problemas humanos. (Benyus 1998: 2)

Hank y Swieger /2012	"La bioinspiración se describe como la comprensión de los aspectos fundamentales de alguna actividad biológica para reconstruirla de otra manera". (Hank y Swieger 2012: 2)
Committee on Biomolecular Materials and Processes, National Research Council / 2009	"el conocimiento de que una tarea puede ser realizada por un sistema vivo, puede inspirar a los científicos a desarrollar un sistema sintético que lleve a cabo la misma función, incluso si el sistema utiliza un esquema sintético bastante diferente del empleado por el sistema biológico." (Committee on Biomolecular Materials and Processes, National Research Council 2008: 19)
Rawlings et al /2012	"La bioinspiración consiste en obtener influencia o información de lo natural para crear procesos o productos" (Rawlings et al 2012: 6676)
Hank y Swieger /2012	"... denominaremos bioutilización al uso directo de materiales naturales; nos referiremos a la bioextracción cuando el componente natural de interés es cosechado y diluido para propósitos humanos, tal como ocurre con los productos naturales que son usados en productos farmacéuticos... Los materiales bioderivados son el resultado de la modificación de la oferta de la naturaleza para proporcionar un desempeño mejorado". (Hank y Swieger 2012: 5)
Harrington/ 2012	"La Bio-adaptación consiste en alinear el propósito fundamental de un organismo para satisfacer una necesidad real de las personas en este planeta. La agricultura es un ejemplo de Bio-adaptación". (Hummels 2012:116)
Committee on Biomolecular Materials and Processes, National Research Council / 2010	" Bioderivación . Esta estrategia implica el uso de un biomaterial existente junto con un material artificial para crear un híbrido. Un ejemplo destacado es la incorporación de proteínas de origen biológico en conjuntos poliméricos para la entrega de fármacos." (Committee on Biomolecular Materials and Processes, National Research Council 2008: 19)
Benyus/2006	"El aprovechamiento a través de la adaptación se refiere a la domesticación del productor. La domesticación de organismos para que nos ayuden en el desarrollo de productos también se conoce como " Bio-Asistencia " (The natural Edge Project 2007: 83)

Fuente. Elaboración del autor basada en Von Gleich et al (2009)

En lo que respecta a la disciplina económica, el proceso de transferencia de tecnologías o conocimientos útiles para mejorar la productividad y la innovación ha sido abordado por el historiador de la tecnología y la innovación George Basalla, quien propone como punto de partida el hecho evolutivo de que existen artefactos -un producto humano- cuyos antecesores no fueron fabricados por otro ser humano, a los cuales denomina "Naturfactos", en referencia a bienes económicos originados en tecnologías naturales, las cuales sirven de antecesor evolutivo, de referente a bienes y tecnologías humanas:

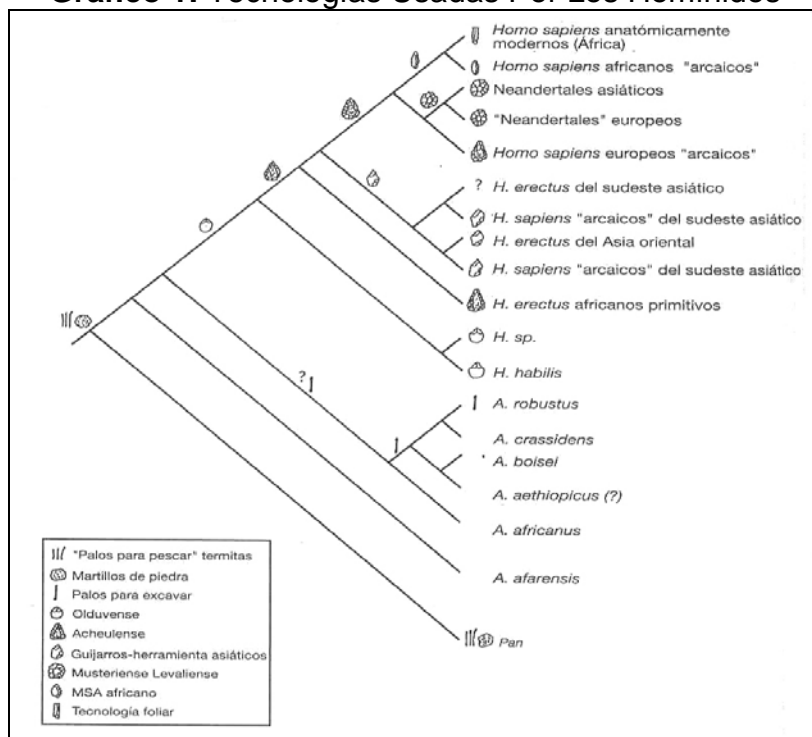
"Suponiendo que cada nuevo artefacto se basa en cierta medida en un artefacto anterior afín, debemos afrontar la cuestión del origen de la primera cosa creada. ¿Cuál fue su modelo? Aunque no había artefactos anteriores por entonces, una multitud de *naturfactos* pudieron servir de modelo para iniciar el proceso de evolución tecnológica..." (Basalla 1991:73).

El propio Basalla aporta ejemplos de tecnologías con origen orgánico, como por ejemplo la alambrada, cuyo origen es el deliberado intento de copiar una forma orgánica que funcionara eficazmente como repelente del ganado. Dada la pertinencia, se sugiere la adopción del concepto "naturfacto" como representativo del conjunto de bienes, servicios y tecnologías derivadas de las

interacciones entre las tecnologías humanas y las tecnologías naturales, del proceso que denominamos “aprendizaje desde el capital natural”, como una aproximación válida, desde el punto de vista de la disciplina económica, hacia las tres modalidades en las que (según las disciplinas señaladas antes) se produce el proceso (bioinspiración, biomimética, bioutilización).

Acerca del origen histórico de los naturfactos, es importante señalar que su éste se remonta –incluso- a la prehistoria. Tal y como lo muestra Lewin (1994) el uso de tecnologías que emplean elementos naturales adaptados para ser aprovechados en tareas específicas se remonta hasta las especies de homínidos precursores del homo sapiens sapiens, como lo muestra el gráfico 1 en el que se presentan algunas de las tecnologías empleadas por los homínidos prehistóricos, lo cual indica claramente que el aprovechamiento humano de las tecnologías naturales, para la producción de naturfactos, que ha permitido al ser humano obtener beneficios de los avances tecnológicos naturales, ha acompañado a los seres humanos durante todo el devenir de su desarrollo económico y tecnológico, contribuyendo a mejorar nuestro desempeño tecnológico a partir de la adopción de técnicas existentes en la naturaleza. Las aproximaciones al proceso de aprendizaje desde el capital natural tanto desde el punto de vista de la economía, como de las demás disciplinas señaladas en este texto, muestran que existe una conexión verificable entre los productos generados en la naturaleza y los artefactos o productos fabricados por los seres humanos. Esencialmente, la tecnología humana ha tomado prestadas ideas técnicas y herramientas directamente de la naturaleza; y una manera apropiada de entenderlo podría ser la de asumir que el capital natural posee la capacidad de producir bienes, servicios y tecnologías que son transformadas mediante las formas de capital producidas por los humanos (capital físico, capital humano, etc.).

Gráfico 1: Tecnologías Usadas Por Los Homínidos



Fuente: Lewin (1994)

En cuanto a la definición de la noción de “tecnologías naturales” o “artefactos naturales”, es pertinente la referencia al artefacto como unidad de análisis tecnológico básica, el cual es definido por Basalla de la siguiente manera:

"En cada momento, la tecnología está íntimamente ligada a lo físico y lo material; los artefactos son tanto el medio como el fin de la tecnología. El objeto físico tridimensional es tanto una expresión de la tecnología como una pintura o una escultura expresión de las artes visuales. El artefacto es un producto del intelecto y la imaginación humana y, como con cualquier obra de arte, nunca puede sustituirse plenamente por una descripción verbal." (Basalla 1991: 51).

Puesto que el artefacto, se define a partir de tres propiedades (en primer lugar, es un objeto físico; en segundo lugar, es producido por los humanos, y en tercer lugar, se produce empleando recursos como el intelecto y la imaginación, además de los materiales necesarios), podríamos definir a las tecnologías naturales, por analogía, como el conjunto de elementos provenientes de los ecosistemas naturales, que son producidos por “agentes naturales”, empleando recursos propios de éstos agentes naturales, los cuáles –en principio- deben suponerse diferentes de los recursos empleados por los agentes humanos (intelecto e imaginación). Una diferencia esencial entre las tecnologías humanas y las naturales es el carácter teleológico y el comportamiento consciente de las creaciones humanas, dos características –en general- no imputables a la naturaleza.

Además de contar con una definición, es necesario abordar el problema del grado de dependencia existente entre los artefactos naturales y los naturfactos, puesto que el reconocimiento de la existencia de los naturfactos y su importancia en el proceso de innovación no implica que la dependencia de los inventos humanos respecto de las tecnologías naturales esté fuera de discusión. En tal sentido, debe resaltarse la posición de Steven Vogel, según la cual las tecnologías naturales y las tecnologías humanas son esencialmente diferentes desde el punto de vista técnico, lo que llevaría a concluir que la producción de inventos o innovaciones en el ámbito humano no guarda una relación de dependencia frente a las tecnologías naturales. Aun reconociendo que existen ejemplos exitosos de tecnologías basadas o inspiradas en la naturaleza (en campos tales como la nanotecnología, los Análogos musculares, los materiales compuestos, materiales inteligentes, robots manipuladores, vehículos que caminan, entre otras) las posibilidades de copiar, imitar y emular a la naturaleza son limitadas:

“La (tecnología de la) naturaleza es esencialmente minúscula, húmeda, no metálica, sin ruedas y flexible. La tecnología humana es principalmente todo lo contrario: grande, seca, metálica, con ruedas y rígida. Allí donde una tecnología opera en lo que normalmente es el dominio de la otra, la emulación es prometedora” (Vogel 2000: 301).

2. Bioinspiración, biomimética y bioutilización: los tres tipos de aprendizaje desde el capital natural

En este apartado se analiza el proceso de aprendizaje desde el capital natural en dos niveles: en primer lugar, a partir de cuatro ejemplos de naturfactos correspondientes a procesos de bioinspiración, biomimética y bioutilización, para finalmente ilustrar un caso de superposición entre los tres. En segundo lugar, se presenta un diagrama de Venn que permite la clasificación de los naturfactos, separando aquellos casos en los que se asocian a un tipo de aprendizaje, de aquellos en los que se solapan dos o tres modalidades. La tabla 2 resume el método de análisis empleado, el cual incluye la revisión documental y la verificación del origen de cada producto, servicio o tecnología basado en un referente natural en la patente correspondiente, las evaluaciones técnicas realizadas por autores diferentes al inventor, innovador o empresa, la declaración personal realizada por el inventor, innovador o la empresa creadora, al igual que la publicidad disponible acerca del producto (adicionalmente se ha documentado cada ejemplo con imágenes y videos).

Tabla 2.

FUENTE DOCUMENTAL	DESCRIPCIÓN	ACTOR
PATENTE	Derecho de Propiedad Intelectual	Inventor
ANÁLISIS TÉCNICO	Artículo-Libro Publicación Científica-Página Web científica o analítica	Inventor, Creador, Autor, Analistas, Críticos.
DECLARACIÓN PERSONAL	Entrevista, Página Web, Artículo de Prensa, Publicación Científica	Inventor, Creador, Autor.
PRENSA – MEDIOS DE COMUNICACIÓN	Artículo de prensa	Inventor, Creador, Autor, Analistas, Divulgadores.
PUBLICIDAD	Página Web (Empresa, grupo de investigación, Creador, inventor)	Inventor, Creador, Autor, Analistas.
VIDEO	Película (en diversos formatos)	Inventor, Creador, Autor, Empresa

Fuente. Elaboración del autor

Este ejercicio está basado en el análisis de más de cincuenta naturfactos, los cuales se encuentran listados en la tabla 3, en la cual se especifican para cada caso: el producto, servicio o tecnología, la empresa que la ofrece en el mercado, el innovador y/o inventor correspondiente, una descripción de la tecnología y el aprendizaje específico desde el capital natural del cual se benefició.

Tabla 3. Tecnologías basadas en el aprendizaje desde el capital natural

Producto - servicio - tecnología	Empresa - Innovador - Inventor	Descripción de la tecnología	Aprendizaje desde el capital natural
Baleen Filters	Baleen Filters	Sistema de filtración de agua	Filtración de agua por medio de las barbas en algunas especies de ballenas.
Eucerin AQUAporin	Beiesdorf	Crema hidratante para la piel	Uso de las acuaporinas (sustancias encargadas de transportar el agua a través de las membranas)

			celulares).
Joinlox	Joinlock Pty. Ltd.	Método para sellar mecánicamente piezas, materiales, estructuras entre sí	Adherencia de las almejas y otras conchas marinas a las rocas
PAX Scientific	PAX Scientific	Mezcladores, ventiladores, turbinas para equipos industriales	Movimiento en espiral observados en los fluidos naturales
Platelet Technology™ leak sealer	Brinker	Material para sellar de fugas	Detección y control del sangrado en una herida por medio de las plaquetas (trombocitos).
Aeroplano	Otto Lilienthal y Hermanos Wright	Vehículo capaz de navegar por el aire, provisto de alas fijas e impulsado por uno o más motores	Vuelo de las aves
REGEN Energy Management Solution	REGEN Energy	Controladores para optimizar el uso de electricidad	Comunicación y coordinación de los enjambres de abejas "la lógica del enjambre".
Solar Sailor	SolarSailor	Paneles solares para vehículos marinos	Captación de radiación solar a través de las alas por parte de algunas especies de insectos (libélula).
Speedo Fastskin®	Speedo	Trajes de baño	Natación aerodinámica empleando dentículos dérmicos en la piel (tiburón).
Vitalis PET bottle	Logoplaste Innovation Lab	Botellas PET más resistentes y ligeras	Crecimiento en espiral de las fibras a lo largo del Pino de corteza blanca
Sierra para cortar madera	Joseph Buford Cox (Oregon)	Herramienta que sirve para cortar madera e incluso otros materiales	Forma (mandíbula) y función (corte de madera) de las larvas de los escarabajos (Ergates spiculatus)
BioStream	BioPower Systems Pty Ltd.	Generación de energía derivada de las corrientes marinas	Movimiento de la aleta en ciertas especies de peces (delfín, atún, tiburón entre otros)
Erlus lotus	Erlus	Tejas de arcilla autolimpiantes	Estructura de microrelieve de la hoja del loto sagrado
Eastgate Centre building	Arquitecto Mick Pearce en conjunto con Arup Associates	Centro comercial con refrigeración natural ubicado en Harare, Zimbabwe	Diseño de los montículos de las termitas africanas (Macrotermes michaelseni)
ORNILUX	Arnold Glas	Vidrio para reducir de la colisión de aves en las ventanas	Reflectancia de las telarañas de algunas especies de arañas
Lotusan Paint	Sto Corp	Recubrimiento de pintura autolimpiante	Estructura de microrelieve de la hoja del loto sagrado
Morphotex fibras	Teijin Fibers Limited	Fibras y tejidos de colores sin tintes químicos (sin pigmentos)	Cambio de color en las alas de la mariposa Morpho a partir de la estructura de sus alas
Shinkansen Train	Japan Railways Group	Tren de alta velocidad menos ruidoso	Diseño aerodinámico del pico del pájaro martin pescador (alcedo atthis) y vuelo silencioso de los búhos
Phillips Head Protection System	Phillips helmets	Cascos de protección con membrana de lubricación	Sistema de protección del cráneo humano utilizando membrana exterior como elemento reductor de daños
Vortex Generator	Watreco	Tecnología para purificación de agua	Estabilidad dinámica de la trucha cuando nada contra la corriente
Whalepower	WhalePower	Turbinas de viento con anatomía de aleta de ballena	Protuberancias en las aletas de las ballenas jorobadas
Velcro	Velcro USA Inc	Sistema de cierre y adhesión	Adherencia de los cardos Arctium
Biomatrica SampleMatrix®	Biomatrica®, Inc.	Almacenamiento y manipulación de muestras biológicas sin necesidad de refrigeración	Principio de anhidrobiosis o capacidad de vivir sin agua (artemia, y tardígrados)
Cinta de gecko	Universidad de Manchester	Cinta adhesiva	Fuerza de adhesión de las patas del gecko
Sycamore	Sycamore Technology	Ventilador de techo	Movimiento aerodinámico de la semilla del árbol del sicomoro al caer
Stabilitech vaccine stabilization technology	Stabilitech Ltd.	Almacenamiento y manipulación de vacunas y biofármacos sin necesidad de refrigeración	Principio de anhidrobiosis o capacidad de vivir sin agua (artemia, y tardígrados)
Norian SRS	Cement Norian	Cemento de secado rápido en huesos fracturado quirúrgicamente por inyección	Crecimiento de los esqueletos de los corales en la formación de arrecifes
VitRIS y HydRIS vaccine stabilization technologies	Nova Laboratories Ltd	Almacenamiento y manipulación de productos fármacos sin necesidad de refrigeración	Principio de anhidrobiosis o capacidad de vivir sin agua (artemia, y tardígrados)
La alambrada	Michael Kelly y Joseph Glidden	Estructura de alambre, normalmente de acero, destinada a delimitar terrenos, encerrar ganado, demarcar propiedades, entre otras	Forma y función de las espinas en las plantas (naranja de osage)
Aquaporin	Aquaporin	Membranas para filtración de agua	Uso de las acuaporinas (sustancias encargadas de transporte de agua a través de las membranas celulares).
Biolytix® water filter	Biolytix	Sistema compacto de tratamiento de aguas residuales	Descomposición de residuos a través de gusanos, escarabajos y organismos microscópicos
Biopolymers Nanochem	Biopolymers Nanochem	Polímeros biodegradables a base de proteínas solubles en agua.	Segregación y moldeado del carbonato de calcio por parte de las ostras como componente esencial de su caparazón.

Byetta® exenatide injection	Amylin Pharmaceuticals, Inc. and Lilly USA, LLC.	Medicamento inyectable para control la diabetes mellitus tipo 2 en adultos	Compuesto extraído de la saliva del monstruo de Gila (<i>Heloderma suspectum</i>)
Eco-Machine	Todd Ecological Design, Inc.	Sistema de tratamiento de aguas residuales	Uso de poblaciones de bacterias, hongos, plantas, etc; para degradar y digerir los contaminantes orgánicos del agua en un ambiente que replica el diseño de los humedales.
PureBond® technology	Columbia Forest Products	Pegamento de madera no utiliza formaldehído	Adherencia del mejillón a rocas
Biodome	Wastewater Compliance Systems, Inc.	Sistema de tratamiento de aguas residuales	Uso de bacterias y microbios simbióticos para degradar desechos
Primeras herramientas: hachas	Hominios desde periodo Olduvense (entre 1,5 y 2,5 millones de años)	Herramienta cortante	Uso de materiales naturales piedras, huesos y ramas.
Mycobond™	Ecovative Design	Material para embalaje	Uso del micelio del hongo <i>Basidiomycete</i> como polímero natural
Simvastatina (Zocor®)	Merck and Co	Fármacos para la reducción del colesterol (Estatinas)	Compuesto extraído del hongo <i>Aspergillus terreus</i>
Polinización	Agricultura comercial y no comercial	Proceso de transferencia del polen desde los estambres hasta el estigma haciendo posible la producción de semillas y frutos.	Aprovechamiento agrícola de los procesos ecosistémicos de polinización (abejorros, abejas, avispas, mariposas y polillas entre otros)
Control biológico de plagas	Periodo inicial desde el año 200 dC -1887 dC, Periodo intermedio año 1888-1956, Periodo moderno año 1957 hasta el presente	Uso de organismos vivos como depredadores naturales para reducir la densidad poblacional de otros organismos considerados como plagas	Uso de especies como depredadores naturales para controlar el tamaño poblacional de otras especies: hormiga <i>Oecophylla smaragdina</i> en China, mariquita <i>Rodolia Cardinalis</i> en California-Estados Unidos, Murciélago de cola suelta brasileño (<i>Tadarida brasiliensis</i>)
Taxol	Bristol Myers Squibb, Abraxis oncology, Sanofi-Aventis, Cell therapeutics entre otras	Fármaco anticancerígeno	Compuesto extraído del árbol tejo del Pacífico (<i>Taxus brevifolia</i>).
Aciclovir®, Zovirax®	Glaxo, Wellcome, Mylan y ARA Pharmaceutical Medical	Fármaco Antiviral contra los Herpes tipo 1 y 2, y la varicela-zóster.	Compuesto extraído de la esponja Marina <i>Cryptotethya crypta</i> (Caribe)
Cytarabine®	Pharmace & Upjon	Fármaco anticancerígeno	Compuesto extraído de la esponja Marina <i>Cryptotethya crypta</i> (Caribe)
Prialt®	Elan Pharmaceutical-Azur Pharma-Warner Lambert	Fármaco usado en el tratamiento del dolor crónico	Compuesto extraído del Caracol: <i>Conus geographicus</i> , <i>Conus magus</i> (MOLLUSCA)
Aequorin, BacMam Aequorin	Calcium Aequorin Imaging Lab, BacMam	Indicador Bioluminiscente del Calcio (Medición intracelular de Calcio)	Compuesto extraído de la medusa Bioluminiscente <i>Aequorea victoria</i>
Calyculin A	AG Scientific	Inhibidor potente de la fosfatasa utilizado en tratamientos contra el cáncer avanzado (leucemia), enfermedades neurodegenerativas, y la diabetes mellitus tipo 2.	Compuesto extraído de esponja marina <i>Discodermia calyx</i>
Formulaid®	Martek Biosciences, Columbia	Suplemento nutricional infantil que contiene ácidos grasos	Compuesto extraído de la microalga Marina (<i>Cryptocodinium cohnii</i>)
Resilience®	Estée Lauder	Compuesto anti-inflamatorio y de actividad analgésica (cremas para quemaduras, irritación, artritis)	Compuesto extraído de los gorgonáceos <i>Pseudopterogorgia elisabethae</i> (Coral blando-Caribe)
ProZyme®	OSMAN International Group S.A.	Proteína con aplicaciones biotecnológicas en industria de alimentos, inmunodiagnóstico, cosméticos, marcaje de las células, pruebas clínicas ELISA y citometría de flujo.	Compuesto extraído del Alga Roja
Trabectedina (Yondelis®)	PharmaMar	Fármaco anticancerígeno	Compuesto extraído de la Ascidia Tunicate <i>Ecteinascidia</i>
Vent®	New England Biolabs, Inc.	Utilizada en pruebas diagnósticas: detección de: virus (hepatitis B y C ó VIH), enfermedades (hemofilia A y B, la distrofia muscular y la fibrosis quística), riesgo de padecer enfermedades (diabetes tipo I y enfermedad celiaca), entre otras.	Compuesto extraído de la Arqueobacteria <i>Thermophilic</i> (<i>Thermus aquaticus</i> Taq, <i>Pyrococcus furiosus</i> , <i>Thermus thermophilus</i> , <i>Thermus flavus</i> , <i>Thermococcus litoralis</i> , and <i>Pyrococcus species</i> GB-D)

Fuente: Elaboración del autor

2.1 El aeroplano: la bioinspiración como fuente de innovación tecnológica humana

La influencia de las tecnologías naturales en el desarrollo de tecnologías e innovaciones humanas puede evidenciarse plenamente a través del análisis de la evolución del diseño del aeroplano moderno, el cual incluyó procesos de bioinspiración y biomimética en diversas etapas de su trayectoria. Anderson (2002: 28) señala que tanto la tecnología como el concepto moderno de aeroplano consisten esencialmente en una máquina con alas fijas, un fuselaje con cola y un mecanismo de propulsión separado. Los diseños iniciales de aeroplanos o de máquinas de volar, estuvieron inspirados en la observación sistemática del vuelo de los pájaros y en la idea de imitarlos. La historia de los diseños de máquinas voladoras se remonta cuando menos al siglo XV con los diseños elaborados por Leonardo Da Vinci en el año de 1490; con los cuales se creó la idea de un avión con alas batientes, que se sostiene y avanza gracias a que sus alas ejecutan movimientos parecidos a los de las aves, al cual se le conoce como Ornitóptero.

Un momento decisivo para la consolidación de la tecnología del aeroplano, se dio con realización del primer vuelo tripulado y sostenido en el aire, por parte de Otto Lilienthal en el año de 1891, como resultado de sus diseños, experimentos, pruebas y aportes técnicos a la aerodinámica. Este primer vuelo humano exitoso permitió comprobar que las alas curvadas eran superiores a las alas planas gracias a los datos e información recopilados por Lilienthal, quien contribuyó igualmente a la comprensión de la aerodinámica con los llamados “coeficientes aerodinámicos” o “tablas de Lilienthal”. La trayectoria de Lilienthal es una perfecta ilustración de los alcances que puede tener la inspiración ofrecida por la naturaleza cuando ésta se complementa con habilidades y conocimientos de naturaleza técnica. La obra maestra de Lilienthal “El vuelo de los pájaros como base de la aviación” publicada en el año 1889 es una evidencia de la relación entre los estudios científicos del inventor y su intento por comprender el funcionamiento del vuelo en las aves con el propósito explícito de transferir ese conocimiento adquirido al diseño de una tecnología humana de vuelo. De hecho, ese mismo año, produjo diseños derivados de estos estudios científicos que intentan replicar el vuelo de las aves, como queda evidenciado en sus modelos de ornitópteros. A manera de ejemplo, puede considerarse el diseño de un ornitóptero denominado “Seagull” basado en su detallado estudio de la gaviota. A través de un proceso de permanente retroalimentación entre sus datos, pruebas de vuelo y diseños produce -dos años después- el planeador “Derwitzer”.

El trabajo de Lilienthal es representativo de los dilemas que, con frecuencia, ha enfrentado el proceso de innovación: diseñó tecnologías de vuelo de alas batientes -ornitópteros- y también de alas fijas. En la actualidad, se asume que la tecnología más apropiada para el desarrollo del aeroplano fue la de alas fijas, pero –paradójicamente- a partir de su convicción personal y de sus estudios, este diseñador alemán sostuvo que los ornitópteros eran la tecnología más apropiada para el futuro de la aviación.

Históricamente, hasta este punto, es innegable que el surgimiento de la tecnología del aeroplano tiene un origen bioinspirado, ya que sin la observación

y estudio sistemático del vuelo de las aves no habría sido posible el desarrollo del aeroplano. Pero la discusión acerca de la consolidación definitiva de la tecnología del aeroplano moderno plantea el interrogante de si esta tecnología puede considerarse como propiamente biomimética o no. Por una parte, se encuentran autores que plantean que el aeroplano es un aparato bioinspirado pero que no constituye un ejercicio biomimético, entre ellos Vogel (2000), quien muestra que precisamente el diseño eficiente de ala fija, es la característica que hace que el vuelo del aeroplano moderno no sea una copia de la tecnología natural del vuelo de las aves, por lo que para este autor, el aeroplano es un aparato bioinspirado pero no un ejercicio biomimético. La consideración del caso de Lilienthal permite realizar algunos contrastes sobre ese punto de vista puesto que este inventor es uno de los pioneros de la tecnología de ala fija que es precisamente una solución claramente diferenciada del vuelo de ala batiente de las aves, y podría decirse por tanto, que con él comienza realmente la trayectoria tecnológica paralela, en la que los humanos no requieren de diseños biomiméticos para sus desarrollos tecnológicos.

Otros autores como Drack y Gebeshuber (2013) manifiestan que el trabajo de Lilienthal sirve como un buen ejemplo de biomimética, porque incluye aspectos como la abstracción, la transferencia, y la aplicación del conocimiento generado desde los modelos biológicos, a tal punto que lo consideran como representativo de la definición de biomimética² asumida por la Asociación de Ingenieros Alemanes "Verein Deutscher Ingenieure VDI".

Precisamente es esta discusión la que indica lo compleja que puede ser la distinción entre lo biomimético y lo bioinspirado, o la diferenciación entre las tecnologías biomiméticas y las que no lo son; puesto que es un hecho que los diseños exitosos de aeroplano a partir de los hermanos Wright no emplearon la tecnología de alas batientes de las aves, y con ello se establece una relación de bioinspiración entre la tecnología natural y la tecnología humana de vuelo; pero igualmente es cierto que el éxito de los hermanos Wright se debe en parte al uso de los coeficientes aerodinámicos contenidos en las tablas de Lilienthal, lo que indica una cierta transferencia de conocimiento derivado del diseño natural para la resolución de los desafíos técnicos que enfrentaban los diseñadores de areoplanos.

Por lo tanto, es indiscutible el origen bioinspirado de la tecnología humana de vuelo pero es discutible que se haya producido una plena relación biomimética con la tecnología natural. Los diseños posteriores de aeroplanos guardan una gran diferencia en términos de sus características técnicas frente al vuelo de las aves. Ello implica que deben reconocerse diferentes etapas del desarrollo de esta tecnología, iniciando con la bioinspiración (diseños de Da Vinci), continuando con la confluencia de la bioinspiración y la biomimética (Otto Lilienthal-hermanos Wright), pasando a una separación radical de las trayectorias tecnológicas (hermanos Wright y diseños posteriores), y finalmente con una etapa de biomimética deliberada en la que se intenta una transferencia sistemática de conocimientos tomados del vuelo de diversas especies

² Biónica (o biomimética) es la combinación de la cooperación interdisciplinar entre la biología y la tecnología con el objetivo de abstraer, transferir y aplicar del conocimiento obtenido de los modelos biológicos para resolver problemas técnicos (VDI 6220, Draft 2011).

naturales como pájaros, moscas, libélulas, entre otras. Además algunos científicos, desde el punto de vista de la biomimética deliberada, continuaron desarrollando la idea de Lilienthal de volar como lo hacen las aves (Park y Yoon 2008).

2.2 El “Eastgate Centre building”: Arquitectura e ingeniería humana como emulación de los nidos de termita

El Eastgate Centre es un edificio ubicado en la ciudad de Harare (Zimbabwe), utilizado como centro comercial desde el año de 1996. Fue diseñado por el arquitecto Mick Pearce y desarrollado con un equipo de ingenieros de la empresa Arup Associates. No es un edificio convencional, pues está diseñado para conseguir que la temperatura al interior de la construcción se mantenga estable mientras que la temperatura en el exterior fluctúa entre los 10° y los 42°c. El edificio tiene un sistema de refrigeración pasiva que consiste básicamente en almacenar calor en las horas del día y ventilar en la noche, cuando la temperatura se reduce. Desde el punto de vista del diseño arquitectónico, el desempeño alcanzado por el Eastgate Centre, en términos de control térmico, se consigue a través de un diseño adecuado de los sistemas de flujo de aire y de superficie que permiten la transferencia y almacenamiento del calor (Baird 2001: 169).

La idea de generar un sistema de refrigeración pasiva en la estructura del edificio se inspiró en la observación y estudio de los montículos de las termitas africanas (*Macrotermes michaelseni*) que autorregulan la temperatura al interior del nido. El arquitecto Pearce remonta su trayectoria de diseñador inspirado en la naturaleza a la influencia que ejerció en su pensamiento y en su obra el libro “Arquitectura sin arquitectos” de Bernard Rudofsky en los años sesenta, el cual lo llevó a plantearse la idea de que la arquitectura bioclimática eficiente debería derivarse de principios orgánicos más que de principios mecanicistas (Tzonis et al 2001: 48). Puntualmente, la idea de construir un edificio autorregulado surgió en la década de los noventa, cuando el arquitecto veía un documental³ mientras enfrentaba el desafío de construir un edificio que fuera energéticamente eficiente para vivir en un clima sub-tropical:

“Yo estaba viendo un documental de David Attenborough en la década de los 90 tomando un respiro de mi problema de diseño actual: ¿Cómo se diseña un edificio energéticamente eficiente en un clima sub-tropical, que también sea cómodo para vivir?... Attenborough estaba explicando cómo las termitas Nigerianas sobreviven en temperaturas extremas. Construyen sus casas - termiteros - para mantener la humedad y el calor” (Pearce 2013⁴).

Tras este proceso de bioinspiración, se inicia una etapa de retroalimentación de tres años entre los diseños arquitectónicos de Pearce y los desarrollos técnicos proporcionados por los ingenieros mecánicos de la empresa Ove Arup Association de Londres quienes hicieron viable el diseño mediante modelos computacionales que simulaban las condiciones de circulación del aire y

³ David Attenborough documental sobre las termitas https://www.youtube.com/watch?v=xGaT0B_2DM

⁴ David Parr es el editor de nuevos medios de la Organización Friends of Earth. Página Web: http://www.foe.co.uk/news/eastgate_centre_harare_termite_mound_41325

temperatura optimizando la sincronización de los ventiladores durante el día y la noche (Tzonis et al 2001: 49).

Esta tecnología exitosa de refrigeración que aprovecha los principios transferidos desde la naturaleza ha sido replicada: en el año 2001 se inauguró el Portcullis House un edificio de oficinas para miembros del parlamento y personal en Westminster Londres (Reino Unido), basado en el sistema utilizado en el edificio Eastgate, por medio de chimeneas como parte de un sistema de aire acondicionado sin alimentación para extraer el aire a través del edificio, aprovechando los flujos naturales.

El Eastgate Centre ha sido identificado como una muestra plena de aplicación biomimética por parte de diversos expertos. En los anales de la reunión número cuarenta de la Asociación Internacional para la Investigación del diseño Medio ambiental “Environmental Design Research Association EDRA” se señala:

“...una revisión más profunda revela que la forma del Eastgate surge de las necesidades de la vida diaria y está basada en el uso. La forma del edificio sirve para copiar los procesos naturales, no simplemente la estructura” (Environmental Design Research Association EDRA 2009: 43)

De otra parte, algunos analistas contemporáneos señalan que el edificio no reproduce el funcionamiento natural de los termiteros y por lo tanto no constituye un ejercicio propiamente biomimético; puesto que hasta el momento en el que se construyó el edificio se aplicaron los principios que se atribuían al funcionamiento de los termiteros pero los estudios más recientes acerca de su funcionamiento indican que el proceso de refrigeración del Eastgate Centre no constituye una reproducción del mecanismo de enfriamiento natural de los montículos. Tal es el planteamiento de un equipo de científicos Turner y Soar:

“Durante los últimos años, hemos estado estudiando la estructura y función de la termiteros que inspiraron a Mick Pearce. En el proceso, hemos aprendido muchas cosas, entre ellos algo muy notable: el Centro comercial Eastgate se inspira en una errónea concepción de cómo funcionan realmente los montículos de termitas. Esto no pretende ser una crítica, por supuesto: Pearce sólo estaba siguiendo las ideas dominantes de la época, y el resultado final: Es un edificio de éxito de todos modos” (Turner y Soar 2008: 1)

De ser cierto el argumento de estos autores, en el caso de la tecnología derivada de las termitas se presenta la paradoja de que un ejercicio biomimético exitoso puede pasar a ser considerado solo como un caso de bioinspiración debido a la obsolescencia del conocimiento científico que lo sustenta. Aun así las virtudes del diseño siguen siendo admirables, tal como lo admiten Turner y Soar (2008: 2) al manifestar que:

“lo que hace al Eastgate más resaltante es el hecho de que combina muchas características del diseño de los montículos de termitas, los cuales tiene gran diversidad estructural”.

Los modelos explicativos del funcionamiento del montículo de las termitas son dos: de una parte el modelo denominado “efecto termosifón” (Thermosiphon

Mecanismo) y de otra parte, el modelo denominado de “flujo inducido” conocido por parte de los arquitectos e ingenieros como “efecto chimenea” (Stack effect). Puesto que existen dos interpretaciones del funcionamiento de los montículos de las termitas; una convencional asociada a los efectos de ventilación tipo chimenea y otra contemporánea, que emplea como analogía un sistema pulmonar; la evaluación que se haga del carácter biomimético del Eastgate depende de cuál de estas dos interpretaciones se emplee para juzgarlo.

Siguiendo el análisis de Turner y Soar, el Eastgate Centre logra combinar esos dos modelos (Chimenea y Pulmonar), logrando de manera eficiente mantener una temperatura interior estable sin requerir una planta de aire acondicionado suplementaria. En ese sentido, el edificio Eastgate hasta el momento de su construcción efectivamente representa un ejercicio biomimético. Sin embargo, es necesario reconsiderar esta clasificación a la luz de los avances más recientes en la comprensión científica del funcionamiento de los montículos de termitas que los considera como sistemas de ventilación pulmonar lo cual implica que la interpretación del rol funcional desempeñado por la chimenea en el termitero haya cambiado radicalmente al descubrirse que el aire capturado por la chimenea no cumple una función de regulación de la temperatura del nido o componente subterráneo.

Si esta interpretación es correcta, el diseño del Eastgate Centre se basaba en la idea errónea de que la chimenea cumplía una función de captura de aire para el enfriamiento de la base inferior del termitero (subterráneo). Es decir, el sistema exitoso de enfriamiento que aprovecha tubos en la altura y la superficie para enfriar las secciones inferiores del edificio no replica el diseño natural de enfriamiento empleado por las termitas; o lo que es lo mismo, el sistema de refrigeración pasiva como tecnología humana creada para el Eastgate Centre y los edificios que adoptan su tecnología, no estarían emulando el verdadero mecanismo usado por los termiteros, el cual obedece al modelo de sistema pulmonar.

En este caso queda en evidencia la manera en la que el avance en el conocimiento científico básico puede modificar la evaluación del carácter biomimético conferido a una tecnología. Quienes consideraron a la tecnología humana de ventilación basada en el principio de la chimenea como un caso representativo de la biomimética estaban en lo correcto desde el punto de vista de los conocimientos disponibles en su tiempo. Pero igualmente quienes señalan que dado el conocimiento contemporáneo que la ciencia tiene de los termiteros, no debe considerarse la tecnología humana de enfriamiento como biomimética, tienen razón. Este es un ejemplo de cuán difícil es la clasificación de estas tecnologías, debido a que la frontera del conocimiento científico está permanentemente avanzando y genera modificación en los parámetros que permiten evaluar o interpretar las características de una tecnología dada.

2.3 La Bioutilización: un proceso de hibridación entre el ecosistema natural y el sistema económico

La bioutilización representa el tercer tipo de proceso de interacción entre los ecosistemas naturales y el sistema económico, en relación con la innovación.

Consiste en el aprovechamiento de un componente natural (dicho componente natural puede consistir en una molécula, una sustancia, un material, un organismo o población, o una función ecosistémica) con el propósito de integrarlo de manera funcional en una tecnología, bien o servicio desarrollado por los humanos. Agrupa diversas modalidades de adaptación o integración, los cuales han sido identificados en la literatura especializada como bioderivación, bioadaptación, bioasistencia y bioextracción, las cuales constituyen formas específicas de incorporación de elementos naturales que desempeñan un rol estratégico, clave en los procesos económicos con los cuales se integran.

En este caso, analizamos un servicio ecosistémico: la polinización, el cual resulta esencial para el mantenimiento de la producción agrícola. Los polinizadores tales como las abejas, las mariposas, los pájaros y los murciélagos, proveen sustanciales beneficios para el mantenimiento, la diversidad, y la productividad de la agricultura. Un tercio de la producción de alimentos mundial directa o indirectamente depende de la polinización realizada por los insectos (Richards 1993). Aunque muchos de los cultivos de productos agrícolas son polinizados por el viento, otros requieren de la polinización por parte de insectos para mejorar la calidad o el rendimiento por hectárea (Richards 1993).

La productividad de algunos cultivos, como las almendras, depende sensiblemente de la polinización de los insectos, puesto que la cantidad de producción depende directamente de la polinización -de las abejas-. En otros casos, la polinización provista por las abejas es importante porque afecta el tamaño, forma y calidad del fruto: según Gordon y Davis (2003: 30) una gran variedad de cultivos dependen de un insecto como polinizador principal, llegando el nivel de dependencia en algunos casos a situarse en el rango 80-100% (manzana, mango, cebollas, calabazas y, melón).

La polinización involucra la transferencia de la información genética entre las plantas a través del polen, la cual es requerida para la reproducción sexual de las plantas. En otras palabras, la polinización consiste en la fertilización de las plantas florecidas mediante la transferencia de polen, por parte distintos tipos de insectos (en especial las abejas). Existen dos tipos de polinizadores: “silvestres y domesticados” (wild and managed). Los servicios de los polinizadores silvestres (naturales) no son comerciados en el mercado, por lo tanto su valor es subestimado o no se tiene en cuenta en el mercado. Los insectos son el grupo más grande de polinizadores y, las abejas proporcionan aproximadamente 80% de toda la polinización por insectos (Robinson et al 1989).

El valor del servicio ecosistémico de polinización, entendido como una aproximación a la importancia del mismo, y al grado de interdependencia que existe entre la agricultura humana y la polinización, ha sido demostrado ampliamente por diversos autores; en la tabla 4 se presentan algunos de estos estudios. El valor económico total del servicio de polinización prestado por los insectos para la producción económica agrícola mundial fue estimado por Pimentel (1997) en \$200 billones de dólares. De igual forma, el estudio de Gallai, Sallesc, Setteled y Vaissière (2009) calculó este valor, el cual fue de €153 billones de euros, que representaba el 9.5% del valor de la producción agrícola mundial usada para la alimentación humana en el año 2005.

Tabla 4. Valor económico de la polinización por región.⁵

País	Valor de la polinización	Polinizador	Fuente
Estados Unidos	US\$6 billones	abejas	Southwick and Southwick (1992)
Estados Unidos	US\$14.6 billones	abejas	Morse and Calderone (2000)
Estados Unidos	US\$3.07 billones	Insectos naturales	Losey and Vaughan (2006)
Reino Unido	£202 millones	Insectos (abejas)	Carreck and Williams (1998)
Australia	AUS \$1.7 billones	abejas	Gordon and Davis (2003)
Australia	US\$1.2 billones	abejas	Gibbs y Muirhead (1998)
Mundo	US\$200 billones	Insectos	Pimentel et al (1997)
Mundo	€153 billones	Insectos	Gallai et al (2009)
Unión Europea (25 miembros)	€14.2 billones	Insectos	Gallai et al (2009)

Fuente. Elaboración del autor

En Estados Unidos el valor económico de la polinización de las abejas fue estimado por Southwick y Southwick (1992) en \$6 billones de dólares. También, Morse y Calderone (2000) estiman el aumento del valor anual de la producción agrícola atribuible a la polinización de la abeja en \$14.6 billones de dólares. En un estudio más reciente, Losey y Vaughan (2006) encontraron que los polinizadores naturales –casi exclusivamente las abejas- pueden ser responsables de un equivalente a \$ 3.07 mil millones de dólares de la producción agrícola de frutas y verduras en los Estados Unidos. En el mismo sentido, en otros países alrededor del mundo se ha estimado el valor de la polinización, entre esos estudios se encuentran los de Carreck y Williams (1998), quienes estiman el valor de polinización de las abejas melíferas y los abejorros para los cultivos en el Reino Unido en £172,2 millones de libras para cultivos al aire libre y £29.8 millones de libras para los cultivos de invernadero. En Australia, Gibbs y Muirhead (1998) estiman el valor de la polinización de las abejas en \$1.2 billones de dólares y Gordon y Davis (2003) estiman que ese valor es de \$1.7 billones de dólares australianos. De igual manera, el estudio de Gallai et al (2009) estima el valor de la polinización de insectos para la Unión Europea (25 países) en €14.2 billones de euros.

Desde el punto de vista de los beneficios, la polinización no se limita al aumento de la productividad en la agricultura, también está asociada al denominado *efecto desbordamiento de la polinización* o “Spillover pollination” (Morse y Calderone 2000: 3), el cual se basa en el hecho de que la polinización beneficia tanto a la agricultura comercial y no comercial, sin existir retribución alguna por estos servicios. Desde el punto de los costos, se ha verificado una disminución gradual pero continua del servicio ecosistémico de la polinización. Las causas de la disminución de este servicio ecosistémico son entre otras: la pérdida de hábitat para los polinizadores, debido a que los polinizadores requieren áreas naturales para anidación, reposo y forrajeo (urbanización e intensificación de la agricultura), parásitos y enfermedades y el uso intensivo de pesticidas.

⁵ Los valores no son comparables debido a que usan distintas metodologías. Los valores se muestran para efectos ilustrativos del valor del servicio de polinización pero no deben tomarse como una evaluación exacta de valor de este servicio

En el caso de los pesticidas, en los Estados Unidos, las poblaciones naturales (silvestres) de las abejas están disminuyendo en las regiones agrícolas (Richards 1993). En California, por ejemplo, el hábitat posee alteraciones provocadas por el uso de pesticidas, lo cual ha dado lugar a la reducción, de las abejas silvestres, lo que obligó a los agricultores a depender del alquiler de colonias de abejas para la polinización (E Mussen, comunicación personal, 1996).

2.4 La alambrada: un ejemplo de transición tecnológica entre los tipos de aprendizaje desde el capital natural

La tecnología de la alambrada es ilustrativa de un proceso de transición a lo largo del tiempo entre los distintos tipos de aprendizaje desde la naturaleza (bioinspiración, biomimética y bioutilización). Los inicios de esta tecnología se remontan al uso por parte de los agricultores de especies vivas de algunas plantas como barrera natural contra el peligro que representaban amenazas externas a los cultivos, como por ejemplo los daños que eventualmente pudiera causar el tránsito de ganado sobre áreas cultivadas:

“Una de las alternativas de más éxito, bien conocida en Europa pero no utilizada desde entonces en Norteamérica, era la fila de seto. En una región en la que el ganado libre amenazaba los pastos, la efectividad de las filas de seto aumentaba cuando se utilizaban para formarlas plantas con espinos. Se plantaban zarzas, cactus, rosas y falsas acacias, pero el naranjo Osage parecía ser la mejor planta para fines de cercado” (Basalla 1991: 75)

Desde el punto de vista técnico, todas las plantas usadas como cercos naturales dentro de su morfología presentan espinas. La funcionalidad de las espinas ha sido documentada en diversos estudios. El argumento más común respecto de la función que cumplen las espinas indica que son un mecanismo de defensa para disuadir a los animales herbívoros de comer sus tejidos (Grubb 1992, Cooper y Ginnett 1998 y Young y Okello 1998 entre otros).

El uso generalizado de plantas como barrera natural constituye un ejemplo de la utilización directa de especies naturales como componente principal de una tecnología humana (el cercado de cultivos), representando por lo tanto una primera etapa de la tecnología humana de la alambrada asociada a la bioutilización. La etapa biomimética en la trayectoria de esta tecnología, aparece debido a los inconvenientes asociados al uso de estos cercos naturales puesto que no podían moverse fácilmente, constituían un refugio para malas hierbas, parásitos e insectos; entre otras razones. Tras diversos intentos por sustituir los materiales naturales por materiales artificiales tales como el alambre liso, los cuales fracasaron, en el año de 1868 se produjo una mejoría sustancial a la tecnología de la cerca de alambre gracias a la creación del primer modelo de alambre de púas por parte de Michael Kelly, inspirado en el seto de espino, lo cual queda expresado claramente en su patente:

“Mi invención consiste en otorgar al alambre de cercado un carácter que lo aproxima al seto de espino. Prefiero designar la cerca así producida como “cerca espinosa” (Kelly 1896: 2)

Adicionalmente a su característica bioinspirada, el invento de la alambrada de Kelly constituye el comienzo de un aprendizaje de tipo biomimético, que tiene un impulso definitivo con Joseph Glidden, quien aportó el diseño moderno más exitoso desde el punto de vista de su difusión comercial (Glidden 1874). La trayectoria de esta tecnología es una muestra de la manera en que es posible transferir principios contenidos en la naturaleza a través de un proceso de mejoras continuas del tipo “ensayo y error”, pero que finalmente consigue la consolidación de un análogo artificial de la forma y función que cumplen las espinas en las plantas como respuesta natural al problema que representan los depredadores, para ser utilizada de manera eficiente como barrera contra elementos perjudiciales para el desarrollo de la agricultura humana.

El impacto positivo que este invento ha tenido en la productividad de la economía en general y de la agricultura en particular ha sido mostrado por autores como Hornbeck (2010), quien plantea que a partir de la invención y el uso intensivo de la alambrada, el desarrollo de la agricultura en Estados Unidos se aceleró entre los años 1880 y 1900. Según el autor esto se debe al hecho de que los agricultores tenían una mayor capacidad de proteger sus cultivos de la invasión, es decir que, se experimentó una disminución del riesgo de sufrir daños por la aparición de ganados no compensados por parte otros; lo cual representa para los agricultores incrementos en la producción, mejora del suelo, aumento en el valor de la tierra y aumento en la productividad. Esta tecnología es ejemplo de una trayectoria de aprovechamiento de los conocimientos de la naturaleza a través de los tres tipos de aprendizaje en una secuencia en la que la bioinspiración (la idea de construir una barrera de protección con espinas copiando la estrategia empleada por las especies naturales), la bioutilización (hacer de las plantas una barrera para cumplir propósitos económicos en la agricultura), y finalmente biomimética (con la réplica de forma y función de las espinas en la alambrada de púas). Nos permite evidenciar, igualmente el solapamiento que suele ocurrir entre esos procesos.

Resulta conveniente, una vez expuestos estos casos, resumir las lecciones que nos deja el estudio de las trayectorias de los naturfactos:

- a. Existen tres tipos de aprendizaje (bioinspiración, biomimética y bioutilización) desde la naturaleza que caracterizan el proceso de transferencia de conocimiento tecnológico desde los ecosistemas naturales hacia el sistema económico humano.
- b. Estos tipos de aprendizaje con frecuencia se presentan de manera simultánea (se superponen) en el desarrollo de tecnologías, productos, y/o servicios.
- c. Los tipos de aprendizaje aparecen en secuencias que no guardan siempre el mismo orden; por ejemplo: unas veces aparece la bioinspiración seguida la biomimética (Eastgate Centre), otras la bioutilización está seguida de la biomimética (alambrada), etc.
- d. Las aproximaciones biomiméticas constituyen un subconjunto de la bioinspiración, en el sentido que toda emulación de la naturaleza se produce porque se observan ciertas características naturales deseables para el desarrollo de la tecnología humana.

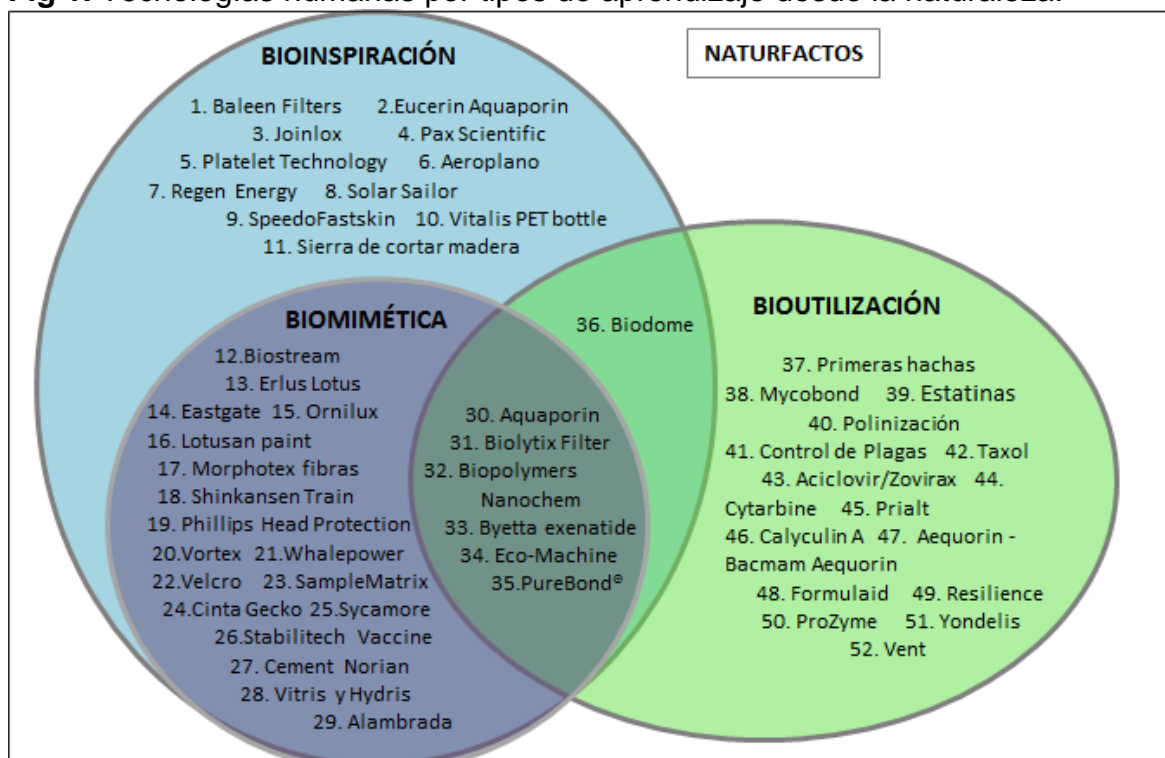
2.5 El Diagrama de Venn: una herramienta de clasificación de los procesos de aprendizaje desde el capital natural

Una manera útil de clasificar las tecnologías humanas dentro de estas tipologías de aprendizaje, considerando las características señaladas, es a través del diagrama de Venn, propuesto por Rawlings et al (2012). Debido a que este diagrama permite representar las relaciones de intersección (tecnologías que se superponen en distintos tipos de aprendizaje) e inclusión (todas la tecnologías biomiméticas son bioinspiradas).

Desde el punto de vista de la valoración de la importancia del aporte de la naturaleza en los desarrollos tecnológicos humanos, el diagrama de Venn puede representar grados diferentes de aporte de la naturaleza a los procesos económicos de innovación, los cuales eventualmente deberían ser recompensados en relación a la dependencia que el sistema económico ha desarrollado respecto al ecosistema natural; mayor en aquellos en los que se superponen los tres tipos de aprendizaje y menor en los que se superponen dos, uno o ninguno. Por ejemplo, el hecho de tomar ideas de la naturaleza es diferente al hecho de replicar sus procesos y mecanismos, puesto que esta última modalidad guarda mayor dependencia con la naturaleza.

El diagrama de Venn contiene tres conjuntos que representan los tipos de aprendizaje desde la naturaleza: bioinspiración (óvalo azul), biomimética (óvalo violeta) y bioutilización (óvalo verde). Dentro de estos conjuntos se encuentran las cincuenta y dos (52) tecnologías humanas analizadas respectivamente para estos tipos de aprendizaje natural. Cuando existe intersección entre los conjuntos, las tecnologías incluidas suponen la interacción simultánea entre dos o más tipos de aprendizaje desde la naturaleza. Por ejemplo, como se mencionó anteriormente, la biomimética es un subconjunto de la bioinspiración, por eso el óvalo violeta está dentro del óvalo azul. Así también, puede observarse que, en el caso del Bio-dome se considera al producto simultáneamente bioinspirado y bioutilizado, sin llegar a ser biomimético (por ello se encuentran en la intersección entre el óvalo azul y el verde). Finalmente, existen ciertas tecnologías que presentan los tres tipos de aprendizaje como es el caso de: Aquaporin, Biolytix Filter, Purebond® technology, entre otras; éstas tienen una mayor dependencia o interacción con los sistemas biológicos (ver figura 1).

Fig 1. Tecnologías humanas por tipos de aprendizaje desde la naturaleza.



Fuente. Elaboración del autor basado en Rawling et al (2012).

3. Hacia la incorporación del “aprendizaje desde el capital natural” en la disciplina económica

En este apartado, se presentan conceptos que permiten caracterizar el papel desempeñado por las tecnologías naturales en el proceso económico de innovación, a través del concepto de "Aprendizaje desde el Capital Natural". Se proponen tres referentes que permitirían construir una explicación más satisfactoria, más completa del proceso de aprendizaje del capital natural: el marco conceptual de la denominada “Learning Economy” (de Lundvall y Johnson, Segura); el trabajo de Kenneth Boulding, como precedente de gran relevancia que integra las variedades de “conocimiento” económico con el contexto medioambiental, constituyéndose en un pionero en la comprensión teórica de la interacción entre el subsistema económico y los eco-sistemas naturales. Finalmente, las nociones de capital natural y, especialmente, la de función ecosistémica, la cual debe ser ampliada o modificada para reconocer plenamente la conexión existente entre la innovación y los ecosistemas naturales, los cuales deben ser considerados como fuente de progreso tecnológico.

En el contexto de la teoría de los sistemas de innovación, Lundvall y Johnson han incorporado las nociones de “conocimiento” como recurso (Stock) y “Aprendizaje” como proceso (flujo), para explicar los procesos de cambio continuo tanto en los sistemas económicos, como en los paradigmas tecno-económicos. La “economía del aprendizaje” se basa en cuatro formas de conocimiento (saber qué o Know-what, saber por qué o “Know-why”, saber cómo o “Know-how”, y saber quién o “Know-who”) complementadas por diferentes tipos de aprendizaje (tecnológico, organizacional, institucional, de

políticas), a los cuales puede agregarse una forma de conocimiento adicional (conocimiento del capital natural o “Knowledge from natural capital” y un proceso de aprendizaje (el aprendizaje del capital natural o “Learning by natural capital” (Segura 1999). La tabla 5 sintetiza la evolución de los conceptos relacionados con los tipos de aprendizaje que finalmente conducen a la formulación de las nociones de “learning by natural capital” en el contexto de la disciplina económica y de “learning from nature” en el contexto de las ciencias naturales y la ingeniería, los cuales fundamentan el de “aprendizaje desde el capital natural propuesto en este trabajo.

Tabla 5. Procesos económicos de aprendizaje.

Tipo de Aprendizaje	Efecto	Agente
Aprendizaje mediante la práctica (Learning by doing) (Arrow 1962)	Aprendizaje basado en la experiencia	Productor
Learning by using Aprendizaje por el uso (Rosenberg1982)	Aprendizaje de los usuarios	Consumidor
Aprendizaje por Interacción (Learning by Interacting) (Lundvall y Johnson 1994)	Aprendizaje resultante de la Interacción entre productores y consumidores	Interacción productor - consumidor
Economía del aprendizaje (Learning economy) (Lundvall y Johnson 1994)	El Aprendizaje es un proceso de adquisición de competencias y habilidades	Individuos, firmas, regiones, países
Aprendizaje del capital natural (Learning by Natural Capital) (Segura 1999)	Contacto entre las actividades económicas y la naturaleza	Relación entre el capital natural y el sistema económico
Aprendizaje desde la naturaleza (Learning From Nature)	Tres niveles de aprendizaje de la naturaleza: a. “learning from the results of evolution” b. “learning from the process of evolution” c. “learning from the success principles of evolution”	Firmas

Fuente: Elaboración del autor basado en Lundvall (2004)

Como precedente de gran importancia, debe ser considerado el trabajo de Kenneth Boulding. En su trabajo puede encontrarse una reflexión sistemática sobre las características básicas de la interconexión entre sistemas natural y económico. Se refiere a la existencia de procesos de intercambio entre los sistemas naturales y humanos, realiza una identificación de tecnologías y agentes naturales, reflexiona sobre la importancia de los procesos de acumulación de conocimientos y de aprendizaje en la naturaleza y toma la idea de diferentes tipos de conocimiento como stock asociados a procesos de aprendizaje como flujo. Desde el punto de vista de Boulding, existe un proceso general de evolución del que hacen parte los ecosistemas, que evolucionan en estrecha relación con la “Econosfera” –esfera de actividades económicas-, y la

“Sociosfera” o esfera de todas las actividades, relaciones e instituciones humanas. Una de las características sobresalientes de la econosfera, es que permite la aparición del desarrollo económico, un proceso, esencialmente, de aprendizaje. Dicho proceso evolutivo general se produce con la participación de poblaciones de diferentes tipos de especies naturales y humanas (especies químicas, especies biológicas y especies sociales) que provienen de procesos de producción que crean, a su vez, “artefactos naturales” y “artefactos humanos”.

En este sentido, existen dos tipos de artefactos que provienen de dos clases distintas de especies. En su análisis es claro que en primer lugar, existen procesos biológicos de producción (naturales) que producen artefactos biológicos, y después aparecen los humanos. Empleando un sugerente ejemplo, Boulding señala la existencia de una estrecha relación entre los artefactos humanos y los naturales:

“Los artefactos humanos son especies al igual que los artefactos biológicos. El automóvil es una especie al igual que el caballo. Los artefactos humanos entran en relaciones ecológicas entre sí y con los artefactos biológicos”. (Boulding, 1978: 122).

Además de exponer la existencia de los “artefactos biológicos” (que pueden ser las especies en sí mismas), Boulding atribuye a éstos la capacidad de adquirir nuevos conocimientos a través de procesos de aprendizaje, especialmente en los grandes mamíferos y pájaros. Su argumentación contiene pues, claramente una comprensión de la existencia de agentes económicos naturales.

Para finalizar, tomemos en consideración el concepto de “funciones ecosistémicas” el cual ha desempeñado un importante rol en la definición de las características del capital natural. Autores como Rudolf de Groot y Robert Costanza han sido decisivos en su especificación. De manera sintética puede decirse que las funciones, bienes y servicios de los ecosistemas naturales y semi-naturales pueden agruparse en cuatro grandes categorías: regulación (de los procesos ecológicos esenciales), hábitat (provisión de refugio y hábitat para la reproducción), producción (de biomasa producto de la transformación de la fotosíntesis y los nutrientes) e información (oportunidades para el desarrollo cognitivo, la recreación, las experiencias estéticas, la reflexión y el enriquecimiento espiritual). Estas categorías, a su vez, están desagregadas en veintitrés funciones, las cuales tienen asociados bienes y servicios específicos (De Groot et al 2002). Es indudable que algunos naturfactos pueden asociarse a funciones ecosistémicas; por ejemplo, las de tratamiento de residuos (9), polinización (10), control biológico (11), recursos genéticos (16), recursos medicinales (17), son representativas de productos propios de la bioutilización. Igualmente, algunas funciones información artística y cultural (21) y ciencia y educación (23) podrían presentar procesos propios de algunos naturfactos asociados a procesos de bioinspiración. Cuando se consideran las tecnologías biomiméticas, algunas de las tecnologías bioutilizadas más complejas o los casos en los que los procesos biomiméticos, bioinspirados y de bioutilización se solapan, se hace evidente la insuficiencia de la clasificación actual, la cual no considera plenamente –aún- la capacidad que los ecosistemas tienen para ser una fuente de tecnologías naturales, bienes y servicios que contribuyen directamente a los procesos económicos de innovación.

Si se consideran los argumentos presentados en esta comunicación, respecto de:

- Los procesos de aprendizaje desde el capital natural en sus tres modalidades (bioinspiración, biomimética y bioutilización),
- Los naturfactos (bienes, servicios y tecnologías),
- Las tecnologías naturales
- El conocimiento acumulado en el capital natural

Quizá se llegué a la conclusión de que es necesaria una reformulación de la caracterización de las funciones ecosistémicas, quizá proponiendo una nueva función ambiental o –incluso- una categoría adicional (análoga a las de regulación, hábitat, producción e información) representativa del conocimiento tecnológico acumulado en los ecosistemas naturales.

Referencias bibliográficas.

Anderson, John (2002): *The Airplane, a History of Its Technology*, Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics.

Baird, George (2001): *The Architectural Expression of Environmental Control Systems*. London: Taylor & Francis.

Bar-Cohen, Yoseph (2006): *Biomimetics Biologically Inspired Technologies*. California: Taylor & Francis.

Basalla, George (1991): *La evolución de la tecnología*, Barcelona: Crítica.

Bhushan, Bharat (2009): "Biomimetics: lessons from nature: An overview", *Philosophical Transaction of the Royal Society* No 367, pp. 1445–1486.

Bonser, Richard (2006): "Patented biologically-inspired technological innovations: a twenty year view" *Journal of Bionic Engineering*, pp. 39- 41.

Boulding, Kenneth (1978): *Ecodynamics: A New Theory of Societal Evolution*, Beverly Hills: Sage Publications.

Carpi, Angelo y Brebbia, Carlos (2010): *Design & Nature V: Comparing Design in Nature with Science and Engineering*. Southampton: WIT Press.

Carreck, Norman, y Williams, Ingrid (1998): "The economic value of bees in the UK". *Bee World*, No. 79, Vol. 3, pp. 1-13.

Cooper, Susan y Ginnett, Tim (1998): "Spines protect plants against browsing by small climbing mammals". *Oecologia*, No. 113, pp. 113-219.

De Groot, Rudolf; Wilson, Matthew y Boumans, Roelof (2002): "A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services", *Ecological Economics*, No. 41, pp. 393–408.

Drack, Manfred y Gebeshuberbc, Ille. (2013): "Comment on "Innovation through imitation:biomimetic, bioinspired and biokleptic research". *Soft Matter*, pp.2338–2340.

Environmental Design Research Association EDRA. (2009): A Phenomenological Interpretation of biomimicry in two sustainable Designs. Proceedings of the 40th Annual Conference of the Environmental Design Research Association EDRA, pp. 39-47. Kansas City.

Gallaia Nicola, Salles Jean, Setteled, Josef y Vaissière Bernard (2009): "Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline". *Ecological Economics*, No.68, pp.810–821.

Gibbs, Diana y Muirhead, Ian. (1998): *The Economic Value and Environmental Impact Of The Australian Beekeeping Industry. Maroubra: A report prepared for the Australian beekeeping industry.*

Glidden, Joseph (1874): Patente nº 157124 A. Estados Unidos.

Gordon Jenny y Davis Lee (2003): *Valuing honeybee pollination.* A report for the Rural Industries Research and Development Corporation, pp.1-42.

Grubb Peter (1992): "A positive distrust in simplicity-lessons from plant defenses and from competition among plant and among animals" *Journal of Ecology*, No.80, pp.585-610.

Hank Timothy y Swiegers Gerhard. (2012): The Concept of Biomimicry and Bioinspiration in Chemistry. En G. Swiegers, *Bioinspiration and biomimicry in Chemistry Reverse-Engineering Nature* (págs. 1-14). Hoboken: Wiley & Sons.

Hornbeck, Richard (2010): "Barbed Wire: Property Rights and Agricultural Development", *The Quarterly Journal of Economics*, Vol.125, pp. 767-810.

Kelly, Michael (1868): Patente nº 503268 A. Estados Unidos.

Lewin, Roger (1994): *Evolución humana.* Barcelona: Salvat.

Lepora Nathan; Verschure Paul y Prescott Tony. (2013): "The state of the art in biomimetics". *Bioinspiration & Biomimetics*, No.8, pp.1-11.

Losey John y Vaughan Mace (2006): The Economic Value of Ecological Services Provided by Insects *BioScience*, No.56, Vol.4, pp.311-323.

Lundvall, Bengt-Ake (2004): The economics of Knowledge and learning en Jesper L. Christensen and Bengt-Ake Lundvall *Product Inovation, Interactive Learning and Economic Performance* (Research on Technological Innovation, Management and Policy, Vol. 8, Emerald Group Publishing Limited, pp.21-42

Martin, Raúl (2011). *Bioinspiration, Biomimetics, and Bioreplication.* San Diego: Spie Press.

Morse, Roger y Calderone, Nicholas (2000): "The Value of Honey Bees As Pollinators of U.S. Crops in 2000". *Bee Culture*, No.128, pp.1-15.

National Academy of Engineering (2007): *Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2006 Symposium.* Washington: The National Academies Press.

Park, Joon y Yoon, Kwang-Joon (2008): "Designing a biomimetic Ornithopter capable of sustained and controlled flight". *Journal of Bionic Engineering*, pp. 39-47.

Pearce Mick. (15 de Octubre de 2013). The Eastgate Centre in Harare – a termite mound in disguise. (David Parr, Entrevistador)

Pimentel, David; Wilson, Christa; McCullum, Christine; Huang, Rachel; Dwen, Paulette; Flack, Jessica; Tran, Quynh; Saltman, Tamara y Cliff, Barbara (1997): Economic and Environmental Benefits of Biodiversity. *BioScience*, No.47, Vol.11, pp. 747-757.

Rawlings, Andrea; Bramble, Jonathan y Staniland Sarah (2012): “Innovation through imitation: biomimetic, bioinspired and biokleptic research”. *Soft Matter*, pp. 6675–6679.

Reed, Emily; Klumb, Lisa; Koobatian, Maxwell; y Viney, Christopher. (2009): Biomimicry as a route to new materials: what kinds of lessons are useful? *Philosophical Transaction of the Royal Society*, No.367, pp.1571–1585.

Richards, Ken (1993): “Non-apis bees as crop pollinators”. *Revue Suisse de Zoologie*, No.100, pp.807-822.

Robinson, Willard; Nowogrodzki, Richard y Morse, Roger (1989): “The value of honey bees as pollinators of US crops: part I”. *American Bee Journal*, pp. 477-487.

Schmitt, Otto (1969): Some interesting and useful biomimetic transforms. *Proceedings of Third International Biophysics Congress*, pp. 297. Boston.

Segura, Olman (1999). Systems of innovation and learning from natural capital. DRUID’s Summer Conference on Innovation Systems, Industrial Dynamics and Innovation Policy, pp 1-25, Rebild: Department of Business Studies Aalborg University.

Southwick, Edward y Southwick, Lawrence (1992): “Estimating the economic value of honey bees as agricultural pollinators in the United States”. *Economic Entomology*, No.85, pp.621–633.

Turner, Scott y Soar, Ruper. (2008): Beyond biomimicry: What termites can tell us about realizing the living building. First International Conference on Industrialized, Intelligent Construction, pp. 1-18, Loughborough: Loughborough University.

Tzonis, Alexander; Lefaivre, Liane y Stagno, Bruno (2001). *Tropical Architecture: Critical Regionalism in the Age of Globalization*. New York: John Wiley and Sons.

Vincent, Julian; Bogatyreva, Olga; Bogatyrev, Nikolaj; Bowyer, Adrian; Pahl, Anja (2006): “Biomimetics: its practice and theory”, *Journal of the Royal Society Interface*, pp. 471–482.

Vogel, Steven (2000). *Ancas y palancas, mecánica natural y mecánica humana*. Barcelona: Tusquets Editores.

Von Gleich, Arnim; Pade, Christian; Petschow, Ulrich y Pissarskoi, Eugen (2009): *Potentials and Trends in Biomimetics*. Berlin: Springer-Verlag.

Young, Truman y Okello, Bell (1998). "Relaxation of an induced defense after exclusion of herbivores: spine length in *Acacia drepanolobium*". *Oecologia*, No.115, pp. 508-513.



XIV JORNADAS DE ECONOMÍA CRÍTICA

Perspectivas económicas alternativas

Valladolid, 4 y 5 de septiembre de 2014

Iniciativas de transición e investigación orientada a y con la comunidad. La experiencia de la Finca El Mato (Tenerife)

Javier Reyes Barroso y Juan
Sánchez García

Asociación para el Desarrollo de la Permacultura y
Universidad de La Laguna, Tenerife

INICIATIVAS DE TRANSICIÓN E INVESTIGACIÓN ORIENTADA A Y CON LA COMUNIDAD. LA EXPERIENCIA DE LA FINCA EL MATO (TENERIFE)

Javier Reyes Barroso (fundador y presidente de la Asociación para el Desarrollo de la Permacultura info@permaculturatenerife.org) y Juan Sánchez García (investigador-docente del Departamento de Economía Aplicada y Métodos Cuantitativos y del Centro de Estudios Ecosociales, Universidad de La Laguna, Tenerife - jusangar@ull.es).

Resumen

“Convendría examinar y explotar las perspectivas que ofrece la permacultura para proteger y restaurar con eficacia la biodiversidad”. Esta es la única cita que hemos identificado en los documentos oficiales de la UE donde aparece el término permacultura [COM(2010) 4 final]. La experiencia de 18 años de la Finca El Mato (Tenerife) en permacultura es una buena oportunidad para iniciarse en dicho examen y exploración. La Asociación para el Desarrollo de la Permacultura-Finca El Mato (ADP-FEM) ha sido reconocida internacionalmente como Buena Práctica para Mejorar las Condiciones de Vida por el Programa Habitat (ONU 2012). Es una experiencia de referencia con una clara orientación de extensión en el ámbito de la recuperación y diseño de actividades agroecológicas y sociales sostenibles.

La ADP-FEM cuenta asimismo con una larga trayectoria como ámbito de inserción social, siendo referente como centro reconocido por el valor terapéutico de sus actividades en distintos ámbitos (formación prelaboral, inserción laboral, respiro familiar).

La ADP-FEM ha sido en los últimos años un centro de formación empleado a través de distintas vías por diversas instancias (cursos y talleres solicitados por Ayuntamientos, formación ocupacional, etc.) y de manera creciente por la Universidad de La Laguna. Recientemente se ha proyectado desde diversas instancias como un aula de formación con alcance múltiple para centros de formación-investigación (ULL), para programas públicos en las materias concernidas, asociacionismo, redes empresariales, clusters de innovación, red del sector agroecológico, etc. Se espera con ello propiciar una mayor difusión de las prácticas agroecológicas.

Palabras clave: permacultura; iniciativas de transición; investigación orientada a y con la comunidad; formación.

Clasificación JEL: Q57 (Economía ecológica: servicios del ecosistema; Conservación de la biodiversidad; Bioeconomía).

1. Introducción

En las XIII Jornadas de Economía Crítica, celebrada en Sevilla en Febrero 2012 uno de los autores de esta comunicación presentó el trabajo “Observar primero y reflexionar después a la sombra de lo percibido: una metodología tradicional y rica para abordar el análisis territorial” (Sánchez 2012). La observación que dio pie a la comunicación tuvo lugar en el espacio proyecto de la Asociación para el Desarrollo de la Permacultura-Finca El Mato (Tenerife) (ADP-FEM). La posterior reflexión se hizo en clave de una propuesta de componentes para la acción: resiliencia, soberanía alimentaria y entornos saludables y seguros. La interrelación entre los tres componentes fue un punto clave de la reflexión. Del debate surgió la idea de geografía de la resiliencia en términos de un archipiélago-red de pequeñas iniciativas autónomas que buscan gestionar de un modo alternativo todo lo que es necesario para mantener y mejorar las condiciones de vida de las personas y de las comunidades. Una geografía de la resiliencia que pone el acento en la necesidad de profundizar en la interconexión de dichas iniciativas.

Esta comunicación la entendemos en términos de un viaje compartido por la geografía de la resiliencia. De equipaje llevamos el marco de las iniciativas de transición entendidas éstas como propuestas emergentes y en evolución de sostenibilidad al nivel de la comunidad -“microcosmos escalables de esperanza” (J. Leggett), donde uno de sus principios básicos se define en estos términos: “liberando el genio colectivo de aquellos a nuestro alrededor para diseñar creativa y proactivamente nuestro descenso energético, podemos construir formas de vida que están más conectadas, más enriquecedoras y que reconocen los límites biológicos del planeta” (Hopkins 2008); el marco de una investigación orientada a y con la comunidad que propone que las universidades y los institutos públicos de investigación aporten soluciones a las necesidades y demandas de la sociedad civil, constituyendo un programa diferenciado respecto a los programas de transferencia tecnológica para la industria y la empresa, como podrían ser proyectos de investigación colaborativos comunidad-universidad para el desarrollo sostenible (Living Knowledge Network¹); y por último, el marco de la metodología del poder del ejemplo, un ejemplo que al mismo tiempo puede caracterizarse como a) extremo, por las posibilidades que tiene de generar información de casos inusuales; b) crítico, por la importancia estratégica que pueda tener en relación a un problema general; y, c) paradigmático, por lo que puede tener de valor prototípico y de establecimiento de estándares para otras situaciones (Flyvberg 2001).

2. De las JEC de Sevilla (2012) a las JEC de Valladolid (2014) pasando por Tenerife. Diario de un viaje de ida y vuelta entre lo global y lo local.

Un viaje de ida y vuelta entre lo global y lo local, con la brújula temporal de pensar en el futuro, actuar en el presente, pero sin olvidar el pasado. Si tuviéramos que poner título al diario, o si se prefiere, si tuviéramos que

¹ <http://www.livingknowledge.org/livingknowledge/>

establecer un hilo conductor del ensayo, utilizaríamos los títulos de dos de los cursos interdisciplinares de la Universidad de La Laguna en los que hemos estado involucrados (ediciones 2012 y 2013)² y que podrían representar los cimientos del mencionado viaje. Lo haríamos en clave de síntesis ecléctica: “Observar primero y reflexionar después a la sombra de lo percibido: la necesidad cultural de establecer límites”. El título de la edición de este año lo hemos hecho coincidir con el de esta comunicación, Iniciativas de transición e investigación orientada a y con la comunidad³.

El enfoque para abordar nuestro viaje parte de la condición de un escéptico ilusionado: aquel que intenta entender el terreno en el que pisa desde su condición de *escéptico*, evitando sin embargo que el panorama con que el que se pueda encontrar lo coopte con el síndrome de la indefensión aprendida, síndrome que se convierte en todo un prólogo para la depresión de su condición ciudadana. De ahí el adjetivo añadido de *ilusionado*, del *vale la pena hacer cosas*. A la hora de sistematizar la redacción del diario utilizamos un enfoque a reivindicar: el de “especulación→construcción→extracción”; *especulación* como la acción de examinar algo con atención para estudiarlo; *construcción* como la acción de hacer una cosa juntando los elementos necesarios; y *extracción* como la acción de sacar algo que está incrustado, hundido, sumergido o sepultado.

La acción de **especular**, de examinar *algo* con atención para estudiarlo, nos la proporcionó el III Festival Rural de Creación “Las Eras de El Tablero” (Tenerife) a finales de septiembre de 2012, al ser invitado uno de los redactores de este ensayo a participar en las Jornadas del Festival⁴. Y *ese algo* fue el fenómeno de la financiarización de los alimentos, la entrada sin barreras del capital especulativo en el mundo de los alimentos. A la hora de **construir** la presentación para las Jornadas concebimos la intervención como una propuesta de viaje virtual de ida y vuelta, a compartir con la audiencia, entre El Tablero y Chicago. De esa propuesta de viaje compartido pretendíamos **extraer** una reflexión sobre la importancia del establecimiento de límites como valor eco-social.

3. Diario del viaje

Así comienza el diario: “Viernes 28 de septiembre de 2012. De entrada y de sopetón presentamos al público asistente a las Jornadas una sucesión de cinco imágenes, y les preguntamos por su posible conexión”. La primera representa un cuadro muy cercano: el *collage* de fotos del pueblo de El Tablero que aparece en el *blog* del festival –un *collage* con múltiples imágenes que transmiten su riqueza rural; la segunda es una foto del parque del mercado de

² <https://tcourse.osl.ull.es/gestion/ciclos/publico/385/> y <https://tcourse.osl.ull.es/gestion/ciclos/publico/468/>

³ <https://tcourse.osl.ull.es/gestion/ciclos/publico/677/>

⁴ El Festival nace en 2010 de la mano de la Asociación de Vecinos de El Tablero y La Pimentera [acción creativa] como una idea que combina seminarios y cultura creativa en un entorno rural que quiere defender su estatus actual de pueblo rural en el contexto municipal de Santa Cruz de Tenerife (<http://www.laserasdeltablero.com/>)

futuros de Chicago, una imagen de 1993, desde la que se puede intuir el griterío que acompaña a los operadores bursátiles que compran y venden contratos de futuros de diferentes productos básicos; la tercera imagen pretende simbolizar una transacción de alta frecuencia en los mercados de futuros, un flash del sistema que analiza a gran velocidad datos del mercado y lanza un gran número de órdenes en un periodo de tiempo muy corto; la cuarta muestra un *collage* de pantallas de ordenador a modo de representación de los robots que realizan mecánicamente las transacciones de alta frecuencia; y la quinta y última imagen es un bello y colorido *collage* con fotos de los principales productos básicos comerciados en los mercados de futuros, entre los que se encuentran los principales alimentos.

El corolario de la secuencia de imágenes no era otro que mostrar un contraste: economía real versus economía financiera. Una economía real representada por la primera imagen que podría muy bien constituir el mercado real, *presente*, de los productos alimenticios producidos en El Tablero, y vendidos en el Mercado de Santa Cruz, capital de la isla. Y una economía financiera mostrada por las restantes cuatro imágenes, con una primera foto que podría sugerir a los mercados de *futuros* de productos alimenticios producido en cualquier parte del mundo; mercados donde se negocian contratos que obligan a las partes contratantes a comprar o vender un número de bienes o valores en una fecha futura, pero con un precio establecido de antemano. Mercados cuya función básica inicial fue la cobertura de riesgos pero cuya función dominante hoy es la financiarización. Volveremos a las imágenes más adelante.

A continuación explicamos al público que la razón de elegir Chicago, y en concreto su mercado de futuros de alimentos, como destino del viaje es la necesidad de entender la financiarización de los alimentos y sus mecanismos. Como guía de viaje nos llevamos el artículo periodístico de Rafael Argullol titulado *Hybris*, traducible por desmesura. La *hybris*, señala, era la fuerza contraria al equilibrio que debían buscar tanto el individuo como la sociedad. Era en otras palabras, el enemigo primero de la democracia (El País, 26/04/2008).

Camino de Chicago proponemos recalar en Washington D.C., donde conseguimos otra guía que nos permite adentrarnos en la *hybris*: el testimonio que realizó en 2008 Michael Masters, especialista en el mundo de los valores bursátiles, ante el Comité de Seguridad Interna y Asuntos Gubernamentales del Congreso norteamericano. Sorprende su contundencia al leerlo: “*Hay cientos de miles de millones de dólares de inversión listos para entrar al mercado de futuros sobre productos básicos en este mismo momento [2008]. Si entran en acción inmediatamente, los precios de los alimentos y de la energía subirán más aún... Ello puede literalmente implicar inanición para millones de pobres en el mundo*”. Al leer a Masters nos viene a la mente una cita de Miguel Altieri y Clara Nicholls (2010) que compartimos con la audiencia: “*Hoy en día el problema real no es la oferta de alimentos, sino la vulnerabilidad de más de mil millones de personas a la volatilidad de los precios y no tener acceso a los alimentos*”. Intuimos cierta sincronicidad entre ambos testimonios.

El testimonio de Masters nos pone tras la pista de la financiarización de los productos básicos. Éste se hace la juiciosa pregunta de *“cómo se explica un aumento continuo en la demanda de los productos básicos cuando sus precios se han duplicado o triplicado en los cinco años que van del 2003 al 2007”*. El propio Masters la responde al señalar que *“este aumento impactante proviene de una nueva categoría de actores en los mercados de futuros sobre productos básicos”*, actores a los que denomina especuladores de índices de productos básicos (fondos de inversión gubernamentales y corporativos,...).

¿Índices de productos básicos? Masters está hablando de fórmulas matemáticas, nos adelantamos a precisar a la audiencia. Fórmulas elaboradas a partir del rendimiento de una selección de contratos de futuros de productos básicos. Fórmulas, índices, diseñados para poder transmitirse, intercambiarse, en los mercados. Se negocian fórmulas matemáticas como ‘productos financieros’ en los que siempre figuran los alimentos básicos.

Nos preguntamos por el origen de los especuladores de índices de productos básicos y Frederick Kaufman viene en nuestra ayuda. Su artículo *The Food Bubble: How Wall Street Starved Millions and Got Away with it* (2010) identifica adecuadamente cuáles fueron los preparativos del fenómeno: *“La historia de los alimentos dio un giro sombrío en 1991, una época en la que nadie estaba prestando mucha atención. Fue el día que Goldman Sachs decidió que nuestro pan de cada día era una excelente inversión.”* A partir de ese momento, según Kaufman, se inicia un proceso de desregulación que posibilita la incursión de dichos inversores institucionales en un hasta entonces ámbito fuertemente regulado por razones de seguridad nacional. El mercado bajista de las acciones (2000-2002) hace que los inversores institucionales comiencen a mirar el mercado de futuros sobre productos básicos como una nueva ‘clase de activo’.

Cuando nos preguntamos sobre la mecánica de funcionamiento de los Fondos de Índices de productos básicos el testimonio-guía de Masters nos vuelve a poner sobre la pista: *“cuando un inversor institucional decide asignar un porcentaje de su cartera de valores a los contratos de futuros sobre productos básicos, llegan al mercado con una cantidad fija de dinero. No les preocupa el precio por unidad; compraran tantos contratos de futuros como les sea necesario, a cualquier precio que sea necesario, hasta que todo su dinero haya sido ‘puesto a trabajar’”*. Las implicaciones de esta mecánica son claras y perversas. Su insensibilidad respecto al precio multiplica su impacto en los mercados reales de productos básicos. Como ya comentamos a estos inversores Masters los denomina especuladores de “Índices” de productos básicos por su estrategia de inversión.

A medida que el dinero se vierte en los mercados, dos cosas empiezan a ocurrir a la vez: los mercados se expanden y los precios aumentan. Y con ello nos encontramos ante una conexión directa y perversa entre la economía financiera y la economía real de la siguiente índole: los precios de futuros de los productos básicos son referencia para el precio del bien en el mercado físico de hoy. Cuando los Fondos “Índices de Especulación” presionan al alza

los precios de futuros, los efectos se sienten inmediatamente en la economía real. Así tenemos que los precios de los 25 productos básicos aumentaron un promedio de un 183% entre 2003-2007. Además, lo que era insignificante en 2003 --la especulación en fondos índice de productos básicos-- aumentó un 1.900% entre 2003 y marzo de 2008, como informó Lehman Brothers poco antes de su bancarrota. Hoy los Fondos Índices es el mayor actor en muchos mercados de futuros sobre productos básicos. Estamos ante la burbuja de los alimentos que denuncia Kaufman y Masters, una burbuja que requiere una fuerte voluntad política vía desregulación, e importantes avances en la tecnología para que esta sea viable y se infle.

Nos interesamos por las innovaciones tecnológicas que posibilitan tal burbuja. Desde 2005, las transacciones electrónicas se pueden comerciar casi ininterrumpidamente así que la imagen del parqué de Chicago de 1993 a la que aludíamos anteriormente se destiñe, pierde vigor. El *paisaje* actual de las negociaciones está dominado por robots y algoritmos, por las transacciones de alta frecuencia conocidas por HFT, un sistema que analiza a gran velocidad (incluso en nanosegundos) datos del mercado, y lanza un gran número de órdenes en un periodo de tiempo muy corto. Observar los datos de transacciones de alta frecuencia puede proporcionar una visión más clara sobre las implicaciones de los recientes desarrollos tecnológicos en los mercados de productos básicos. Eso es lo que han hecho, entre otros, Nicolas Maystre y David Bicchetti, de la UNCTAD, en su artículo *The rise of the machine: Does high-frequency trading alter commodity prices?* (2012). En su trabajo analizan una gran variedad de productos básicos con la esperanza de obtener de esa gran variedad diferentes comportamientos de los precios que estarían explicados por la diferente estacionalidad de los productos, y por las diferentes dinámicas de cada mercado físico. Sin embargo los autores de la UNCTAD no observan ninguna diferencia en ninguna frecuencia. Sólo observan que los mercados se expanden y los precios aumentan.

El trabajo de Maystre y Bicchetti de 2012 ratifica las previsiones de Masters de 2008: estamos ante nuevos agentes en el mercado con horizontes de inversión a muy corto plazo como son las estrategias de alta frecuencia (HFT), que usan algoritmos y robots en sus operaciones. La dinámica descrita genera un fenómeno de atracción perverso: los precios en aumento atraen más fondos, cuya tendencia es a aumentar sus asignaciones a medida que los precios suben. Los Fondos de índices están diseñados para no parar nunca de elevar los precios, al menos mientras tengan dinero para invertir y seguir comprando futuros (Veterinarios sin Fronteras 2011). Tienen poca preocupación por los principios básicos de oferta y demanda que nos enseñan los manuales de economía. De ahí que veamos cómo acontecimientos que se producen en los mercados financieros globales se traducen en los mercados reales de los productos básicos, de ahí la vulnerabilidad de millones de personas por las oscilaciones de precios al alza que significan las HFT.

El comportamiento descrito tiene igualmente implicaciones para las políticas nacionales de alimentación. La propia Unión Europea parece preocuparse y así lo refleja en el documento "Abordar los retos de los mercados de productos

básicos y de las materias primas” [COM(2011) 25 final]⁵ cuando señala que el aumento de la volatilidad y de oscilaciones de precios sin precedentes en los mercados de productos básicos en los últimos años han originado por momentos alarma social y desabastecimiento. Los eurodiputados han abogado por endurecer las normas sobre negociación de alta frecuencia ya que la especulación con este tipo de productos ha causado volatilidad en los precios energéticos y de los alimentos (Pleno Parlamento Europeo. Estrasburgo, 25-26 de octubre 2012)⁶.

Con el viaje realizado hasta ahora sobre la financiarización de los alimentos tratamos de persuadir al público de que estamos ante un ejemplo manifiesto de desmesura, donde las estrategias de los fondos de índices se traducen, entre otras cosas, en un implícito acaparamiento de productos básicos. Es por todo ello por lo que nos preguntamos si no estaremos ante el escenario oximorónico de un capitalismo feudal dirigido por los *señores* de los Fondos Índices de Especulación⁷, por los *señores* de los acaparamientos de tierras fértiles (fenómeno simultáneo al de acaparamiento de productos básicos), y por los *señores* de los ‘agujeros negros’ de los paraísos fiscales. Poco después de hacernos esta pregunta nos encontramos con una viñeta de El Roto que refleja acertadamente este oxímoron.



Fuente: El Roto (El País, 27/11/2012)

A la hora de reflexionar, sistematizar y analizar la nueva coyuntura marcada por un contexto de crisis económica-financiera, y sus implicaciones ambientales, conviene reparar en el ‘agujero negro’ de la banca *offshore*, uno de los sectores

5

[http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/com/com_com\(2011\)0025/com_com\(2011\)0025_es.pdf](http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/com/com_com(2011)0025/com_com(2011)0025_es.pdf)

⁶ <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+IM-PRESS+20121012FCS53558+0+DOC+XML+V0//ES#title3>

⁷ “Comerciamos en trigo, pero es trigo que nunca vamos a ver. Es una experiencia cerebral”. Conversación de Austin Da-mani, un corredor de trigo, con Kaufman (2010).

mejor atrincherado de la sociedad. Un ‘agujero negro’ que proporciona abundante liquidez a los *señores* del mundo virtual de los índices especulativos de los productos básicos con los mencionados impactos en los mercados reales de los alimentos, y a los *señores* del mundo real del acaparamiento de tierras fértiles con sus impactos en las soberanías alimentaria y energética de las comunidades desplazadas. Así lo denuncia James S. Henry, de la Red de Justicia Fiscal en su trabajo *The price of offshore revisited* (julio 2012). La banca *offshore* se trata de una industria diseñada y operada durante décadas por los principales bancos privados a nivel mundial así como por los principales bufetes de abogados y empresas contables. Bancos conocidos por su papel en la crisis financiera de 2008, por sus generosos rescates gubernamentales y por los copiosos paquetes de remuneración de sus ejecutivos. Nos encontramos, apunta Henry, con un escenario de contribuyentes comunes subsidiando los mayores bancos para mantenerlos a flote, mientras estos han estado ayudando a sus ricos clientes a reducir impuestos. Instituciones radicadas no sólo en islas paradisíacas sino en las principales capitales del primer mundo (Nueva York, Londres, Ginebra, Frankfurt y Singapur). Para el mencionado autor, estamos ante un sector oculto lo suficientemente grande como para hacer una importante contribución a la justicia fiscal, a la inversión y a pagar los costes de problemas globales como el cambio climático; por lo bajo, la Red de Justicia Fiscal estima que entre 21 y 32 billones de dólares están invertidos en el ‘agujero negro’ de más de 80 jurisdicciones de banca extraterritorial, con secreto bancario. Para Henry resulta escandaloso ver cómo instituciones oficiales --Banco de Pagos Internacionales, FMI, BM, OCDE y G20--, al igual que bancos líderes, han dedicado tan poca investigación a este sector cuando dichas instituciones disponen de la mayor parte de los datos que se necesitan para estimar más a fondo este sector.

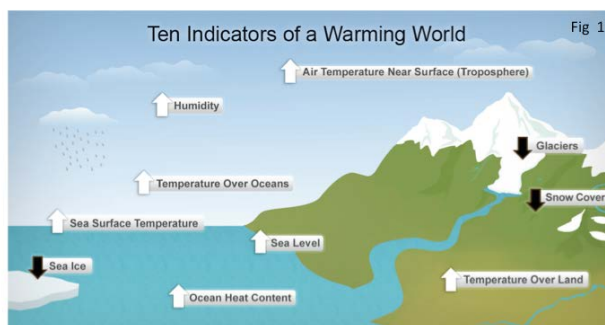
Con este sombrío panorama del viaje hacia lo global - la desmesura y sus implicaciones-, regresamos al ámbito local, a El Tablero, a Tenerife, y volvemos a mostrar la imagen del *collage* del Festival Rural de Creación Las Eras de El Tablero. Preguntamos a la audiencia si después de la experiencia del viaje compartido, ven o no pertinente potenciar las realidades representadas por el *collage* de El Tablero ante la vulnerabilidad que destila el *modus operandi* del capitalismo feudal. Nos preguntamos, igualmente, si reclamar tal potenciación significa un ejercicio de ingenuidad ante tanta asimetría. Ante el temor de caer en el síndrome de la indefensión aprendida echamos mano del adjetivo *ilusionado*, al que le añadimos otro, el de *comprometido*, para seguir indagando desde la condición escéptica.

Es a partir de esta fase de escéptico ilusionado y comprometido cuando abordamos la última fase de de la metodología “especulativa→constructiva→extractiva”: **extraer** de lo observado la necesidad de una cultura del límite como valor eco-social. De ahí la importancia de volver a la imagen inicial de la economía real, de pasar de la imagen a la realidad: ahí es donde aparecen las iniciativas autónomas, la geografía de la resiliencia, el “mar” que une ese archipiélago de iniciativas autónomas, las iniciativas de transición, la investigación orientada a y con la comunidad. Hoy frente a la *hybris*, y en un contexto de multi-crisis financiera, alimentaria, energética y

ambiental –eco-social en última instancia-, se hace pertinente reclamar una conciencia de límite: una conciencia de *límite nutricional* en términos de asegurar el derecho a la alimentación (soberanía alimentaria); una conciencia de *límite energético* en términos de cierre del ciclo de energía y materiales a través de la gestión eficiente de la fotosíntesis (incremento de fertilidad, humus, masa orgánica,...), posibilitando estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático; una conciencia de *límite de tráfico* en términos de creación de cercanía; y una conciencia de *límite defensivo* en términos de entornos seguros y saludables mediante redes de resistencia y resiliencia (Sánchez 2012). Una cultura de límites que abre un sinfín de ámbitos para una agenda de I+D+i social.

Comenzamos a ilustrar ante la audiencia la necesidad de la conciencia de límite *defensivo*, y para ello aprovechamos otra guía que localizamos en el viaje de ida de El Tablero a Chicago. En esta ocasión fue el testimonio que James J. McCarthy, catedrático de Biological Oceanography, de Harvard University, aportó el 1 de agosto de 2012 ante el Comité del Senado norteamericano de Medio Ambiente⁸. Un testimonio llevado a cabo en el contexto de informar sobre el “Papel de los océanos a día de hoy en los extremos climáticos y la subida del nivel del mar”. Hablamos de un científico de cuyo currículum nos llamó la atención dos datos: su condición de ex-presidente de la Asociación Estadounidense para el Avance de la Ciencia, y su condición actual de presidente de la Unión de Científicos Preocupados⁹. Ante dicho Comité presentó una contundente imagen de diez indicadores del calentamiento global: incremento de la temperatura del aire cerca de la superficie (Troposfera); incremento de la humedad; incremento de la temperatura sobre los océanos; incremento de la temperatura en la superficie del mar; subida del nivel del mar; reducción del hielo marino; reducción de los glaciares; reducción de la cubierta de nieve; aumento del contenido calórico del océano; aumento de la temperatura sobre la tierra.

Figura 1.-



Consistent Trends in All these Indicators Over the Last Several Decades Provide Robust Evidence that Earth is Warming

NOAA/BAMS 2009

⁸ http://www.epw.senate.gov/public/index.cfm?FuseAction=Files.View&FileStore_id=2390c863-576b-42f1-95e9-424286a906ce

⁹ <http://www.ucsusa.org/about/james-j-mccarthy.html>

Seguimos en búsqueda de apoyos a la necesidad del límite *defensivo* para compartir con la audiencia. En esta ocasión nos lo proporciona un destacado representante de un sector bastión del sistema, el sector de las aseguradoras; en concreto de John Coomber, miembro del Consejo de Dirección de la reaseguradora Swiss Re y presidente de Climatewise, organización que desde 2007 agrupa a los principales líderes del sector asegurador y el de reaseguro en el marco de la prevención de los efectos del cambio climático. En una entrevista periodística en 2012 le preguntaban sobre la manera en que la industria del seguro podría ayudar a la lucha contra el cambio climático. Coomber respondió que cuando lo nombraron presidente de Swiss Re consideró al cambio climático como el riesgo más importante con el que se enfrentaba el mundo.¹⁰ Un año antes ya había señalado que “*la severidad de los potenciales impactos del cambio climático y la incertidumbre asociada a dónde y cuándo exactamente sentiremos tales impactos son de tal envergadura que lo más probable es que tales riesgos sean mayores de los que estamos dispuestos aceptar*”¹¹.

Sobre la necesidad del límite *energético* pueden servirnos de referencia los diversos ejemplos de iniciativas de transición reflejadas en el documental «En Transición 1.0 - De la dependencia del petróleo a la resiliencia local» (2009)¹² y las enseñanzas de las iniciativas de transición forzadas por el pico del petróleo en Cuba en el documental «El poder de la comunidad»¹³.

Sobre el límite de *tráfico* sirva como botón de muestra de esa necesidad el dato de la distancia media recorrida por el alimento importado por España en 2007, 5.013 km (Amigos de la Tierra, 2012). En Canarias, y en este marco, hablamos no sólo de la importancia de crear cercanía para reducir el impacto ambiental por la energía utilizada en los enormes porcentajes del alimento importado en las distintas dietas; también hablamos de la importancia estratégica de reducir la vulnerabilidad que conlleva la creciente financiarización de los alimentos vía volatilidad de precios.

Sobre la necesidad del límite *nutricional*, y sus implicaciones ambientales, suscribimos el documento congresual de Slow Food, *La centralidad del alimento* (2012). El mismo índice del documento es en sí mismo una potente guía para la reflexión, sistematización y el análisis: del alimento a la fertilidad de los suelos; a la salubridad del agua; a la salubridad del aire; a la defensa de la biodiversidad; al paisaje; a la salud; al conocimiento y a la memoria; al placer, a la sociabilidad, a la convivialidad, a la compartición. Participamos asimismo de los ámbitos sobre los que Slow Food propone actuar: regreso a la tierra; lucha contra el despilfarro; economía local y la democracia participativa; y, educación permanente. Esto significaría, apunta el documento, situar a la humanidad y no a los mercados en el centro de nuestras políticas.

¹⁰ <http://www.theactuary.com/features/2012/11/q-a-john-coomber-a-life-less-ordinary/>

¹¹ How do we protect growth in a world of ‘new normals’? (2011)

<http://www.climatewise.org.uk/storage/climatewise-docs/John%20Coomber%20Opinion%20Piece%20-%20November%2021st.pdf>

¹² <http://vimeo.com/14242311>

¹³ http://www.youtube.com/watch?v=Vj_DV5ltdes

Con el fin de ir acercándonos al marco de acciones que se pueden llevar a cabo desde el ámbito local sugerimos a la audiencia una atenta lectura del documento de GRAIN, *La crisis climática es una crisis alimentaria*¹⁴. Uno de sus epígrafes lleva por título “El suelo es parte de la solución”, y en él se puede leer: “*Los suelos son uno de los ecosistemas más asombrosos de la tierra. Millones de plantas, bacterias, hongos, insectos y otros seres vivos están permanentemente creando, componiendo y descomponiendo materia orgánica. Los suelos también son el inevitable punto de partida para producir alimentos. Pero los suelos están siendo destruidos aceleradamente. En los últimos 50 años, el uso masivo de fertilizantes químicos y otras prácticas insustentables de la agricultura industrial han causado una pérdida promedio de 30 a 60 toneladas de materia orgánica por cada hectárea de tierra agrícola*”.

Los redactores del informe se preguntan qué pasaría si esa materia orgánica se devolviera al suelo. Para GRAIN “*recuperar los niveles de materia orgánica del suelo existentes antes de la agricultura industrial capturaría 30-40% del exceso actual de CO₂ en la atmósfera*”. La ONG calcula que utilizando las técnicas agrícolas sustentables que ya existen, es posible aumentar progresivamente la materia orgánica del suelo en un promedio de 60 toneladas por hectárea en un período de 50 años. Devolver la materia orgánica al suelo permitiría capturar el equivalente a más de dos tercios del exceso de CO₂ actualmente en la atmósfera. En apoyo de esta afirmación nos hacemos eco del Informe IASSTD - Evaluación Internacional del papel del Conocimiento, la Ciencia y la Tecnología en el Desarrollo Agrícola- (2008)¹⁵ cuando señala que “*el aumento y el fortalecimiento de los conocimientos, ciencias y tecnología agraria (CCTA) orientados a las ciencias agroecológicas contribuirán a resolver cuestiones ambientales, al tiempo que se mantiene y aumenta la productividad*”. En este informe nos apoyaremos posteriormente al referirnos al estudio de caso de la Asociación para el Desarrollo de la Permacultura-Finca El Mato.

Los CCTA formales, tradicionales y de origen comunitario deben responder, apunta el IAASTD (2008, p.10), a las crecientes presiones sobre los recursos naturales, como la disminución de la disponibilidad y la calidad del agua, la degradación del suelo y el paisaje, la pérdida de diversidad biológica y de la función de los ecosistemas agrícolas, la degradación y pérdida de superficie forestal.

Y además se lograría, seguimos citando a GRAIN:

- Mejores suelos para producir más alimentos.
- Suelos vivos que capturen y retengan grandes cantidades de agua.
- Comunidades locales que puedan vivir de la tierra.

¹⁴ <http://www.grain.org/es/article/entries/4170-la-agricultura-campesina-puede-enfriar-el-planeta>.

¹⁵ El informe, conocido por las siglas en inglés IAASTD, fue elaborado por un panel de 400 expertos mundiales, nominados por los diferentes grupos de partes interesadas (FAO, FMAM, PNUD, PNUMA, UNESCO, BM y OMS).

- Una reducción sustancial, si es que no la eliminación, de la cantidad de gente que pasa hambre cada día.

Para Grain, si los agricultores del mundo devolvieran nuevamente la materia orgánica al suelo:

- Miles de millones de toneladas de carbono serían capturadas por el suelo.
- Los suelos y los rellenos sanitarios no escupirían toneladas de óxido nitroso y metano a la atmósfera.
- Los fertilizantes se harían progresivamente innecesarios, porque los nutrientes se recuperarían con la materia orgánica.
- La fertilidad del suelo mejoraría paulatinamente.

Esta sola medida podría reducir o neutralizar 20% a 35% de las emisiones actuales de gases invernadero.

GRAIN aclara que las soluciones no son meramente técnicas o biológicas. Para organizar y llevar a cabo estas formas de agricultura, se necesitan formas de trabajo descentralizadas y muchas personas, comunidades y organizaciones que participen y tomen decisiones sobre cómo hacer que el cambio sea posible. También se necesita de un conocimiento profundo de lo local, de sus ecosistemas y condiciones, de las semillas y la biodiversidad. Y hablar de conocimiento profundo de lo local nos lleva a centrarnos en el ejemplo de la ADP-FEM (Tenerife).

4. De vuelta a casa: aterrizando en el estudio de caso de la ADP-FEM¹⁶

El espacio-proyecto ADP-FEM (Tacoronte, Tenerife) surge hace 18 años como proyecto vital de uno de los autores de esta comunicación. Se convierte en un proyecto social en 2001 a través de la constitución de la Asociación para el Desarrollo de la Permacultura, una entidad sin ánimo de lucro, declarada en 2011 de utilidad pública con criterios sociales, medioambientales y de sostenibilidad.

El objetivo de la ADP-FEM es fomentar los principios de la permacultura (cuidar de la tierra, cuidar de las personas, reparto equitativo) mediante la observación de los ecosistemas naturales con el fin de diseñar sistemas de producción que respondan a las necesidades humanas sin degradar nuestro medio. Ello significa integrar a las plantas, los animales, paisajes, construcciones, tecnologías y asentamientos humanos en sistemas armoniosos y simbióticos, mejorar la diversidad de manera que se pueda obtener la estabilidad y resistencia de los ecosistemas y un mayor potencial para la sostenibilidad económica a largo plazo.

Dicho objetivo se aborda desde varias perspectivas: la valoración de la producción agroecológica local; la conversión de residuos en recursos; y la inserción laboral de personas con enfermedad mental de larga duración utilizando como terapia y rehabilitación la permacultura. Una experiencia que si

¹⁶ <http://www.permaculturatenerife.org/>

bien tiene como centro neurálgico una finca rústica de 10.000 m², su área de influencia va más allá de esos límites gracias a la red que se ha ido tejiendo a lo largo de los últimos 18 años.

La consolidación de la iniciativa, vía red, ha permitido que los agentes hayan ido participando de una manera u otra en la toma de decisiones. La iniciativa ha seguido los principios de diseño de la permacultura, enriqueciendo la finca con una metodología incremental temporal y espacial que amplía la densidad de relaciones, crea multifuncionalidad, resistencia y resiliencia. El proyecto colabora con el derecho de la alimentación proporcionando, semana tras semana, calidad nutricional a 35 familias y a cinco puestos de venta en mercados (dimensión nutricional); practica vías de reducción en consumo energético actuando el propio sistema de policultivos y la granja multi-especie como gestor de residuos; utilizando como microtractores del suelo a microorganismos/invertebrados; reciclando y reutilizando residuos de 37 empresas y 50 familias del entorno (alrededor de 180 Tm/año) (dimensión energética); practica la proximidad intercambiando las cajas de verdura semanales en un radio de acción menor de 15 kilómetros y recogiendo residuos en un radio de acción no superior a 3 kilómetros alrededor de la finca, evitando que se depositen en el vertedero (dimensión de proximidad); crea entornos seguros y saludables basados en la capacidad de resiliencia del proyecto en el que están involucrados una amplia red de actores (personas con discapacidad mental, voluntarios, clientes-colaboradores, empresas, ayuntamientos, universidades, recursos de salud mental,...).

Otro aspecto a destacar es la expansión de experiencias como las de la ADP-FEM como estrategia de 'propagación experimental', que para IAASTD (2008) se trata de una estrategia basada en la determinación de zonas de prueba para la propagación, el establecimiento de 'plataformas de propagación', la formación de 'equipos de cambio' y la selección de asociados, que incluyen desde organizaciones comunitarias hasta empresas privadas.

Es en este contexto en el que hay que enmarcar el proyecto LASOS (*Laboratorio Agroecológico de Sostenibilidad. Proyecto piloto para la integración de los ámbitos económico, ambiental y social en una isla más autónoma*), aprobado por el gobierno insular de Tenerife en mayo 2014, con una duración de once meses. Un proyecto cuyo origen, sin saberlo entonces, fue la visita a la finca a mitad de 2013 de los responsables políticos del gobierno insular de las áreas de medio ambiente y de agricultura interesándose por la experiencia. El interés político se tradujo en varios talleres durante 2013; en el primero (finales de enero de 2013) se realizó con técnicos de las tres áreas estrechamente relacionadas con la naturaleza de la ADP-FEM (las dos mencionadas anteriormente más la de inclusión social), junto con los responsables de la ADP-FEM e investigadores de la ULL que estaban colaborando con el proyecto desde 2011 (Mazuelas et al., 2014). El segundo taller, a finales de febrero, coincide con una convocatoria interna del gobierno insular y en él se incorporan técnicos de ocho áreas más del gobierno insular, del autónomo, de la Universidad de La Laguna y de clústeres innovación empresarial. Desde diversas Áreas gubernamentales del Cabildo Insular de

Tenerife y desde otras instancias empresariales y sociales se considera de gran interés establecer líneas de colaboración mutua a fin de promover y extender prácticas sostenibles en el manejo de los recursos naturales, y de explorar alternativas viables para amplios sectores de suelo rústico insular. Se parte del criterio de la utilidad de detectar y trabajar sobre la base de experiencias concretas de buenas prácticas realizando un seguimiento y colaboración a fin de potenciar y extender sus efectos demostrativos. Especialmente relevante es detectar, analizar y potenciar casos de buenas prácticas en el manejo y gestión sostenible de recursos naturales limitados en nuestra isla, como el suelo fértil, cuidándolo y regenerándolo, a la vez que se mejora su productividad y se aprovechan de forma óptima recursos como el agua, la energía y los residuos, cerrando el ciclo, como recursos.

En este segundo taller participativo titulado “Colaboración transversal orientada a la puesta en valor de externalidades positivas de determinadas iniciativas agroecológicas en Tenerife” se pusieron las bases de la propuesta de proyecto, y en dicha propuesta se propone a la ADP-FEM como centro de formación de referencia; como recurso para aquellos programas públicos en apoyo de la inclusión social y la sostenibilidad; y como plataforma para la diseminación de las mejores prácticas. El segundo Taller se convirtió en toda una oportunidad para crear contextos y momentos de aprendizaje recíproco (Sousa Santos 2007).

Gráfico 1. Mapa institucional del taller



Figura 2. Secuencia de imágenes del Taller





Fuente: Fotos de Juan Sánchez

5. Resultados del ejercicio de transversalidad aplicado en el taller.

Las conclusiones del Taller participativo identifican a la ADP-FEM como potencial:

Laboratorio de sostenibilidad in situ

Espacio de encuentro para la transversalidad y su implicación en las líneas de acción política

Laboratorio para estudiar la replicabilidad del modelo ADP-FEM y su posible aplicación en la restauración de ecosistemas antropizados

Laboratorio para abordar las resistencias a la difusión de estos enfoques

Laboratorio de eficiencia energética

Laboratorio de estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático

Laboratorio para cultivar una cultura de la resiliencia

Laboratorio de inclusión social

Laboratorio para el voluntariado

Laboratorio relacionado con el tejido productivo

Laboratorio sobre circuitos cortos de comercialización

Laboratorio de conocimiento horizontal: campesino ↔ experto

Laboratorio de formación

Gráfico 2. Niveles de formación en la Finca El Mato y fotos asociadas a los distintos niveles



Los objetivos del proyecto son:

- Fomentar la agroecología como recurso para el suelo rústico insular y sus implicaciones en materia de sostenibilidad, inclusión social, turismo de calidad, bienestar social, salud y educación, economía y soberanía alimentaria.
- Promover, impulsar y desarrollar redes de colaboración entre instancias públicas privadas y la sociedad civil, con una orientación de valorización y potenciación de recursos endógenos con un enfoque innovador.

Para el desarrollo de este proyecto se ha tomado como caso piloto la experiencia de la Asociación para el Desarrollo de la Permacultura-Finca El Mato (ADP-FEM) al ser una experiencia de referencia, con una clara orientación de extensión en el ámbito de la recuperación y diseño de actividades agroecológicas y sociales sostenibles, declarada de utilidad pública, basada en la potenciación y aprovechamiento desde múltiples perspectivas de un recurso basado en un proyecto agroecológico, permacultural, con una visión integral sustentada en una experiencia de 18 años.

La estructura general de las acciones previstas es la siguiente:

- Acercamiento a la experiencia de la Finca el Mato y sus datos de referencia, con un estudio básico de la productividad de este tipo de agricultura y otros resultados ya existentes en los campos económico, ambiental y social.
- Talleres de visualización de opciones en las distintas líneas (o cruzando perspectivas con enfoque transversal).

- Desarrollo de las acciones subsiguientes abordables en el marco del proyecto, empleando para ello un entorno colaborativo e innovador.
- Presentación de conclusiones y debate.
- Publicación de resultados y formulación de proyectos derivados.

Carácter innovador del proyecto

- El concepto y método de trabajo transversal, trabajando intersectorialmente y con agentes del sector privado y social, centrados en el análisis concreto y profundización del potencial de una experiencia con alto carácter demostrativo de la gestión sostenible de recursos, profundizando en sus potencialidades, y abarcando la investigación aplicada, la experimentación y el contraste de resultados, la formación, el extensionismo transversal, etc.
- La capacidad para abordar ámbitos tan diversos y sin embargo conectados a través de un caso práctico de alta coherencia e innovador en muchos aspectos, como ha sido reconocido internacionalmente.

El proyecto LASOS está focalizando la atención “en los sistemas agrícolas en pequeña escala mediante la formación de alianzas públicas y privadas y un aumento de la inversión pública en investigación y extensión” contribuyendo de esa manera al aprovechamiento de las oportunidades que ya existen (IAASTD (2008)).

El proyecto lo integran 12 actividades, siendo la primera en el tiempo la “Investigación comparada sobre las potencialidades de aplicación de parámetros de agroecología en otras explotaciones seleccionadas”

El objetivo general de la mencionada actividad es desarrollar una metodología de estudio, a partir del realizado previamente en la Finca El Mato, para comparar criterios y construir indicadores en colaboración con la experiencia de otras iniciativas agroecológicas de la isla. Uno de sus objetivos específicos es la construcción y evaluación participativa de los indicadores agroecológicos desde parámetros económicos, ambientales y sociales como herramientas para el diagnóstico y planificación de los sistemas agroecológicos. Para ello se ha puesto en marcha un Taller en la ADP-FEM para principios de julio de 2014, que tiene como hilo conductor una tabla de sistematización de rendimientos por unidad de superficie y de índices equivalentes de tierra de la Finca El Mato como excusa para un debate más amplio sobre parámetros de agroecología (ambiental, social y económico) en la isla de Tenerife.

La metodología participativa del Taller hace que la participación empiece desde la propia invitación al mismo. La invitación queda condicionada por un compromiso de reciprocidad entre quien invita (ADP-FEM/ULL) y el invitado (un amplio perfil de personas con experiencia de “campo” entendiendo por "campo" un sentido amplio, en el sentido del proyecto LASOS, favorecedor de oportunidades-experiencias de extensionismo transversal). El que invita envía al invitado que muestra interés la tabla de sistematización de rendimientos por unidad de superficie y de índices equivalentes de tierra de la Finca El Mato, la metodología y fuentes con la que ha sido elaborada la tabla.

La tabla se elabora a partir de información generada desde mitad de marzo de 2014, aunque se dispone de datos de una semana de julio de 2013, a partir de la biocaja semanal, que uno de los autores de la comunicación recibe de la ADP-FEM como colaborador. Con este numerario se ha ido elaborando de una manera sui géneris un Indicador Equivalente de Tierra de la ADP-FEM. Se trata de un simple indicador de rendimiento por unidad de superficie pero un indicador del que se espera obtener cual ‘hilo de Ariadna’ indicadores agroecológicos desde parámetros económicos, ambientales y sociales durante el desarrollo del Taller de construcción y evaluación participativa.

Los pasos para la elaboración de la Tabla han sido los siguientes:

- a.- Se identifica y pesa cada producto de la caja y suma los pesos para calcular el peso total de la caja.
- b.- Al iniciar las estimaciones se plantea el siguiente supuesto: el área propiamente de cultivo de la finca es de 3.140 metros cuadrados (0,314 ha), y a dicha superficie la identificamos como una “máquina” que produce unidades homogéneas -las biocajas. Se asume que todas las cajas tienen las mismas características en diversidad y peso. De hecho las cajas se elaboran siguiendo el mismo patrón. Semanalmente se elaboran 35 cajas para tantas familias (independientemente de otras cajas que van dirigidas a distintos puestos de mercado), así que se calcula cuál sería el rendimiento al año (52 semanas) de cada producto y de la unidad multiproducto a partir de las 35 cajas. Si bien la Finca El Mato se puede entender como un Sistema de Manufacturación Flexible se asume que la caja de cada semana es la unidad de producto de un Sistema de Manufacturación Fijo durante todo el año. Con esos supuestos se calcula un IET cada semana a partir de la información proporcionada por la caja.
- c.- A continuación se proyectan cuáles serían los rendimientos en 1 hectárea del modelo Finca El Mato.
- d.- Se identifica a continuación a través de internet rendimientos de cada producto por hectárea en sistemas de monocultivo.
- e.- Se calcula la ratio entre la producción máxima por hectárea bajo el modelo ADP-FEM respecto al modelo monocultivo.
- f.- Se suma las ratios obtenidas y la suma sería el IET de la ADP-FEM de esa semana.

Tabla de sistematización de rendimientos por superficie en la Finca El Mato y el Índice Equivalente de Tierra como potencial indicador comparativo con otros sistemas (*)

Semana	1 (un.)	2 (gr.)	3 (kg.)	4 (kg.)	5 (IET)
05/07/2013	21	5930	10792,6	34371,3376	1,02646711
14/03/2014	22	5194	9453,08	30105,3503	1,26737028
21/03/2014	21	5777	10514,14	33484,5223	1,34355143
28/03/2014	19	5384	9833,6	31317,1975	1,30008331
16/04/2014	17	6537	11897,34	37889,6178	1,24980614
25/04/2014	19	6829	12428,78	39582,1019	1,3664213
02/05/2014	18	6349	11555,18	36799,9363	1,222008
09/05/2014	18	6249	11455,08	36481,1465	0,99638758
16/05/2014	18	7484	13628,88	43378,5987	1,43457865
23/05/2014	18	5758	10479,56	33374,3949	1,13226161
29/05/2014	19	5992	10905,44	34730,7006	1,1741641
06/06/2014	18	7034	12801,88	40770,3185	1,24964257
13/06/2014	22	7694	14003,08	44595,7962	1,64025769
Promedios	19,23077	6323,92308	11519,1262	36683,1553	1,26176921

1: Nº de hortalizas, verduras, plantas medicinales y frutas por caja semanal (en unidades)

2: Peso medio caja semanal (en gramos)

3: Rendimiento anual (52 semanas) según peso medio semanal por caja, con 35 cajas por semana en una superficie cultivada de la finca ADP-FEM de 0,314 ha (en kilos)

4: Rendimiento anual de 1 hectárea modelo ADP-FEM (en kilos)

5: Índice Equivalente de Tierra (IET): sumatorio de las ratios resultantes de comparar los rendimientos anuales por hectárea de cada producto según modelo ADP-FEM con los rendimientos máximos de cada producto en modelo monocultivo. Un IET > 1 significa que el modelo permacultural ADP-FEM sobreproduce en comparación con el modelo de monocultivo. Ver tablas de cálculo de IET semanales.

Cuadro 1. Tabla de IET (Fuente: elaboración propia)

Si la suma es mayor que 1 es que el sistema ADP-FEM sobreproduce respecto al sistema monocultivo. Un IET promedio de 1,23, que es el que disponemos actualmente, significa que se requiere una superficie total de 12.300 metros cuadrados en sistema monocultivo para producir el mismo rendimiento de esos productos obtenidos en 10.000 metros cuadrados (1 ha) en el modelo Finca El Mato. Habría tantas parcelas de monocultivos como productos haya esa semana en la caja, con una superficie por parcela acorde al tamaño de la ratio de cada producto.

Con los datos obtenidos hasta ahora (datos de 13 semanas) estos son los promedios: índice equivalente de tierra de 1,23; diversidad de verduras, hortalizas y frutas por caja de 19; peso medio por caja de 6,3 kilos; y algo más de 11,2 toneladas de verduras, hortalizas y fruta por año en una superficie de 3.140 metros cuadrados. Con estos datos se estima en 36,7 toneladas/año los rendimientos en 1 hectárea modelo ADP-FEM. Cada semana se va añadiendo una fila a la Tabla de sistematización a partir de la información proporcionada por la caja semanal

Unida a la Tabla se añade la siguiente encuesta:

- 1.- ¿Qué primera impresión te produce la configuración de la tabla y los datos que contiene?
- 2.- ¿Qué dudas/preguntas te suscitan?
- 3.- ¿Qué variables crees que pueden estar detrás de los datos de la Tabla?
- 4.- ¿Con qué variables te gustaría seguir indagando para mejorar/ampliar la Tabla?
- 5.- ¿Alguna sugerencia/cuestión a abordar en el Taller del lunes 7 de julio?

Durante la semana antes a la celebración del Taller el equipo responsable del mismo sistematizara las ideas centrales de las encuestas con el fin de devolver dicha sistematización a los asistentes al Taller días antes de su realización para que la utilicen como material de trabajo en el desarrollo del mismo. Dicha sistematización sirve igualmente para elaborar el guión de la visita a la Finca con la que se iniciará el Taller. Guión que tendrá en cuenta como hilo conductor

las preocupaciones/preguntas/dudas recibidas y sistematizadas en el documento colectivo de la fase del pre-taller.

La tabla pretende ser una excusa a partir de la cual, y mediante la aplicación de una metodología incremental a partir de las experiencias de los asistentes al Taller, se elaboren y contrasten indicadores de extensionismo transversal a partir de la agroecología.

6. Conclusiones

- Hacemos nuestras las principales conclusiones del Informe IAASTD (2008). A saber, a) La agricultura opera en sistemas complejos y por su naturaleza es multifuncional; b) El aumento y el fortalecimiento de los conocimientos, la ciencia y la tecnología agrícolas (CCTA) orientados a las ciencias agroecológicas contribuirán a resolver cuestiones ambientales, al tiempo que se mantiene y aumenta la productividad; c) El fortalecimiento y la reorientación de la generación y aplicación de los CCTA contribuirán a la eliminación de una serie de inequidades socioeconómicas persistentes; d) La atención focalizada en los sistemas agrícolas en pequeña escala mediante la formación de alianzas públicas y privadas y un aumento de la inversión pública en investigación y extensión contribuye al aprovechamiento de las oportunidades que ya existen; e) Muchos de los desafíos actuales y futuros de la agricultura harán necesario aplicar los conocimientos científicos y tecnológicos existentes (formales, tradicionales y de origen comunitario) de una manera más innovadora e integrada, junto con nuevas estrategias de gestión agrícola y de los recursos naturales.

- Consideramos que el estudio de caso de la ADP-FEM puede ser caracterizado simultáneamente como un estudio de caso crítico, extremo y paradigmático:

a) *extremo*, por las posibilidades que tiene de generar información de casos inusuales como puede ser la permacultura; b) *crítico*, por la importancia estratégica que pueda tener en relación a un problema general, como puede ser el estado de la biodiversidad, ofreciendo la permacultura una oportunidad para protegerla y restaurarla con eficacia; y c) *paradigmático*, por lo que puede tener de valor prototípico y de establecimiento de estándares para otras situaciones, como queda reflejado en el proyecto LASOS.

- Y, por último, desde la posición de identificar a la ADP-FEM como una iniciativa de transición nos hemos animado a colaborar en historias de orientación en y desde la universidad con investigación orientada a y con la comunidad, argumentando el importante papel que tiene la institución académica en favorecer ese necesario “mar” que une a las islas-iniciativas autónomas que practican la medida y el límite.

Y al hablar de la universidad hay que hablar de la necesidad del diálogo interdisciplinario y de la importancia del disenso “productivo” en el trabajo interdisciplinario. Como apunta Marquard (2007) el trabajo interdisciplinario alcanza su meta no cuando todos los participantes coinciden en la misma

opinión (consenso), sino cuando cada participante abandona la reunión llevando en su cabeza cosas distintas que cuando llegó a ella (disentimiento “productivo”). Esperamos contribuir con este documento a un ejercicio de disentimiento “productivo”.

Referencias bibliográficas

- Amigos de la Tierra (2012), *Alimentos kilométricos. Las emisiones de CO₂ por la importación de alimentos al Estado español*. (http://issuu.com/amigos_de_la_tierra_esp/docs/informe_alimentoskm).
- Altieri, H. y Nicholls, C. (2010), “Agroecología: potenciando la agricultura campesina para revertir el hambre y la inseguridad alimentaria en el mundo”, *Revista de Economía Crítica*, nº10. (<http://revistaeconomiacritica.org/sites/default/files/revistas/n10/4.pdf>)
- De Schutter, O. (2010), *Informe del Relator Especial sobre el derecho a la alimentación*. A/HRC/16/49 Asamblea General de las Naciones Unidas.
- De Sousa Santos, B. (2007), “El Foro Social Mundial y el Auto-aprendizaje: La Universidad Popular de los Movimientos Sociales”, *Revista Theomai. Estudios sobre Sociedad y Desarrollo*, 15. (http://revista-theomai.unq.edu.ar/NUMERO15/ArtSantos_15.pdf)
- Flyvbjerg, B. (2001), *Making Social Science Matter. Why Social Inquiry Fails and How It Can Succeed Again*, Cambridge University Press, Cambridge.
- GRAIN (2009), *La crisis climática es una crisis alimentaria*, (<http://www.grain.org/es/article/entries/4170-la-agricultura-campesina-puede-enfriar-el-planeta>)
- Henry, J.S. (2012), *The price of offshore revisited*, Tax Justice Network. Julio. (http://www.taxjustice.net/wp-content/uploads/2014/04/Price_of_Offshore_Revisited_120722.pdf).
- Hopkins, R. (2008), *The Transition Handbook: From Oil Dependency to Local Resilience*, Chelsea Green Publishing, Vermont (<http://uniteddiversity.com/transition-handbook/>)
- IAASTD (2008), *International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development* (http://www.agassessment.org/index.cfm?Page=About_IAASTD&ItemID=2).
- Kaufman, F. (2010), “The Food Bubble: How Wall Street Starved Millions and Got Away with it”, *Harper’s Magazine*, pp.27-34. (<http://frederickkaufman.typepad.com/files/the-food-bubble-pdf.pdf>).
- Marquard, O. (2006), “El hombre "de este lado de la utopía"”, en *Felicidad en la infelicidad*. Katz Editores.
- Masters, M (2008), *Testimonio ante el Comité de Seguridad Interna y Asuntos Gubernamentales del Congreso norteamericano* (<http://www.bcr.com.ar/Publicaciones/serie%20de%20lecturas/Michael%20Masters%20ante%20el%20comit%C3%A9%20de%20seguridad.pdf>)
- Maystre, N. y Bicchetti, D. (2012), “The rise of the machine: Does high-frequency trading alter commodity prices?”, *VOX. Research-based policy analysis and commentary from leading economists*, 5 de abril. (<http://www.voxeu.org/article/are-commodity-derivatives-good-or-bad-new-evidence-high-frequency-data>)

Mazuelas-Repetto, D., Reyes-Barroso, J. y Sánchez-García, J (2014), "Permaculture: a great excuse for building a bridge between civil society and university", S. Brodersen, J. Dorland and M Søgaaard Jørgensen (ed), Living Knowledge Conference Paper Book, pp. 197-230.

http://www.livingknowledge.org/lk6/wp-content/uploads/2014/04/LK6_Full-paper-book_April-2014.pdf

Robin, M-M. (2013), *Las cosechas del futuro*, Península.

Sánchez García, J. (2012). "Observar primero y reflexionar después a la sombra de lo percibido: una metodología tradicional y rica para abordar el análisis territorial", en *Los costes de la crisis y alternativas en construcción*, XIII Jornadas de Economía Crítica, Sevilla, febrero

(<http://pendientedemigracion.ucm.es/info/ec/jec13/Ponencias/economia%20regional%20y%20territorio/Observar%20primero%20y%20reflexionar%20despues.pdf>)

Shiva, V (2012), "El casino del sistema alimentario global", *Rebelión* (<http://www.rebelion.org/noticia.php?id=156250>)

Slow Food (2012) *La centralidad del alimento*, Documento congresual 2012-16 http://www.slowfood.com/filemanager/official_docs/SFCONGRESS2012_La_centralidad_del_alimento.pdf?-

[session=query_session:42F94BCF0efe50354Bwj4881310](http://www.slowfood.com/filemanager/official_docs/SFCONGRESS2012_La_centralidad_del_alimento.pdf?-session=query_session:42F94BCF0efe50354Bwj4881310)

Veterinarios sin Fronteras (2011), "Banca bajo control", 15 de febrero, 12pp.



XIV JORNADAS DE ECONOMÍA CRÍTICA

Perspectivas económicas alternativas

Valladolid, 4 y 5 de septiembre de 2014

Intensidad energética en el transporte de mercancías por carretera de vehículos pesados. España. 1996-2010.

Lidia Andrés y Emilio Padilla

Universidad Autónoma de Barcelona

INTENSIDAD ENERGÉTICA EN EL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS POR CARRETERA DE VEHÍCULOS PESADOS. ESPAÑA. 1996-2010

Lidia Andrés y Emilio Padilla

Departamento de Economía Aplicada. UAB. Campus de Bellaterra, 08193 Cerdanyola del Vallès, España. Tel.: +34 93 581 1276. E-mails: lidia.andres@uab.es; emilio.padilla@uab.es

Resumen

Esta investigación estudia los factores que han influido en la evolución de la intensidad energética en el transporte de mercancías por carretera de los vehículos pesados en España entre los años 1996 y 2010. Para el análisis se emplea el método de descomposición paramétrico LMDI-II en su versión multiplicativa tanto anual como acumulativa. Los resultados apuntan a que la disminución de la intensidad energética del transporte español de mercancías por carretera para el período analizado se explica por el efecto intensidad (menor consumo de energía por tonelada-kilómetro transportada), compensado parcialmente por el efecto estructura (mayor peso del transporte de mercancías más intensivo en uso de energía). El artículo profundiza en el conocimiento de esta evolución cuantificando la contribución del transporte de los diferentes grupos de mercancías a ambos efectos mediante la atribución de los cambios en el índice Divisia.

Palabras clave: intensidad energética, transporte de mercancías por carretera, LMDI, descomposición del índice Divisia.

Clasificación JEL: C69, L92, Q49, Q59

1. Introducción

En las últimas décadas ha habido una preocupación creciente por conseguir un uso más eficiente de la energía (IEA 1997). El interés de una mayor eficiencia energética no sólo radica en la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas del consumo de combustible, sino también en factores como la menor dependencia energética o el ahorro en los costes energéticos. Profundizar en el estudio de los determinantes de la evolución del consumo de la energía es relevante, pues, para facilitar la puesta en marcha de políticas que favorezcan el ahorro y un uso energético más eficiente.

Entre 1996 y 2010 las emisiones de gases de efecto invernadero en España han mostrado un comportamiento diferenciado al del resto de países de su entorno, al aumentar un 14,3% frente a la reducción de un 11,1% en la UE-28 (emisiones de CO₂ equivalente de los seis gases contemplados por el protocolo de Kioto)(Eurostat 2013). Uno de los sectores que más ha contribuido a esta evolución negativa ha sido el sector del transporte, cuyas emisiones han crecido un 30,8% durante el periodo, siendo responsable en el año 2010 del 26,4% del total –de las cuales un 91,6% corresponde al transporte por carretera. La tendencia ascendente de las emisiones en el sector del transporte español se explica por un ascenso en su consumo energético de un 33,7% en el periodo, alcanzando en 2010 un 41,8% del consumo total de energía final (Eurostat 2013). Estos resultados muestran que, entre los años 1996 y 2010, el sector del transporte español no ha sido capaz de revertir la trayectoria creciente, en cuanto a consumo energético, que ya mostraba desde la década de los 70s (Stead 2001), de lo que se deriva la dificultad de reducir el crecimiento de sus emisiones.

Numerosas investigaciones han analizado la participación del sector transporte en el consumo de energía final y/o en el de las emisiones relacionadas. Una parte de esta literatura fundamenta el análisis en los modelos descriptivos IPAT. Basándose en dichos modelos, la Agencia Internacional de la Energía ha desarrollado la ecuación ASIF (IEA 1997) con el fin de investigar el impacto de las emisiones de cualquier tipo de contaminante en el sector del transporte. Siguiendo esta línea, dos actividades diferenciadas se distinguen: el transporte de viajeros y el de mercancías. Cabe añadir que el análisis de ambas actividades va acompañado, en ocasiones, de un análisis de descomposición paramétrico, utilizando desde los métodos más tradicionales como el Laspeyres (Millard-Ball y Schipper 2010), hasta otros más recientes y mejorados, como el índice de media logarítmica Divisia (LMDI) (Sorrell et al. 2009 y 2012).

En el caso del transporte de viajeros cabe destacar las contribuciones de Schipper (2011) que estudia las pautas de comportamiento en el uso del automóvil y el consumo de combustible en los países industrializados entre 1970 y 2010 y determina los factores que permitirían la reducción de las emisiones relacionadas; Millard-Ball y Schipper (2010) que consideran la evolución experimentada por el consumo energético del transporte de viajeros entre 1973 y 2007 en ocho países industrializados; o Eorn y Schipper (2010) que investigan la tendencia experimentada por el consumo energético en el transporte de viajeros de Corea del Sur entre 1986 y 2007.

En el caso particular del transporte de mercancías por carretera cabe destacar, entre otros, los trabajos de McKinnon y Piecyk (2009) que examinan diferentes fuentes y métodos de medición de emisiones de dióxido de carbono para el caso del transporte de mercancías por carretera de vehículos pesados en el Reino Unido; Kamakaté y Schipper (2009) que estudian el uso energético del transporte de mercancías por carretera para Australia, Francia, Japón, Estados Unidos y el Reino Unido entre 1973 y 2005; Vanek y Campbell (1999) que exploran la tendencia del consumo energético y de la intensidad energética del transporte por carretera de 14 grupos de mercancías entre los años 1985 y 1995 en el Reino Unido; Vanek y Morlok (2000) que investigan la evolución del consumo energético en el transporte de mercancías desagregado por mercancías y por modo de transporte en Estados Unidos; y Sorrell et al. (2009 y 2012) quienes indagan sobre los factores conducentes al lento crecimiento del consumo energético del transporte de mercancías por carretera para el caso del Reino Unido entre los años 1989 y 2004.

En cuanto a la literatura que analiza el consumo energético y las emisiones relacionadas del subsector del transporte en España, cabe apuntar los trabajos de Mendiluce y Schipper (2011) que analizan la tendencia experimentada por el consumo energético y las emisiones relacionadas del sector del transporte español diferenciando entre viajeros y mercancías y modos de transporte entre los años 1990 y 2008; Pérez Martínez (2009) revisa determinados indicadores de eficiencia y comportamiento en el transporte de mercancías por carretera para el caso español entre los años 1997 y 2003; Pérez Martínez (2010) investiga el transporte de mercancías, su consumo energético y las emisiones relacionadas para el periodo 1990-2008 y realiza previsiones para el año 2025; finalmente, Pérez Martínez y Monzón de Cáceres (2008) comparan la evolución de los indicadores del sector de transporte español —consumo energético y emisiones de CO₂— con el resto de los países de la Unión Europea para el periodo 1988-2006.

A diferencia de los artículos citados anteriormente, el objetivo de esta investigación se centra en el estudio de la intensidad energética del transporte de mercancías, su evolución y los factores que la determinan; desagregando el análisis, además, por mercancías. Este análisis profundiza en la comprensión de uno de los componentes del consumo energético, la intensidad energética, variable que no ha sido examinada en detalle con anterioridad para el caso del transporte de mercancías, pero clave para lograr un consumo energético más eficiente de la actividad. Se complementa, así, los estudios que sobre consumo energético en el transporte de mercancías se han realizado hasta el momento. La investigación, aplicada al transporte de mercancías por carretera de los vehículos pesados en España entre los años 1996 y 2010, utiliza la metodología ASIF y se completa, además, con el método de descomposición paramétrico LMDI-II en su forma multiplicativa tanto anual como acumulativa, que determina la importancia de los efectos intensidad y estructura en la trayectoria de la intensidad energética. Asimismo, con el objetivo de ahondar en los resultados obtenidos en el análisis de descomposición, se aplica una extensión del mismo, la atribución de los cambios en el índice Divisia, metodología novedosa que permite, aplicada a este caso, cuantificar la participación de los diferentes grupos de mercancías en la evolución de los efectos considerados. Se trata, precisamente, de detectar el grado en que cada

grupo de mercancías ha contribuido a la evolución de la intensidad energética medida como energía consumida por tonelada-kilómetro transportada —efecto intensidad—, y de analizar cómo el cambio relativo en la estructura del transporte de los diferentes tipos de mercancías afecta asimismo a la evolución de la misma —efecto estructura—. Este artículo pretende contribuir, así, a un mayor conocimiento de los factores explicativos de la evolución experimentada por la intensidad energética en el transporte de mercancías por carretera, que posibilite el diseño de medidas que permitan alcanzar una mayor eficiencia energética en esta actividad.

En el siguiente apartado se presenta la base de datos y la metodología utilizada. En el tercero, se analiza la intensidad energética agregada y por mercancías y su evolución en el período considerado. En el cuarto, se analizan los resultados obtenidos en el análisis de descomposición ampliado. Finalmente, el último apartado recoge las principales conclusiones del trabajo.

2. Datos y metodología

2.1. Datos

La base de datos utilizada es la de la *Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera* (EPTMC) realizada por el Ministerio de Fomento (1996-2010). Esta encuesta es de carácter continuo y tiene como objetivo principal investigar las operaciones de transporte de los vehículos pesados españoles y medir, así, el grado de actividad del sector. La población objeto de estudio está formada por el conjunto de cabezas tractoras y por los vehículos rígidos o camiones con capacidad de carga útil superior a 3,5 toneladas y con un peso máximo autorizado superior a 6 toneladas, matriculados en España. Se investigan todas las operaciones realizadas por estos vehículos tanto en territorio nacional como en el extranjero. La encuesta recoge información sobre la mercancía transportada —siguiendo la nomenclatura NST/R (nomenclatura uniforme de mercancías para las estadísticas de transporte) desagregada a dos dígitos (véase el Apéndice I) —, el origen, el destino, la distancia de la operación y las características del vehículo (y en su caso del remolque o semirremolque).

Las características técnicas del vehículo que realiza el transporte, el tipo de vehículo y el peso máximo autorizado han permitido definir, tal como se describe en el Cuadro 1, diferentes tipos de vehículos. Teniendo en cuenta lo anterior, en esta investigación se asigna a cada tipo de vehículo un consumo medio de combustible por kilómetro recorrido. La asignación del consumo de combustible se lleva a cabo, por una parte, teniendo en cuenta las pautas que el *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía* (IDAE) ofrece en su *Guía para la gestión del combustible en las flotas del transporte por carretera* (2006), pues se publican estándares generales de referencia de consumos de los diferentes vehículos de flota y, por otra parte, los consumos medios de combustible por vehículo publicados en el *Observatorio del mercado del transporte de mercancías por carretera* (OMTMC 2010) monográfico del *Ministerio de Fomento*. Asimismo, se ha comprobado que los consumos

medios anuales resultantes tras la asignación se corresponden con los publicados por el IDAE en su *Informe anual de indicadores energéticos* (2011), donde se recogen los consumos específicos medios del sector del transporte para diferentes tipos de vehículos, incluidos los vehículos pesados.

Cuadro 1. Tipos de vehículo según sus características técnicas

Ejes	PMA (toneladas)
Rígido	≤ 7,5 ton
	>7,5 ton ≤ 18 ton
	>18 ton
Articulado	≤ 26 ton
	>26 ton ≤ 40 ton
	>40 ton

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Ministerio de Fomento (1996-2010) y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2006)

Cabe señalar que hasta el año 2002 en la EPTMC estaban excluidas las operaciones realizadas dentro de un mismo término municipal. Por este motivo, y con el fin de obtener una serie de datos homogénea, el presente análisis únicamente recoge las operaciones de transporte intermunicipales, que representan en el peor de los casos un 97,1% del total de toneladas-kilómetro de mercancías transportadas por carretera (Cuadro 2) en el periodo considerado.

Cuadro 2. Representatividad del transporte intermunicipal por carretera de los vehículos pesados en España. 2002-2012

	Millones Tn-Km	Intermunicipal
2002	184.545	97,3%
2003	192.587	97,1%
2004	220.816	97,2%
2005	233.219	97,5%
2006	241.758	97,5%
2007	258.870	98,0%
2008	242.978	98,2%
2009	211.891	98,5%
2010	210.064	98,8%
2011	206.840	98,9%
2012	199.205	99,2%

Fuente: EPTMC, Ministerio de Fomento (1996-2010)

Los datos necesarios para llevar a cabo la descomposición de la intensidad energética del transporte por carretera de mercancías son los datos de consumo energético y actividad para todos los años del período a analizar. Esto es, desde 1996 hasta 2010, y éstos desagregados por mercancías. La EPTMC proporciona directamente datos sobre la actividad del transporte por tipo de mercancía, mientras que los datos de consumo energético en el

transporte por tipo de mercancía deben ser estimados. La metodología utilizada se presenta en el siguiente subapartado.

2.2. Metodología

2.2.1. Metodología ASIF

La metodología ASIF, desarrollada por la Agencia Internacional de la Energía (IEA 1997), analiza el impacto de las emisiones de cualquier tipo de contaminante en el sector del transporte, de manera que:

$$G = \sum A S_i I_i \sum F_{i,j} \quad (1)$$

donde G es la emisión de un determinado contaminante, A es la actividad total del sector del transporte, S_i indica la participación de los diferentes modos de transporte i respecto a la actividad total, I_i es la intensidad energética del modo de transporte i y $F_{i,j}$ es el tipo de combustible j utilizado por el modo de transporte i. Debe considerarse que este análisis sólo tiene en cuenta cuál es el uso final de energía directa requerido para el transporte de mercancías, y no tiene en cuenta el consumo energético indirecto¹.

Generalmente, los estudios (por ejemplo, Vaneck y Morlock (2000) y Millard-Ball y Schipper (2010)) que se centran en el uso de la energía (E), y no en las emisiones de gases efecto invernadero, analizan los tres primeros componentes e ignoran el consumo de los distintos tipos de combustible. De manera que la ecuación queda como sigue:

$$E = \sum A S_i I_i \quad (2)$$

En esta investigación, cuyo objetivo es analizar la intensidad energética del transporte de mercancías por carretera, el modo de transporte no es la variable empleada para desagregar el análisis. En nuestro caso, la desagregación se lleva a cabo por mercancía (c). Así, la estimación a realizar sería como sigue, utilizando nuestra propia terminología:

$$E = \sum TKM S_c I_c \quad (3)$$

Donde E es el consumo energético realizado en el transporte de mercancías por carretera; TKM es la actividad total del sector del transporte de mercancías medida en toneladas-kilómetro; S_c indica la participación relativa del transporte de cada mercancía en el conjunto de la actividad; I_c es la intensidad energética en el transporte de la mercancía c.

La estimación en el año t del consumo energético en el transporte de la mercancía c (E_{ct}) se calcula como sigue:

$$E_{ct} = \sum_k E_{ckt} = \sum_k VKM_{ckt} AF_{ckt} e \quad (4)$$

¹ Entendido como el consumo de energía necesario en la fabricación de los vehículos, de las infraestructuras y su mantenimiento, y el reciclaje y desmantelamiento de los mismos una vez finalizada su vida útil, así como la energía utilizada en la obtención del combustible (extracción, refinado y distribución).

Donde VKM_{ckt} es el número de kilómetros anuales recorridos por el tipo de vehículo k en el año t transportando la mercancía c ; AF_{ckt} es el consumo de combustible medio anual por kilómetro recorrido realizado por el tipo de vehículo k en el año t transportando la mercancía c ²; e es el factor de conversión —combustible/energía— proporcionado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2010).

Cabe decir que la EPTMC proporciona directamente VKM_{ckt} , sin embargo, existe un problema puesto que la desagregación de la actividad por mercancías incluye la actividad del vehículo en vacío como otra “mercancía” más, por tanto no hay información sobre cómo se corresponden los desplazamientos del vehículo en vacío con el transporte de las diferentes mercancías. Dado que sobre cada vehículo existe registro de la distancia recorrida en las operaciones en carga y en vacío, se ha optado por asignar la distancia recorrida en los desplazamientos en vacío proporcionalmente a la distancia recorrida por el vehículo al transportar las diferentes mercancías.

2.2.2 La metodología de descomposición M-LMDI-II en los efectos intensidad y estructura

El análisis de descomposición de índices (IDA, por sus iniciales en inglés) tiene como objetivo desagregar la variable a analizar en diferentes factores explicativos. En el caso del consumo energético, la descomposición recogería tres efectos: escala, estructura e intensidad. Con el fin de estudiar el impacto del cambio estructural en el sector español de transporte de mercancías por carretera, en esta investigación se procede a aplicar el método de descomposición M-LMDI-II³ a la intensidad energética en lugar de al consumo energético. Aunque el análisis de este último es relevante, la intensidad energética resulta ser la variable más adecuada de estudio, pues al centrar el análisis en ésta y no en el consumo energético, se evita el problema que aparece al estudiar un período de análisis amplio con una tasa de crecimiento de la actividad elevada: el efecto escala estimado tiende a ser muy significativo y muy superior al resto de efectos (Ang 1994).

En el caso de la intensidad energética, la descomposición comprende dos efectos: el efecto estructura (SE), que proporciona una medida de cambio en la intensidad energética debido a la variación relativa del peso de las mercancías más intensivas energéticamente en su transporte, y el efecto intensidad, (IE), como indicador de la variación de la intensidad energética debida a la variación de la eficiencia energética aparente de los vehículos de transporte por carretera de mercancías —medida como consumo energético por tonelada-kilómetro—, variación que puede deberse a un cambio en el consumo de combustible por tonelada-kilómetro, al tráfico, a las condiciones de conducción, o al estado de las carreteras, entre otros factores.

² La asignación de consumo de combustible por kilómetro recorrido por el tipo de vehículo k en el año t en el transporte de la mercancía c se describe en el apartado 2.1.

³ A pesar de que en la mayoría de los estudios IDA se utiliza el método M-LMDI-I en lugar del M-LMDI-II, al no ser el primero una genuina media geométrica —condición para la aplicación de la atribución de los cambios en el índice Divisia— se ha optado por presentar en esta investigación el M-LMDII. Sin embargo, se ha comprobado que los resultados obtenidos con el M-LMDI-I son prácticamente idénticos a los aquí obtenidos.

Siguiendo el análisis IDA, la intensidad energética agregada en el año t puede expresarse de la siguiente manera:

$$I_t = \sum_t S_{ct} I_{ct} \quad (5)$$

con:

$$S_{ct} = \frac{TKM_{ct}}{TKM_t} \quad y \quad I_{ct} = \frac{E_{ct}}{TKM_{ct}}$$

donde E_{ct} se corresponde con el consumo energético realizado en el transporte de la mercancía c en el año t; TKM_{ct} es el indicador de actividad y recoge el total de toneladas-kilómetro transportadas de la mercancía c en el año t; S_{ct} indica la participación relativa del transporte de la mercancía c en el total de la actividad en el año t; I_{ct} define la intensidad energética en el transporte de la mercancía c en el año t como la energía consumida durante el año t al ser transportada una tonelada de la misma a lo largo de un kilómetro.

El método aplicado en esta investigación se corresponde con el índice de media logarítmica Divisia en su forma multiplicativa (M-LMDI). La elección del método LMDI se explica porque satisface una serie de condiciones que lo señalan como un método de descomposición superior a otros métodos paramétricos (Ang 2004). En primer lugar, es un método de descomposición perfecta, es decir, no aparecen términos residuales en los resultados, por lo que aprueba el test del criterio de reversibilidad. En segundo lugar, cuando los datos contienen el valor 0 funciona correctamente si se sustituye éste por un valor muy pequeño, por tanto, muestra robustez en el valor 0. En tercer lugar, aprueba el test del criterio de reversibilidad en el tiempo, o sea, que los resultados son idénticos si la descomposición se realiza hacia delante o hacia atrás en el tiempo. En cuarto lugar, supera el test de agregación, lo que significa que es consistente la agregación de los resultados de la descomposición realizada por subgrupos, independientemente de cómo éstos hayan sido definidos. En quinto lugar, la sencillez en su aplicación e interpretación de los resultados. En sexto lugar, su adaptabilidad. Asimismo, la no existencia de datos negativos en la base de datos del análisis no hace necesaria la utilización de métodos alternativos relacionados con el índice de Laspeyres. Finalmente, cabe decir que los resultados obtenidos en la versión multiplicativa de este método están vinculados con los obtenidos en la versión aditiva a través de una fórmula sencilla, de manera que puede derivarse el efecto estimado en la descomposición aditiva a través del mismo efecto estimado en la descomposición multiplicativa y a la inversa. Para una información más detallada de las propiedades de los diferentes métodos de descomposición véase, por ejemplo, Ang y Zhang (2000), Lenzen (2006) y Ang y Liu (2007).

La *descomposición anual* de la intensidad energética en su forma multiplicativa muestra el cambio en la intensidad energética (5) para dos años consecutivos como $\frac{I_t}{I_{t-1}}$, descomponiéndose la misma a su vez en los efectos intensidad y estructura:

$$\frac{I_t}{I_{t-1}} = \frac{IE_t}{IE_{t-1}} \times \frac{SE_t}{SE_{t-1}} \quad (6)$$

En el caso del M-LMDI-II, la forma que adopta cada uno de los efectos respectivamente sigue la siguiente fórmula:

$$\frac{IE_t}{IE_{t-1}} \equiv \exp\left(\sum_{c=1}^n w_c \ln \frac{I_{c,t}}{I_{c,t-1}}\right) \quad (7)$$

$$\frac{SE_t}{SE_{t-1}} \equiv \exp\left(\sum_{c=1}^n w_c \ln \frac{S_{c,t}}{S_{c,t-1}}\right) \quad (8)$$

con:

$$w_c = \frac{L\left(\frac{E_{c,t}}{E_t}, \frac{E_{c,t-1}}{E_{t-1}}\right)}{\sum_{c=1}^n L\left(\frac{E_{c,t}}{E_t}, \frac{E_{c,t-1}}{E_{t-1}}\right)} \quad y \quad L(a, b) = \begin{cases} \frac{(a-b)}{(\ln a - \ln b)}, & a \neq b \\ a, & a = b \end{cases}$$

Donde L (a, b) es la media logarítmica entre a y b

Para el caso de la *descomposición acumulativa* en su forma multiplicativa, el método Divisia describe el cambio en la intensidad energética como:

$$\frac{I_T}{I_0} = \prod_{t=1}^T \frac{I_t}{I_{t-1}} = \prod_{t=1}^T \left(\frac{IE_t}{IE_{t-1}} \times \frac{SE_t}{SE_{t-1}}\right) = \prod_{t=1}^T \frac{IE_t}{IE_{t-1}} \times \prod_{t=1}^T \frac{SE_t}{SE_{t-1}} = \frac{IE_T}{IE_0} \times \frac{SE_T}{SE_0} \quad (9)$$

donde el lado derecho de la expresión (9) es el producto acumulado entre los años 0 y T de los efectos intensidad y estructura entre dos años consecutivos (t-1,t), tal que:

$$\frac{IE_T}{IE_0} = \prod_{t=1}^T \frac{IE_t}{IE_{t-1}} \quad (10)$$

$$\frac{SE_T}{SE_0} = \prod_{t=1}^T \frac{SE_t}{SE_{t-1}} \quad (11)$$

2.2.3 La atribución de los cambios en los efectos intensidad y estructura (medidos con el índice Divisia) a los distintos grupos de mercancías

La metodología descrita en Choi y Ang (2012) consiste en atribuir los cambios experimentados por el efecto intensidad medido con el índice Divisia a las diferentes fuentes asociadas a dichos cambios. La aplicación de esta metodología no tan sólo al efecto intensidad sino también al efecto estructura permite obtener, en este caso, un análisis más detallado de la contribución del transporte de los diferentes grupos de mercancías en la evolución de los dos efectos, determinantes ambos de la evolución de la intensidad energética.

El procedimiento a aplicar, basado en la transformación de un índice de media geométrica, como es el caso del M-LMDI-II en un índice de media aritmética, se presenta a continuación tanto en el caso de descomposición anual como en el caso de descomposición acumulativa. En el caso de la *descomposición anual* la fórmula a emplear es como sigue para los efectos intensidad y estructura:

$$\frac{IE_t}{IE_{t-1}} - 1 = \sum_{c=1}^n S_c^I \left(\frac{I_{c,t}}{I_{c,t-1}} - 1\right) \quad (12)$$

$$\frac{SE_t}{SE_{t-1}} - 1 = \sum_{c=1}^n s_c^S \left(\frac{S_{c,t}}{S_{c,t-1}} - 1 \right) \quad (13)$$

donde $s_c^I \left(\frac{I_{c,t}}{I_{c,t-1}} - 1 \right)$ y $s_c^S \left(\frac{S_{c,t}}{S_{c,t-1}} - 1 \right)$ se corresponden con la contribución del transporte de la mercancía c en el cambio experimentado por el efecto intensidad y por el efecto estructura respectivamente entre los años $t-1$ y t definida s_c en cada caso tal que:

$$s_c^I = \frac{\frac{w_c}{L(I_{c,t}, I_{c,t-1}, \frac{IE_t}{IE_{t-1}})} I_{c,t-1}}{\sum_{k=1}^n \frac{w_k}{L(I_{k,t}, I_{k,t-1}, \frac{IE_t}{IE_{t-1}})} I_{k,t-1}} \quad (14)$$

y

$$s_c^S = \frac{\frac{w_c}{L(S_{c,t}, S_{c,t-1}, \frac{SE_t}{SE_{t-1}})} S_{c,t-1}}{\sum_{k=1}^n \frac{w_k}{L(S_{k,t}, S_{k,t-1}, \frac{SE_t}{SE_{t-1}})} S_{k,t-1}} \quad (15)$$

Para el caso de la *descomposición acumulativa* la fórmula para conseguir la desagregación de los efectos intensidad y estructura sería:

$$\frac{IE_T}{IE_0} - 1 = \sum_{c=1}^n \sum_{t=1}^T \frac{IE_{t-1}}{IE_0} s_{c,t-1,t}^I \left(\frac{I_{c,t}}{I_{c,t-1}} - 1 \right) \quad (16)$$

$$\frac{SE_T}{SE_0} - 1 = \sum_{c=1}^n \sum_{t=1}^T \frac{SE_{t-1}}{SE_0} s_{c,t-1,t}^S \left(\frac{S_{c,t}}{S_{c,t-1}} - 1 \right) \quad (17)$$

La ecuación (16) muestra que el cambio porcentual del efecto intensidad entre los años 0 y T es la suma acumulada de los cambios porcentuales anuales valorados en el año 0 a través de IE_{t-1}/IE_0 . Donde, $s_{c,t-1,t}^I$ se define de la siguiente manera:

$$s_{c,t-1,t}^I = \frac{\frac{w_{c,t-1,t}}{L(I_{c,t}, I_{c,t-1}, \frac{IE_t}{IE_{t-1}})} I_{c,t-1}}{\sum_{k=1}^n \frac{w_{k,t-1,t}}{L(I_{k,t}, I_{k,t-1}, \frac{IE_t}{IE_{t-1}})} I_{k,t-1}} \quad (18)$$

De forma paralela, la ecuación (17) expresa el cambio porcentual del efecto estructura entre los años 0 y T, siendo $s_{c,t-1,t}^S$ tal que:

$$s_{c,t-1,t}^S = \frac{\frac{w_{c,t-1,t}}{L(S_{c,t}, S_{c,t-1}, \frac{SE_t}{SE_{t-1}})} S_{c,t-1}}{\sum_{k=1}^n \frac{w_{k,t-1,t}}{L(S_{k,t}, S_{k,t-1}, \frac{SE_t}{SE_{t-1}})} S_{k,t-1}} \quad (19)$$

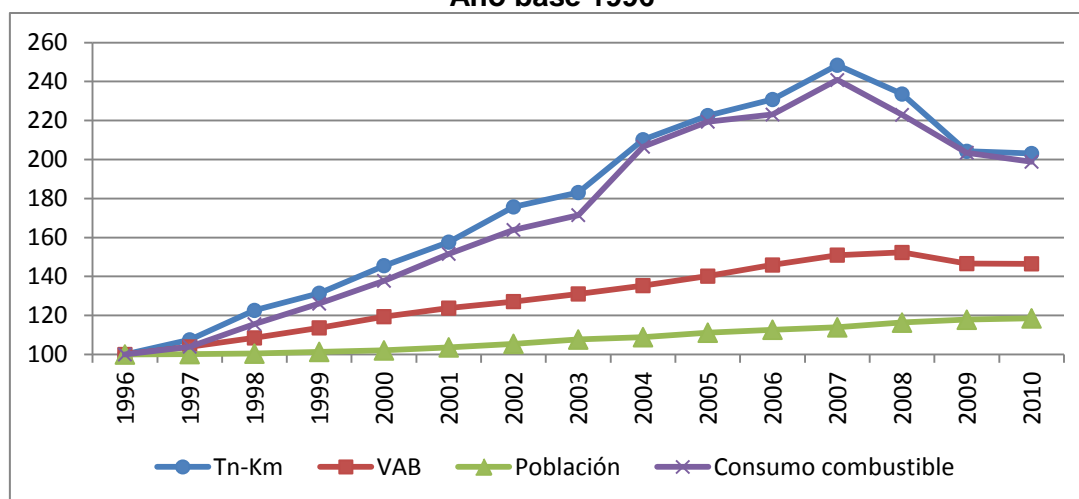
La contribución del transporte de la mercancía c en la variación experimentada por el efecto intensidad entre los años $t-1$ y t se corresponde, por tanto, con el valor $\frac{IE_{t-1}}{IE_0} s_{c,t-1,t}^I \left(\frac{I_{c,t}}{I_{c,t-1}} - 1 \right)$ evaluado en el año 0, mientras que

$\frac{SE_{t-1}}{SE_0} S_{c,t-1,t}^S \left(\frac{S_{c,t}}{S_{c,t-1}} - 1 \right)$ determina la contribución del transporte de la mercancía c en la variación observada del efecto estructura entre $t-1$ y t referida al año 0.

3. Evolución de la intensidad energética

El fuerte aumento del consumo energético en el transporte español de mercancías durante el periodo 1996-2010 se explica, básicamente, por el importante incremento de la actividad medida en millones de toneladas-kilómetro (89,6%). Asimismo, el significativo crecimiento de esta actividad en relación al del conjunto de la economía (46,5%) explica su mayor participación en el consumo de energía final y en las emisiones de dióxido de carbono relacionadas.

Figura 1. Evolución del VAB, de la población, y de la actividad del transporte de mercancías por carretera y de su consumo de combustible. España. Año base 1996



Fuente: elaboración propia. El INE (EPA) proporciona los datos de población y (CNE) los datos del VAB⁴, el Ministerio de Fomento (EPTMC) los datos correspondientes a la actividad del transporte de mercancías por carretera. En 1996, la población era de 39.669 miles de personas, las TKM transportadas ascendían a 102.166 millones, y el VAB a precios constantes de 2008 sumaba un total de 714.138 millones de euros.

En cuanto a la evolución de la actividad del transporte de mercancías cabe señalar que, desde 1996 a 2010, el transporte de mercancías por carretera en España aumentó un 105,6% (102.167 millones de TKM en 1996 frente a 210.064 millones de TKM en 2010), en cambio la alternativa, el ferrocarril, se redujo un 17,0% (11.100 millones de TKM en 1996 a 9.211 millones de TKM en 2010), representando en la actualidad el transporte por carretera un 95,8% de todo el transporte de mercancías⁵.

⁴ Si se tomara como referencia el VAB -agricultura, industria y construcción-, la diferencia en las tasas de crecimiento de la actividad del transporte de mercancías por carretera y el conjunto de la economía se vería incrementada. Por ejemplo, del año 2000 al 2010, la tasa de crecimiento del VAB a precios constantes del conjunto de la economía alcanzó un 23%, al eliminar el sector servicios, la tasa de crecimiento del VAB —agricultura, industria y construcción— es de tan sólo un 4%.

⁵ En España el volumen total de transporte de mercancías por carretera supone un 84%, por ferrocarril un 1% y por mar el 15% en 2007. Datos EUROSTAT, teniendo en cuenta que la participación vía marítima recoge la actividad tanto de carga como de descarga.

En la Figura 1 puede observarse que en 2008 se produce un cambio de tendencia en la actividad del transporte de mercancías por carretera como consecuencia de la crisis económica en España. Ésta incrementó hasta el año 2007 un 153,4% y a partir de ese año hasta el 2010 se redujo en un 18,9%. En este sentido, el consumo energético de la actividad también se vio afectado al aumentar entre los años 1996 y 2010 un 98,8%, cuando hasta el año 2007 el crecimiento había alcanzado el 140,7%.

Por su parte, la intensidad energética de la actividad disminuyó un 2,1% entre 1996 y 2010, al pasar de 1,05 MJ/TKM en 1996 a 1,03 MJ/TKM en 2010. Tal como figura en el cuadro 3 la intensidad energética muestra un comportamiento errático en el tiempo, no estando ligada su evolución ni a la de la actividad ni a la del consumo energético. Así, por ejemplo, en los años de crisis la reducción de la intensidad energética es consecuencia de una mayor caída del consumo energético que de la actividad, a diferencia de lo que ocurría en la etapa de crecimiento económico, cuando ésta se reducía porque el consumo energético aumentaba en menor proporción que la actividad.

Cuadro 3. Evolución anual de actividad, consumo de combustible e intensidad energética del transporte por carretera de mercancías. España 1996-2010

	Actividad	Consumo combustible	Intensidad energética
1997	7,5%	4,0%	-3,3%
1998	14,0%	11,1%	-2,6%
1999	7,2%	9,1%	1,8%
2000	10,8%	9,3%	-1,3%
2001	8,3%	10,0%	1,6%
2002	11,5%	8,7%	-2,5%
2003	4,2%	3,9%	-0,3%
2004	14,8%	20,4%	4,9%
2005	5,9%	6,3%	0,3%
2006	3,7%	1,7%	-1,9%
2007	7,6%	8,0%	0,3%
2008	-6,0%	-7,4%	-1,5%
2009	-12,6%	-8,7%	4,4%
2010	-0,6%	-2,3%	-1,7%

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Ministerio de Fomento (1996-2010, 2010) y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2006, 2010)

En el cuadro 4 se presentan los resultados de la intensidad energética desagregada por mercancías y el total, así como la participación de cada una de las mercancías en el conjunto de la actividad para los años 1996 y 2010.

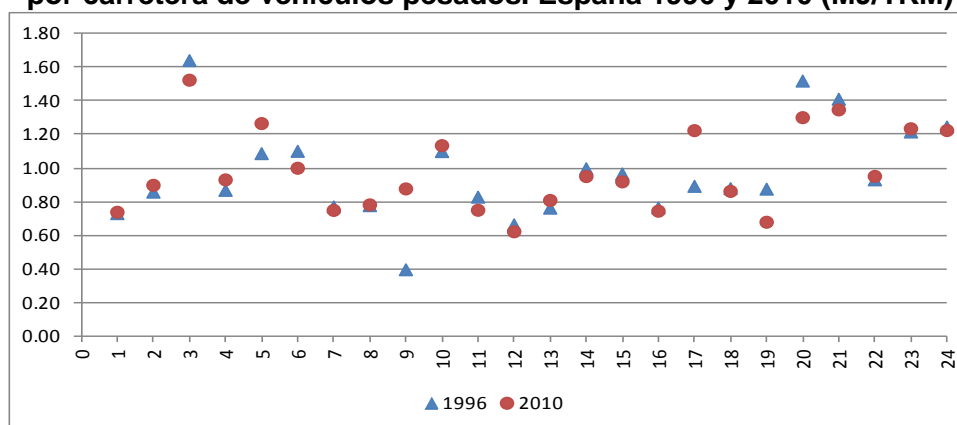
Cuadro 4. Intensidad energética (MJ/TKM) y distribución de la actividad (TKM) del transporte por carretera de mercancías. España 1996-2010

	Intensidad energética			Peso relativo	
	1996	2010	Variación	1996	2010
1	0,74	0,74	1,1%	3,2%	2,2%
2	0,86	0,90	4,7%	10,0%	9,8%
3	1,64	1,53	-7,1%	1,3%	0,7%
4	0,87	0,94	7,1%	2,8%	1,2%
5	1,09	1,27	16,3%	0,7%	0,6%
6	1,11	1,00	-9,1%	17,0%	20,2%
7	0,78	0,75	-2,7%	1,1%	1,5%
8	0,78	0,79	0,6%	1,1%	0,4%
9	0,40	0,88	119,3%	0,0%	0,0%
10	1,10	1,14	3,2%	3,6%	2,9%
11	0,83	0,76	-9,3%	1,1%	1,7%
12	0,67	0,63	-6,2%	0,1%	0,2%
13	0,77	0,81	5,9%	6,4%	6,1%
14	1,00	0,96	-4,7%	6,5%	6,5%
15	0,97	0,92	-4,9%	8,8%	7,9%
16	0,77	0,75	-2,5%	1,7%	1,3%
17	0,90	1,23	36,8%	0,1%	0,4%
18	0,88	0,87	-1,8%	6,4%	5,2%
19	0,88	0,68	-22,3%	0,7%	1,0%
20	1,52	1,30	-14,3%	6,0%	6,7%
21	1,41	1,35	-4,5%	1,4%	1,0%
22	0,94	0,96	2,2%	1,7%	1,3%
23	1,22	1,24	1,6%	8,6%	8,8%
24	1,25	1,23	-1,7%	9,7%	12,6%
ACTIVIDAD	1,05	1,03	-2,1%	100,0%	100,0%

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Ministerio de Fomento (1996-2010, 2010) y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2006, 2010)

Estos resultados previos a la descomposición paramétrica apuntan a un cambio en la intensidad energética y en la estructura de la actividad del transporte de mercancías por carretera en España entre los años 1996 y 2010. Más detalladamente, la intensidad energética del transporte de las diferentes mercancías revela una evolución diferenciada por grupos de mercancías. Así, ésta aumenta considerablemente en el caso del transporte del *Petróleo crudo* (9), los *Productos carboquímicos, alquitranes* (17) y en el de *Materias textiles y residuos, otras materias primas de origen animal o vegetal* (5), y en cambio disminuye sobre todo en el caso del transporte de la *Celulosa y residuos* (19) y de los *Vehículos y material de transporte, máquinas, motores, incluso desmontado de piezas* (20). En 2010 la disparidad de las intensidades energéticas va desde los 0,63 MJ/TKM de *Minerales y residuos no ferrosos* (12) a los 1,53 MJ/TKM de *Animales vivos, remolachas azucareras* (3), disparidad inferior a la mostrada en 1996 tal como se observa en la Figura 2.

Figura 2. Intensidad energética por grupos de mercancías. Transporte por carretera de vehículos pesados. España 1996 y 2010 (MJ/TKM)



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Ministerio de Fomento (1996-2010, 2010) y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2006, 2010)

Por otra parte, el peso relativo señala un cambio estructural significativo en la actividad del transporte de determinados grupos de mercancías. De hecho, ganan importancia en la actividad sobre todo los grupos de *Productos alimenticios y forrajes* y *Artículos diversos* (6), mientras que *Madera y corcho* (4), *Productos químicos, excepto productos carboquímicos y alquitrans* (18) y *Cereales* (01) son los que pierden mayor peso relativo en el conjunto de la actividad.

Cuadro 5. Evolución en la intensidad energética y en el peso relativo en el transporte por carretera de los diferentes grupos de mercancías

		INTENSIDAD ENERGÉTICA	
		Disminuye	Aumenta
PESO RELATIVO	Disminuye	Animales vivos, remolachas azucareras Cementos, cales, materiales de construcción manufacturados Minerales en bruto o manufacturados Abonos naturales o manufacturados Productos químicos, excepto productos carboquímicos y alquitrans Artículos metálicos	Cereales Patatas, otras hortalizas frescas o congeladas, frutas frescas Madera y corcho Materias textiles y residuos, otras materias primas de origen animal o vegetal Combustibles minerales sólidos Productos petrolíferos Productos metalúrgicos Vidrio, cristalería, productos cerámicos
	Aumenta	Productos alimenticios y forrajes Oleaginosas Minerales de hierro, chatarras, polvos de altos hornos Minerales y residuos no ferrosos Celulosa y residuos Vehículos y material de transporte, máquinas, motores, incluso desmontados y piezas Artículos diversos	Petróleo crudo Productos carboquímicos, alquitrans Cueros, textiles, vestimenta, artículos manufacturados diversos

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Ministerio de Fomento (1996-2010, 2010) y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2006, 2010)

Asimismo, atendiendo al cambio estructural, los datos obtenidos de la EPTMC señalan que la distancia recorrida por los vehículos en vacío en el periodo considerado muestra un menor peso relativo respecto al conjunto de la actividad. Así, si en 1996 un 29,1% de los kilómetros totales recorridos por los vehículos correspondían a desplazamientos en vacío, en 2010 éstos se reducen a un 23,7%, lo que supone una mejora relativa en la logística de la actividad. Mientras que la distancia recorrida por los vehículos en vacío aumenta un 54,2%, la distancia recorrida por los vehículos con carga incrementa un 104,1% en el período considerado. Una evolución mucho menos favorable muestra, en cambio, el factor carga —capacidad de carga del vehículo utilizada— que pasa de un 42,8% en 1996 a un 41,6% en 2010.

4. Resultados del análisis de descomposición

4.1. Resultados de la descomposición M-LMDI-II

Los resultados obtenidos del análisis M-LMDI-II se presentan en el cuadro 6. En 6A se muestran los resultados de la descomposición anual y en 6B los de la descomposición acumulativa. La descomposición anual muestra claramente que la evolución de la intensidad energética de la actividad del transporte de mercancías por carretera ha sido errática a lo largo del periodo considerado. Así, en algunos años ésta se incrementa porque los dos efectos —intensidad y estructura— contribuyen negativamente —años 1999, 2001, 2005, 2007 y 2009— y, en otros años en cambio se reduce porque ambos efectos son positivos —1997, 1998, 2006 y 2008.

Sin embargo, la descomposición acumulativa cuantifica una disminución de la intensidad energética derivada del efecto intensidad de un 3,4% durante el período 1996-2010. En contraste, el cambio estructural experimentado por la actividad contribuye al empeoramiento de la intensidad energética en un 1,3%. La combinación de ambos efectos conduce a un descenso de la intensidad energética observada del 2,1%.

Las implicaciones de los resultados obtenidos son inmediatas. La reducción de la intensidad energética en el caso del transporte de mercancías por carretera en España es consecuencia de una contribución favorable a esta reducción del efecto intensidad —mayor eficiencia energética aparente (menor consumo de combustible por tonelada-kilómetro) en el transporte de mercancías— compensado parcialmente por la contribución en sentido opuesto del efecto estructura —las mercancías más intensivas energéticamente ganan peso en el conjunto de la actividad. Así, al examinar con mayor detalle los resultados obtenidos en la descomposición acumulativa, el efecto intensidad muestra tasas de variación acumuladas negativas en todo el período, favoreciendo una mayor eficiencia energética. Igualmente, a excepción de los años 1997 y 1998, el efecto estructura presenta tasas de variación acumuladas positivas contribuyendo, por su parte, a una menor eficiencia energética. En este caso, dado que las tasas de variación acumuladas del efecto intensidad son superiores a las del efecto estructura, la intensidad energética evidencia un descenso en el periodo analizado.

Cuadro 6. Descomposición M-LMDI-II de la intensidad energética

CUADRO 6A. Análisis anual
(base = año precedente)

	Intensidad energética	Efecto intensidad	Efecto estructura
1997	-3,3%	-3,0%	-0,2%
1998	-2,6%	-2,3%	-0,2%
1999	1,8%	1,2%	0,5%
2000	-1,3%	-1,8%	0,5%
2001	1,6%	1,3%	0,3%
2002	-2,5%	-2,7%	0,3%
2003	-0,3%	-0,5%	0,3%
2004	4,9%	5,2%	-0,2%
2005	0,3%	0,3%	0,1%
2006	-1,9%	-1,3%	-0,7%
2007	0,3%	0,1%	0,3%
2008	-1,5%	-1,2%	-0,3%
2009	4,4%	4,1%	0,3%
2010	-1,7%	-2,2%	0,5%

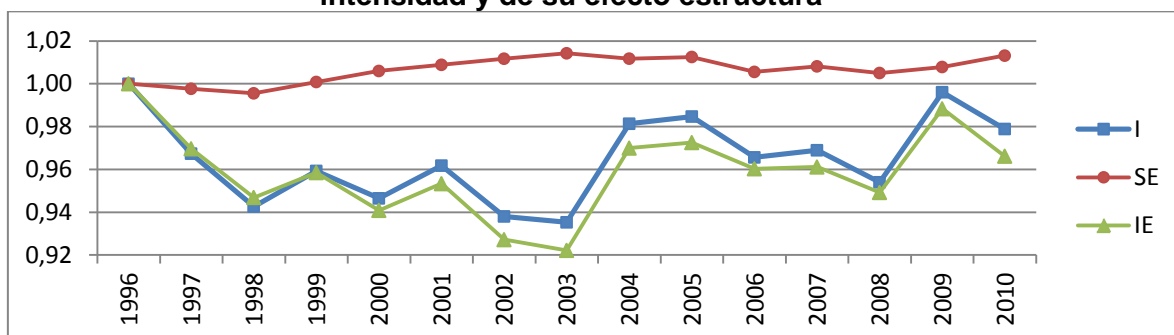
CUADRO 6B. Análisis acumulativo
(base = año 1996)

	Intensidad energética	Efecto intensidad	Efecto estructura
1997	-3,3%	-3,0%	-0,2%
1998	-5,7%	-5,3%	-0,4%
1999	-4,1%	-4,2%	0,1%
2000	-5,4%	-5,9%	0,6%
2001	-3,8%	-4,7%	0,9%
2002	-6,2%	-7,3%	1,2%
2003	-6,5%	-7,8%	1,4%
2004	-1,9%	-3,0%	1,2%
2005	-1,5%	-2,7%	1,3%
2006	-3,4%	-4,0%	0,6%
2007	-3,1%	-3,9%	0,8%
2008	-4,6%	-5,1%	0,5%
2009	-0,4%	-1,2%	0,8%
2010	-2,1%	-3,4%	1,3%

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Ministerio de Fomento (1996-2010, 2010) y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2006, 2010)

Asimismo, cabe señalar que el comportamiento errático manifestado por la intensidad energética se corresponde con la evolución mostrada por el efecto intensidad a lo largo del período considerado, mientras que el efecto estructura muestra una menor variabilidad en el período. En particular, cabe destacar el efecto intensidad negativo correspondiente a los años 2004 y 2009 que provoca cambios de tendencia en la evolución de la intensidad energética, es necesario obtener información detallada para entender el por qué de dicho comportamiento (Figura 3). Nuevamente se evidencia la importancia del efecto intensidad en la determinación de la intensidad energética frente al efecto estructura. De cara a profundizar en los factores que hay detrás de la contribución de los distintos efectos y poder obtener más pistas sobre las medidas que podrían mejorar su evolución en el futuro, procedemos a continuación a descomponer éstos en la contribución del transporte de los diferentes tipos de mercancías.

Figura 3. Evolución acumulada de la intensidad energética, de su efecto intensidad y de su efecto estructura



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Ministerio de Fomento (1996-2010, 2010) y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2006, 2010)

4.2. Resultados de la atribución de los cambios en el índice Divisia

En el Cuadro 7 se exponen los resultados de la variación porcentual experimentada por la intensidad energética desagregada por mercancías con la descomposición acumulativa para el periodo 1996-2010, además de la variación de los efectos intensidad y estructura igualmente desagregados por mercancías.

En cuanto al efecto intensidad cabe decir que los grupos de mercancías *Productos alimenticios y forrajes (6)* y *Vehículos y material de transporte, máquinas, motores, incluso desmontados y piezas (20)*, determinan prácticamente la evolución favorable del efecto intensidad entre los años 1996 y 2010.

Con respecto al efecto estructura se desprende que el empeoramiento de la intensidad energética derivada de este efecto a lo largo del período estudiado tiene como principales responsables a los grupos de mercancías *Productos alimenticios y forrajes (6)*, *Vehículos y material de transporte, máquinas, motores, incluso desmontados y piezas (20)* y *Artículos diversos (24)*, y a pesar de la contribución positiva de los grupos de mercancías *Madera y corcho (4)* y *Productos químicos, excepto productos carboquímicos y alquitranes (18)*.

Cuadro 7. Desagregación de los efectos intensidad y estructura por grupos de mercancías. Año 2010. Análisis acumulativo (base = 1996)

	Intensidad energética	Efecto intensidad	Efecto estructura
1	-0,7	0,0	-0,7
2	0,2	0,4	-0,2
3	-1,1	-0,1	-0,9
4	-1,3	0,1	-1,4
5	0,1	0,1	0,0
6	1,5	-1,6	3,1
7	0,3	0,0	0,3
8	-0,6	0,0	-0,6
9	0,0	0,0	0,0
10	-0,8	0,1	-0,8
11	0,4	-0,1	0,4
12	0,1	0,0	0,1
13	0,1	0,3	-0,2
14	-0,3	-0,3	0,0
15	-1,2	-0,4	-0,8
16	-0,3	0,0	-0,3
17	0,4	0,0	0,4
18	-1,2	-0,1	-1,1
19	0,1	-0,2	0,2
20	-0,3	-1,3	1,0
21	-0,6	-0,1	-0,5
22	-0,4	0,0	-0,4
23	0,4	0,1	0,3
24	3,3	-0,1	3,5
Actividad	-2,1%	-3,4%	1,3%

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Ministerio de Fomento (1996-2010, 2010) y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2006, 2010)

La combinación de ambos efectos proporciona la contribución de cada grupo de mercancías a la evolución de la intensidad energética del transporte de mercancías por carretera en el período 1996-2010. Así, los grupos de mercancías *Animales vivos, remolachas azucareras (3), Madera y corcho (4), Minerales en bruto o manufacturados (15) y Productos químicos, excepto productos carboquímicos y alquitranes (18)* contribuyen significativamente a la reducción de la intensidad energética en el transporte por carretera.

No obstante, dos grupos de mercancías, *Productos alimenticios y forrajes (6) y Artículos diversos (24)*, impiden una mayor contracción de la intensidad energética durante el periodo analizado, porque a pesar de ser de los grupos de mercancías más intensivos energéticamente en su transporte y que reducen su intensidad energética en el periodo considerado (efecto intensidad positivo) también es cierto que, teniendo una participación significativa, aumentan su peso relativo en el conjunto de la actividad (efecto estructura negativo), predominando el segundo efecto sobre el primero.

Precisamente, teniendo en cuenta lo anterior y en relación al estudio sobre el comportamiento errático de la intensidad energética, como consecuencia de la alta variabilidad del efecto intensidad señalado en el apartado precedente, puede desprenderse del análisis realizado que, en particular, dicha variabilidad se debe a los grupos *Productos alimenticios y forrajes (6) y Artículos diversos (24)*. En concreto, en 2004 y en 2009 ambos grupos de mercancías experimentaron un fuerte crecimiento del efecto intensidad. Sin embargo, un análisis más detallado de la evolución del efecto intensidad en los años 2004 y 2009 revela que los grupos *Patatas, hortalizas y frutas frescas (2) y Cueros, textiles, vestimenta y artículos manufacturados diversos (23)* deben ser asimismo considerados. Igualmente, el grupo de *Vehículos y material de transporte, máquinas, motores, incluso desmontados y piezas (20)* debe ser estudiado también en 2009 (véase cuadro 10 del Apéndice).

A fin de examinar qué factores explican los resultados del efecto intensidad para los grupos de mercancías señalados en los años 2004 y 2009 se analizan dos indicadores clave de rendimiento de la actividad: el contenido de transporte y la eficiencia del transporte. En 2004 y 2009 los indicadores de contenido de transporte —distancia recorrida por tonelada transportada— y eficiencia del transporte —toneladas transportadas por vehículo— empeoran considerablemente⁶. En definitiva, la evolución negativa del efecto intensidad en 2004 y 2009 se explica porque en los grupos de mercancías señalados los vehículos transportan menos toneladas y recorren más kilómetros por tonelada transportada.

⁶ Con respecto al indicador de contenido de transporte en 2004 el grupo de mercancías *Artículos diversos (24)* es una excepción, y en 2009 son la excepción los grupos de mercancías *Patatas, hortalizas y frutas frescas (2) y Cueros, textiles, vestimenta y artículos manufacturados diversos (23)*.

Cuadro 8. Variación anual de indicadores clave de rendimiento de la actividad del transporte de mercancías

		2003/2004	2008/2009
Contenido de transporte	2	11,0%	-5,6%
	6	6,9%	8,0%
	20	-	8,8%
	23	18,5%	-0,8%
	24	-3,0%	3,5%
Eficiencia del transporte	2	-12,9%	-6,6%
	6	-4,4%	-1,0%
	20	-	-7,5%
	23	-15,4%	-6,7%
	24	-3,3%	-1,0%

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Ministerio de Fomento (1996-2010, 2010) y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2006, 2010)

5. Conclusiones

En España, el sustancial aumento del consumo energético en el transporte de mercancías durante el periodo 1996-2010 se explica por el fuerte crecimiento de la actividad. El responsable de esta evolución ha sido, claramente, el transporte de mercancías por carretera al suponer, en el periodo considerado, entre un 90% y un 96% del transporte interior de mercancías.

Investigar la intensidad energética del transporte, su evolución y los factores que la determinan ayuda a entender el comportamiento de uno de los componentes del consumo energético clave para lograr un consumo energético más eficiente en dicha actividad. La aplicación de la descomposición paramétrica multiplicativa LMDI-II a la intensidad energética del transporte de mercancías por carretera permite complementar los trabajos que hasta la fecha se han centrado en el estudio de la evolución del consumo energético. Asimismo, la ampliación del análisis a través de la atribución de los cambios en el índice Divisia permite ahondar en los resultados obtenidos al obtener cómo han participado los distintos grupos de mercancías en la marcha de la intensidad energética. Este artículo pretende contribuir así, a un mayor conocimiento de los factores detrás de la evolución experimentada por la intensidad energética en el transporte de mercancías por carretera, que posibilite el diseño de medidas que permitan alcanzar una mayor eficiencia energética en esta actividad.

El estudio de la evolución del creciente consumo energético del transporte de mercancías por carretera apunta como principal factor explicativo el fuerte crecimiento de la actividad durante los años 1996 y 2010. Por el contrario, el

análisis de la intensidad energética muestra una tendencia decreciente durante el periodo analizado, es decir, una mayor eficiencia energética; si bien la mejora es muy moderada en relación al aumento en la actividad. El análisis de descomposición de la intensidad energética muestra que el resultado positivo es consecuencia de un comportamiento positivo del efecto intensidad —menor consumo de combustible por tonelada-kilómetro en el periodo considerado— compensado parcialmente por un comportamiento negativo del efecto estructura—los grupos de mercancías más intensivos energéticamente en su transporte, aumentan su peso relativo en el conjunto de la actividad.

Por otra parte, el análisis destaca que la tendencia decreciente de la intensidad energética no es constante en el tiempo sino errática, como consecuencia de la inestabilidad mostrada por el efecto intensidad, mientras que el efecto estructura presenta poca variabilidad. En este sentido, el estudio detallado de la contribución de los diferentes grupos de mercancías a la reducción de la intensidad energética muestra que no todos los grupos participan de forma positiva en dicha reducción ni tampoco con el mismo grado a lo largo del tiempo. Los grupos de mercancías que contribuyen significativamente a la reducción de la intensidad energética en el transporte por carretera son *Animales vivos, remolachas azucareras (3)*, *Madera y corcho (4)*, *Minerales en bruto o manufacturados (15)* y *Productos químicos, excepto productos carboquímicos y alquitranes (18)*. Mientras que *Productos alimenticios y forrajes (6)* y *Artículos diversos (24)* son los grupos de mercancías que impiden una mayor contracción de la intensidad energética durante el periodo analizado y cuyo comportamiento, además, explica en gran parte la evolución errática del efecto intensidad.

La importancia del efecto intensidad en la determinación de la intensidad energética frente al efecto estructura y el hecho de que el efecto estructura depende de la especialización productiva de la economía, refuerza la idea de que los esfuerzos de las autoridades públicas deberían encaminarse en el corto y medio plazo a aplicar medidas que condujeran a una mayor reducción del efecto intensidad. Éstas no deberían consistir únicamente en la sustitución gradual de la flota con vehículos más eficientes energéticamente y/o la introducción de combustibles de mayor calidad, o en términos más generales, en infraestructuras adecuadas y una conducción eficiente. Ya que son otros aspectos los que deberían igualmente considerarse, dado que los distintos grupos de mercancías participan en diferente grado y signo en la reducción de este efecto. En particular, dos indicadores clave de rendimiento de la actividad, contenido de transporte y eficiencia del transporte, revelan la importancia de la logística en el transporte de mercancías a la hora de lograr una mayor eficiencia energética por grupos de mercancías. Es el caso del comportamiento negativo en los años 2004 y 2009 del efecto intensidad que se explica porque en dos grupos de mercancías, *Productos alimenticios y forrajes (6)* y *Artículos diversos (24)*, los vehículos transportan menos toneladas y recorren más kilómetros por tonelada transportada.

En este mismo sentido, la evolución del efecto estructura muestra cómo el éxito de las medidas para hacer más eficiente el uso de energía en el transporte pueden verse matizadas si no se tiene en cuenta adecuadamente la evolución de la estructura por tipos de mercancías. Así, es preciso diseñar medidas que

consideren alcanzar una mayor eficiencia energética con una estructura de transporte donde ganen peso las mercancías cuyo transporte es más intensivo en energía (siendo relevantes las diferencias entre mercancías), como ha ocurrido en España en el período analizado.

En definitiva, la descomposición por grupos de mercancías de los efectos intensidad y estructura de la intensidad energética apuntan a la necesidad de diseñar medidas que tengan en cuenta las mercancías que se transportan.

La investigación futura, en consecuencia, debe centrarse en estudiar con mayor detalle los diversos factores que pueden haber influido en la evolución del efecto intensidad y, así, encontrar los mecanismos que podrían conducir a mejorar dicha tendencia. Pues, si mercancías tales como, por ejemplo, *Madera y corcho (4)* han alcanzado una mayor eficiencia energética en su transporte, cabe pensar que también puede lograrse en el transporte de otros grupos de mercancías. Entre los factores a analizar cabría destacar, entre otros, el estudio de las elasticidades de demanda del transporte de mercancías por carretera desagregando dicho estudio por grupo de mercancías. Del mismo modo, debería ampliarse el trabajo futuro con la incorporación en el análisis del otro medio de transporte interior de mercancías, el ferrocarril. De manera que el problema podría analizarse teniendo en cuenta no sólo la desagregación por mercancías sino también por modo de transporte utilizado. Finalmente, la presente investigación puede ampliarse centrandose el estudio en la intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero, tanto en su evolución como en sus implicaciones y en la especificación de posibles soluciones.

6. Bibliografía

Ang B.W. (1994) "Decomposition of industrial energy consumption. The energy intensity approach" *Energy Economics*, vol.16, n.3, pp. 163-174.

Ang, B.W. (2004) "Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method?" *Energy Policy*, vol. 32, pp. 1131-1139.

Ang, B.W. y Na Liu (2007) "Handling zero values in the logarithmic mean Divisia index decomposition approach" *Energy Policy*, vol. 35, pp.238-426.

Ang, B.W. y Zhang, F. Q. (2000) "A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies" *Energy*, vol. 25, pp.1149-1176.

Choi, K.H. y Ang, B.W. (2012) "Attribution of changes in Divisia real energy intensity index – An extension to index decomposition analysis" *Energy Economics*, vol.34, pp.171-176.

Eorn, J. y Schipper,L. (2010) "Trends in passenger transport energy use in South Korea" *Energy Policy*, vol. 38, pp.3598-3607.

European Commission. *Eurostat* (2013) Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities. Consulta: 13 noviembre 2013 ≤ <http://epp.eurostat.ec.europa.eu> >

IEA (1997) *Indicators of energy use and efficiency. Understanding the link between energy and human activity*. OECD/IEA. 1997.

IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2006) *Guía para la gestión del combustible en las flotas de transporte por carretera*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2010) *Factores de conversión energía final, energía primaria y factores de emisión de CO₂*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2010) *Informe anual de indicadores energéticos. Año 2009*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Kamakaté, F. y Schipper (2009) "Trends in truck freight energy use and carbon emissions in selected OECD countries from 1973 to 2005" *Energy Policy*, vol. 37, pp. 3743-3751.

Lenzen, M. (2006) "Decomposition analysis and the mean-rate-of-change index" *Applied Energy*, vol. 83, pp. 185-198.

McKinnon, A.C. y Piecyk, M. I. (2009) "Measurement of CO₂ emissions from road freight transport: A review of UK experience" *Energy Policy*, vol.37, pp. 3733-3742.

Mendiluce, M. y Schipper L., (2011) "Trends in passenger transport and freight energy use in Spain" *Energy Policy*, vol. 39, pp.6466-6475.

Millard-Ball, A. Schipper, L. (2010) "Are We Reaching Peak Travel? Trends in Passenger Transport in Eight Industrialized Countries" *Transport Reviews*, pp.1-22.

Ministerio de Fomento (1996-2010) *Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por carretera*. Subdirección General de Estadísticas Ministerio de Fomento.

Ministerio de Fomento (2010) *Observatorio del Mercado de transporte de mercancías por carretera, nº 19*. Secretaría de Estado de Transportes. Dirección General de Transporte Terrestre. Ministerio de Fomento, Madrid

Pérez Martínez, P.J. (2009) "The vehicle approach for freight road transport energy and environmental analysis in Spain" *European Transport Research Review*, vol.1, pp.75-85

Pérez Martínez, P.J. (2010) "Freight transport, Energy Use, and Emission Trends in Spain" *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2191, pp.16-22.

Pérez Martínez, P.J. y Monzón de Cáceres, A. (2008) “Consumo de energía por el transporte en España y tendencias de emisión” *Observatorio Medioambiental*, vol.11, pp. 127-147.

Schipper, L. (2011) “Automobile use, fuel economy and CO₂ emissions in industrialized countries: Encouraging trends through 2008?” *Transport Policy*, vol. 18, pp.358-372.

Sorrell, S., Lehtonen, M., Stapleton, L., Pujol, J. y Champion, T. (2009) “Decomposing road freight energy use in the United Kingdom” *Energy Policy*, vol. 37, pp. 3115–3129

Sorrell, S., Lehtonen, M., Stapleton, L., Pujol, J. y Champion, T. (2012) “Decoupling of road freight energy use from economic growth in the United Kingdom” *Energy Policy*, vol. 41, pp.84-97.

Stead D. (2001) “Transport intensity in Europe – indicators and trends” *Transport Policy*, vol.8, issue 1, pp. 29-46.

Vaneck, F.M. y Campbell, J.B. (1999) “UK road freight energy use by product: trends and analysis from 1985 to 1995” *Transport Policy*, vol. 6, pp.237-246

Vaneck, F.M. y Morlock, E.K. (2000) “Improving the energy efficiency of freight in the United States through commodity-based analysis: justification and implementation” *Transportation Research Part D*, vol. 5, pp. 11-29.

Apéndice

CUADRO A1. NOMENCLATURA DE LOS GRUPOS DE MERCANCÍAS SEGÚN LA CLASIFICACIÓN NST/R A 2 DÍGITOS.

	Grupos de mercancías
01	Cereales
02	Patatas, otras hortalizas frescas o congeladas, frutas frescas
03	Animales vivos, remolachas azucareras
04	Madera y corcho
05	Materias textiles y residuos, otras materias primas de origen animal o vegetal
06	Productos alimenticios y forrajes
07	Oleaginosas
08	Combustibles minerales sólidos
09	Petróleo crudo
10	Productos petrolíferos
11	Minerales de hierro, chatarras, polvos de altos hornos
12	Minerales y residuos no ferrosos
13	Productos metalúrgicos
14	Cementos, cales, materiales de construcción manufacturados
15	Minerales en bruto o manufacturados
16	Abonos naturales o manufacturados
17	Productos carboquímicos, alquitranes
18	Productos químicos, excepto productos carboquímicos y alquitranes
19	Celulosa y residuos
20	Vehículos y material de transporte, máquinas, motores, incluso desmontados y
21	Artículos metálicos
22	Vidrio, cristalería, productos cerámicos
23	Cueros, textiles, vestimenta, artículos manufacturados diversos
24	Artículos diversos

Fuente: NST/R



XIV JORNADAS DE ECONOMÍA CRÍTICA

Perspectivas económicas alternativas

Valladolid, 4 y 5 de septiembre de 2014

The energy footprint of human development

Iñaki Arto, Iñigo Capellán, Rosa Lago
y Gorka Bueno

Basque Centre for Climate Change y Universidad del País
Vasco.

THE ENERGY FOOTPRINT OF HUMAN DEVELOPMENT

Iñaki Arto, Basque Centre for Climate Change, inaki.arto@bc3research.org

Iñigo Capellán, Low Carbon Program, Universidad del País Vasco y Basque Centre for Climate Change, inigo.capellan@ehu.es

Rosa Lago, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao, Universidad del País Vasco, rosa.lago@ehu.es

Gorka Bueno, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao, Universidad del País Vasco, gorka.bueno@ehu.es

Abstract

In recent years special attention has been paid to the study of the relationship between energy use of a country and its level of development. While the interest of this research area is unquestionable, the indicators commonly chosen for study (Human Development Index (HDI) or GDP as measures of well-being and national energy consumption) are problematic. Thus, little attention has been paid to the fact that, in the current context of globalization, the energy consumption of a country is not a suitable indicator for measuring the total energy requirements associated with its level of development; the significant variable is the global energy consumed to produce the goods and services demanded by that country, i.e. its energy footprint. In this study, we compare the HDI of 40 countries with its energy consumption and its energy footprint. The results show that the energy footprint of developed countries is higher than its energy consumption (+13%); the opposite occurs in emerging economies (BRIIC, -16%), following a pattern that has been intensifying in the last decade. That is, the energy consumption underestimates the energy required to maintain a high level of development, since part of the energy consumption of less developed countries is devoted to sustain developed countries. Moreover, we find that in order to achieve a high level of development worldwide, global energy use shall increase by 40% from current levels (*ceteris paribus*)

Palabras clave: desarrollo humano, consumo de energía, huella energética.

Clasificación JEL. O13, Q40, Q56

Resumen

En los últimos años se ha prestado especial atención al estudio de la relación entre el uso de energía de un país y su nivel de desarrollo. Si bien no cabe duda del interés de este área de investigación, los indicadores habitualmente elegidos para su estudio (el IDH o el PIB como medidas del bienestar y el consumo nacional de energía) resultan problemáticos. Así, apenas se ha prestado atención al hecho de que, en el actual un contexto de globalización, el consumo de energía de un país no es un indicador adecuado para medir las necesidades energéticas asociadas a su nivel de desarrollo, pues la variable significativa es la energía consumida a escala global para producir los bienes y servicios que demanda ese país, es decir, su huella energética. En este estudio comparamos el IDH de 40 países con su consumo y huella energéticos utilizando la base de datos WIOD. Los resultados muestran que la energía embebida en la demanda final de los países desarrollados es superior a su consumo energético (+13%); lo contrario ocurre en las economías emergentes (BRIIC, -16%), siguiendo un patrón que se viene intensificando en la última década. Es decir, la variable consumo energético infravalora las necesidades energéticas para mantener un nivel de desarrollo alto, pues una parte del consumo de energía de los países menos desarrollados se dedica a sustentar a los desarrollados. Es más, para alcanzar un nivel de desarrollo alto a escala global se necesitaría, *ceteris paribus*, un 40% más de energía que la consumida actualmente.

1. Introduction

An adequate energy supply is a key prerequisite for economic and social development. Three major transitions in the development of energy systems led to greater quality in the types of energy in the last two centuries: from traditional fuels (wood, manure) to coal (steam power), from coal to oil (increased mobility), and finally, the use of electricity (light, computers) (Fouquet, 2010; Smil, 2010; WBGU, 2003). The United Nations General Assembly adopted in 1986 its “Declaration on the Right to Development” (UN, 1986), which established the right to development ‘as a universal and inalienable right and an integral part of fundamental human rights’, setting out a catalogue of objectives for ‘equality of opportunity for all in their access to basic resources, education, health services, food, housing, employment and the fair distribution of income’. Ultimately, energy, in its different forms, is essential to provide all the goods and services linked to the achievement of human development targets. The UN has recognized the role of energy for development and in September 2011, UN Secretary-General Ban Ki-moon launched the “Sustainable Energy for All” initiative, aiming at ensuring clean energy access for all.

In this context there are two key policy questions: i) how is the relation between energy use and human development? and ii) what is the minimum quantity of energy to achieve a certain level of development?

In relation to the first question, in recent year a number of studies have investigated the relationship between the energy use and human development (Alam et al., 1998; Cottrell, 2009; Dias et al., 2006; Martínez and Ebenhack, 2008; Mazur and Rosa, 1974; Olsen, 1992; Pasternak, 2000; Rosa, 1997; Smil, 2005; Steinberger and Roberts, 2010; Suárez, 1995; WBGU, 2003). Most studies have found strong correlations between energy and living standards at lower consumption levels (developing countries), and decoupling at higher levels (industrialized countries) (see Figure 1).¹ The human development decoupling at high consumption levels is referred to as a “plateau” by (Pasternak, 2000) or “saturation” by (Martínez and Ebenhack, 2008).

¹ As early as 1974, (Mazur and Rosa, 1974) concluded their study of 55 countries by describing this pattern and stating that “so long as America’s per capita energy consumption does not go below that of other developed nations, we can sustain a reduction in energy use without long-term deterioration of our [non-economic] indicators.”

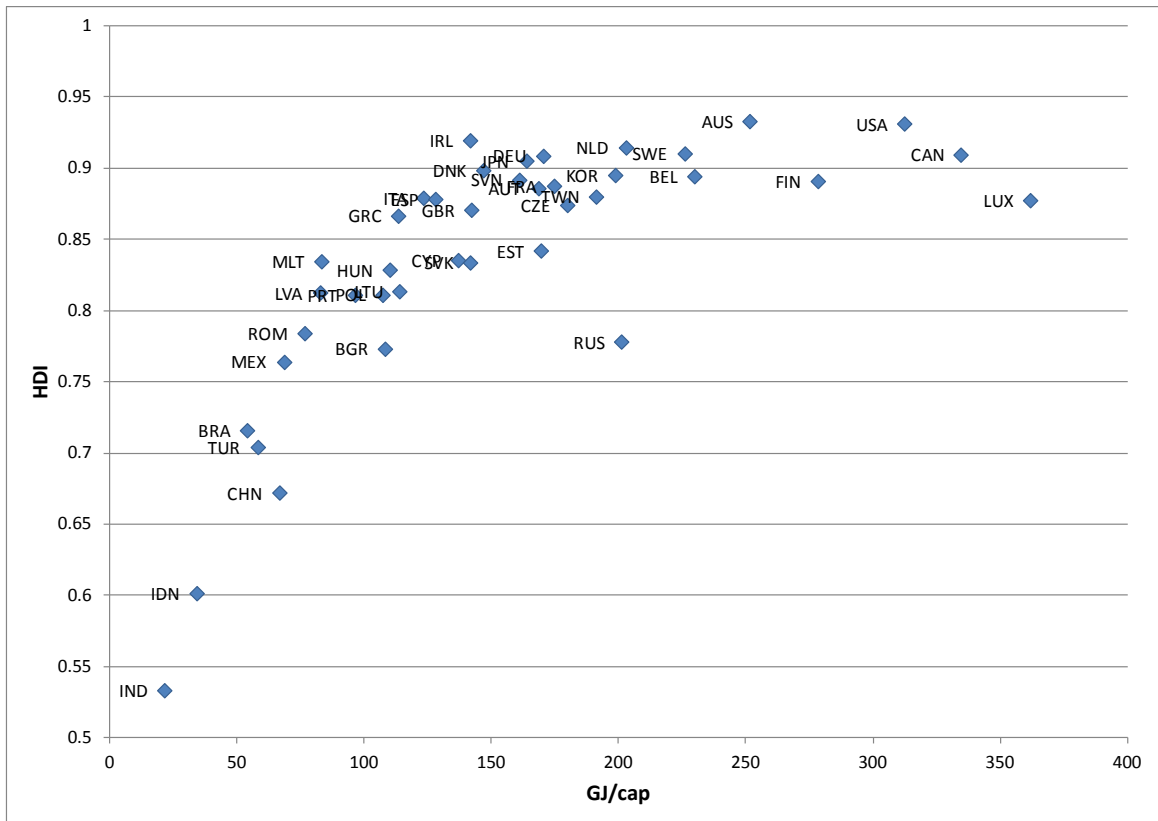


Figure 1: Human development index and energy use of selected countries, 2008

Source: own elaboration form data of the WIOD.

Regarding the second question, different studies have estimated these thresholds or minimum levels following different methodologies (see Table 1). The minimum per capita primary energy consumption (PCEC) in order to reach a high development is a normative issue and cannot be globally set due to regional, historic and cultural differences. For example, the need for heating and the amount of energy used for this purpose depend on local climatic and building conditions which vary so much; also, in the majority of countries with a low electrification rate and a high proportion of traditional biomass use, indoor heating is rarely required. In individual cases, however, the energy requirement for heating may be very high. Similarly, although there is a minimum requirement for mobility because schools, medical facilities and markets that must be accessible for everyone under acceptable conditions, it also varies substantially because infrastructure and distances, for example, also vary widely, making impossible to convert the basic requirement for transport services into units of energy (WBGU, 2003). Moreover, basic needs vary not only with climate, region, period in time, age and sex, but also with personal outlook and expectations (Spreng, 2005).

In the light of these limitations, indirect, aggregated top-down methods are the most commonly used in order to obtain some rough estimates.² For example, (Martínez and Ebenhack, 2008) isolated the consumption patterns of certain nations³ from the rest of the world in order to capture the primary trend. Through a simple screening method, they found that “no country has extremely low HDI with PCEC above 400 kgoe (16.7 GJ) and no country has an HDI above 0.7 with a PCEC below 800 kgoe (33.5 GJ)”. They also concluded that, using the top five performers from the primary trend, energy-poor nations would require at least an additional 2500 kgoe (i.e. 120 GJ) to potentially achieve HDI values near 0.9.

(Steinberger and Roberts, 2010) adopted a different approach, fitting historic data with a threshold function as a function of time, setting a set of constraints required to fulfil the definition of “high human development” by the UNDP: life expectancy of 70 years at birth, a GDP of 10,000 USD, a literacy rate of 80%, and an HDI of 0.8. The threshold functions were also extended into the future until 2030.

(WBGU, 2003) approximated a “guard rail” following a different approach, selecting a representative set of countries with a relatively high HDI (0.7-0.8) and low HPI (Human Poverty Index) (11-29). The arithmetic mean of these ten countries’ annual per capita GDP was calculated (US\$2,900 per person and year), which the WBGU considered to be the lower limit for a life in human dignity.⁴ Therefore, a macroeconomic minimum energy requirement per person and year is derived from the primary energy consumption of the ten countries selected: 4,500 - 10,500kWh (16.2 - 37.8 GJ per person and year, with a mean of 7,500 kWh (27 GJ) per person and year.

Other authors have worked with the electricity as proxy to the energy consumption. For example, (Pasternak, 2000) found for the years 1980 and 1997 that no country with annual electricity consumption below 4,000 kWh (14.4 GJ) per person has an HDI of 0.9 or greater. Above 5,000 kWh per capita, no country has an HDI below 0.9. Furthermore, as electricity consumption increases above 4,000 kWh (17.1 GJ), no significant increase in HDI is observed. The observation that HDI correlates somewhat better with electricity than with primary energy may reflect the facts that electricity is high-quality energy that can be used with high efficiency at the point of application and that electricity requires substantial infrastructure to generate, transmit, and use. It

² Bottom-up calculations rest on a number of assumptions regarding the type of energy consuming equipment (stove, light bulbs, etc.), their sizes, efficiencies and intensity of consumption. A couple of examples that follow this approach are (Goldemberg et al., 1985).

³ mainly energy-exporting countries such from the Former Soviet Union and the Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC), nations that are characterized by a set of differences from most of the world,

⁴ Sixty countries with a total population of 2,200 million did not achieve this threshold in 1999. In 21 countries with a total population of 375 million, the indicator was actually lower than US\$1,000.

may also reflect the likelihood that data for electricity are more accurate than for primary energy.

These different estimates are shown in Table 1. These studies follow two approaches: i) the “contemporary situation”: analyse the situation in a specific year and ii) the “potential future”: approach estimates how generalized efficiency improvements and fuel shifts policies would affect to the threshold (Goldemberg et al., 1985; Spreng, 2005; Steinberger and Roberts, 2010; WBGU, 2003).

Study	Threshold	Well-being criteria
<i>Contemporary situation</i>		
(Pasternak, 2000)	EC: 4,000 KWh (14.4 GJ)	HDI > 0.9
(Goldemberg, 2001)	PCEC: 42 GJ	“Acceptable standard of living”
(WBGU, 2003)	Average PCEC ¹ : 35.4 GJ	0.7 < HDI < 0.8
(Martínez and Ebenhack, 2008)	16.7 GJ < PCEC < 33.5 GJ	“extremely low” < HDI < 0.7
	PCEC: 121.4 GJ	HDI > 0.9
(Steinberger and Roberts, 2010)	PCEC dynamic function: 60 GJ (2005)	HDI > 0.8
<i>Potential future after generalized efficiency improvements and/or fuel shifts</i>		
(Goldemberg et al., 1985)	PCEC: 1 KW (31.5 GJ)	Satisfaction of Basic Human Needs (BHN)
(WBGU, 2003)	Average PCEC ¹ : 25.5 GJ (2020)	0.7 < HDI < 0.8
(Spreng, 2005)	PCEC: 2 KW (63 GJ)	Avoid dangerous climate change in a egalitarian emissions basis
(Steinberger and Roberts, 2010)	PCEC dynamic function: 50 GJ (2020)	HDI > 0.8

Table 1: Threshold HDI-PCEC/EC as estimated by different authors.

PCEC: annual per capita energy consumption. EC: annual per capita electricity consumption

¹ accounting for traditional energy consumption.

All these studies focus on comparing the HDI with the energy used by each country. However, trade makes it possible to increase countries development level by benefiting from consuming goods and services produced abroad and without the need of using energy to produce them. For example, let be the case of a country A that in order to maintain a certain level of development consumes 10,000 car/year that are produced by a company located in A using 1,000 toe. Now, suppose that country A’s car manufacturer shifts its activity to a second country B, but continues selling all its production in country A. In such a case, country A would still consume 10,000 car/year and, ceteris paribus, its development level would remain constant. However, country A’s energy consumption would have dropped by 1,000 toe (which would also be the increase in country B’s energy consumption). In other words, thanks to international trade, country A’s could maintain its development level while

reducing its energy consumption, since part of the energy requirements to satisfy its consumptions has been shifted to country B and therefore is computed as country B's energy consumption. Thus, the energy use would give biased information on the energy requirements to support a level of development, since it does not consider the energy embedded in international trade.

In the current context of the global economy, it can be argued that in order to give a more accurate picture the relation between energy and development one should account for the global energy requirements to support a specific level of development regardless the country in which the energy was actually consumed. This indicator is commonly referred as the energy footprint and reflects the global energy embedded in the domestic final demand (private consumption, public consumption and investment) of a country and links with the some hot research topics such as the environmental footprints (Arto et al., 2012a; Hoekstra and Wiedmann, 2014), the environmental consequences of international trade (Lenzen et al., 2012) and the share of responsibility for environmental degradation between consumers and producers.

In this context, the main objective of this paper is to revisit the questions of the relation between energy and development, and the minimum quantity of energy to get a certain level of development, but using the energy footprint as a measure of the energy requirements. We will also compare these results with the ones derived from the traditional approach which analyses the relation between development and national energy use.

The remaining of the paper is structure as follows: section 2 shows the methodology that will be used for the calculation of the energy footprint of a set of 40 countries for the period 1995 – 2008, section 3 presents the main results, and sections 3 discusses the results.

2. Methodology

Multi-regional input-output (MRIO) analysis is accepted as the method for the calculation of environmental footprints of nations. This method has been used for the study of different environmental topics (Arto et al., 2012; Hoekstra and Wiedmann, 2014; Lenzen et al., 2012; Steen-Olsen et al., 2012; Wang et al., 2011; Weinzettel et al., 2013; Wiedmann et al., 2013). However, the studies estimating the world energy footprint of nations⁵ are scarce. (Chen and Chen, 2011, 2013) focus in the energy embodied in global trade flows using the GTAP database for the years 2004 and 2007 respectively, however as pointed by

⁵ Some studies have also calculated the energy footprint of single countries: (Machado et al., 2001) for Brazil for the year 1995, (Liu et al., 2010) for China between 1992-2005 and (Tang et al., 2013) for UK for the period 1980-2010), and

these authors, the GTAP database shows some shortcomings for this type of analysis.

To some extent, the lack of studies in this area could be related to the absence of global MRIO databases extended with energy accounts able to assess the energy embedded in the flow of goods and services worldwide. In our case we will use the recently published World Input-Output Database (WIOD) (Dietzenbacher et al., 2013). This database comprises a time series of harmonized supply, use, and symmetric IO tables. It also includes data on international trade and satellite accounts related to environmental and socio-economic indicators. The WIOD comprises information from 1995 to 2009, for 35 industries, 59 products and 41 countries: the 27 member states of the European Union (EU-27), 13 non-EU countries (Australia, Brazil, Canada, China, India, Indonesia, Japan, South Korea, Mexico, Russia, Turkey, and the United States of America (USA)), and the Rest of the World (RoW) as an aggregated region.

The MRIO used for the calculation of the energy footprints is described for the case of three regions with n sectors, but it can be applied to any number of regions and sectors. In this study, the model was applied to 41 regions (40 countries plus the rest of the world as an aggregate region), 35 industries and 5 final demand categories.

The starting point of the model is the MRIO table at basic prices. This table describes the flows of goods and services from all sectors to all intermediate and final users, explicitly distinguishing the countries of origin and destination for each flow.

We can distinguish three main components in the MRIO table:

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}^{11} & \mathbf{Z}^{12} & \mathbf{Z}^{13} \\ \mathbf{Z}^{21} & \mathbf{Z}^{22} & \mathbf{Z}^{23} \\ \mathbf{Z}^{31} & \mathbf{Z}^{32} & \mathbf{Z}^{33} \end{bmatrix}, \mathbf{f} = \begin{bmatrix} \mathbf{f}^1 \\ \mathbf{f}^2 \\ \mathbf{f}^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{f}^{11} + \mathbf{f}^{12} + \mathbf{f}^{13} \\ \mathbf{f}^{21} + \mathbf{f}^{22} + \mathbf{f}^{23} \\ \mathbf{f}^{31} + \mathbf{f}^{32} + \mathbf{f}^{33} \end{bmatrix}, \mathbf{x} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}^1 \\ \mathbf{x}^2 \\ \mathbf{x}^3 \end{bmatrix},$$

where \mathbf{Z}^{rs} is the intermediate matrix with sectoral deliveries from country r to country s ; \mathbf{f}^{rs} is the column vector of country s final demand (including household consumption, government consumption, and investment) for goods produced by country r ; and \mathbf{x}^r is the vector column vector of gross output for country r .

The relation between \mathbf{x} , \mathbf{Z} and \mathbf{f} is defined by the accounting equation $\mathbf{x} = \mathbf{Z}\mathbf{i} + \mathbf{f}$, where \mathbf{i} is the column summation vector consisting of ones.

Further, the global MRIO table is extended with: a vector s^r with element s_i^r indicating the (national) energy use by sector i in country r , the scalar h^r which gives the direct energy use of households in country r . We define

$$\mathbf{s} = \begin{bmatrix} \mathbf{s}^1 \\ \mathbf{s}^2 \\ \mathbf{s}^3 \end{bmatrix} \quad \mathbf{h} = \begin{bmatrix} h^1 \\ h^2 \\ h^3 \end{bmatrix}$$

Accordingly, the energy use of country I can be expressed as:

$$e^r = (\mathbf{s}^r)' \mathbf{i} + h^r$$

It is important to highlight that, in order to avoid double-counting, we will use the concept of “net” energy use⁶. Thus, the energy use by each sector will represent the volume of energy it dissipates. For example, in the electricity sector we will compute as energy use the difference between the primary energy used in the transformation process (coal, gas, nuclear, etc.) and the electricity produced; the later will be computed as energy use of the sector that consume the electricity (e.g. iron, households, etc.),

The input coefficient matrix for the whole system is defined as $\mathbf{A} = \mathbf{Z}(\hat{\mathbf{x}})^{-1}$, where $(\hat{\mathbf{x}})$ is a diagonal matrix with the values of vector \mathbf{x} long its diagonal and zero elsewhere. Thus, the accounting equation can now be written as the standard input-output model: $\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{f}$. The last, is the basic equation of the standard input-output model. For an arbitrary final demand final demand vector \mathbf{f} , the solution to the model is given by $\mathbf{x} = \mathbf{L}\mathbf{f}$, where $\mathbf{L} \equiv (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ is the Leontief inverse.

The energy coefficients vector, $\mathbf{c} = (\hat{\mathbf{x}})^{-1}\mathbf{s}$, gives the amount of energy per unit of output. Hence, the amount of energy required for the production of goods in order to satisfy total final demand \mathbf{f} is given by

$$\mathbf{s} = \hat{\mathbf{c}}\mathbf{x} = \hat{\mathbf{c}}\mathbf{L}\mathbf{f} \quad [1]$$

We can write [1] in its partitioned form as:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{s}^1 \\ \mathbf{s}^2 \\ \mathbf{s}^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{c}}^1 & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \hat{\mathbf{c}}^2 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \hat{\mathbf{c}}^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{L}^{11} & \mathbf{L}^{12} & \mathbf{L}^{13} \\ \mathbf{L}^{21} & \mathbf{L}^{22} & \mathbf{L}^{23} \\ \mathbf{L}^{31} & \mathbf{L}^{32} & \mathbf{L}^{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{f}^{11} + \mathbf{f}^{12} + \mathbf{f}^{13} \\ \mathbf{f}^{21} + \mathbf{f}^{22} + \mathbf{f}^{23} \\ \mathbf{f}^{31} + \mathbf{f}^{32} + \mathbf{f}^{33} \end{bmatrix} \quad [2]$$

⁶ The WIOD include information on gross energy use and emission relevant energy use. In order to avoid double counting we proceed to transform the gross energy use into net energy use.

From [2] we can calculate the energy embodied in the exports $eeexp^1$ and imports $eimp^1$ the energy trade balance etb^1 , and the energy footprint efp^1 of region 1:

$$eeexp^1 = \mathbf{c}^1 \mathbf{L}^{11} (\mathbf{f}^{12} + \mathbf{f}^{13}) + \mathbf{c}^1 \mathbf{L}^{12} \mathbf{f}^2 + \mathbf{c}^1 \mathbf{L}^{13} \mathbf{f}^3 \quad [3]$$

$$eimp^1 = (\mathbf{c}^2 \mathbf{L}^{21} + \mathbf{c}^3 \mathbf{L}^{31}) \mathbf{f}^{11} + (\mathbf{c}^1 \mathbf{L}^{12} + \mathbf{c}^2 \mathbf{L}^{22} + \mathbf{c}^3 \mathbf{L}^{32}) \mathbf{f}^{21} + (\mathbf{c}^1 \mathbf{L}^{13} + \mathbf{c}^2 \mathbf{L}^{23} + \mathbf{c}^3 \mathbf{L}^{33}) \mathbf{f}^{31} \quad [4]$$

$$etb^1 = eeexp^1 - eimp^1 \quad [5]$$

$$e^1 = \mathbf{cLg}^1 + h^1 \quad [6]$$

where h^1 is the energy used directly by households, and \mathbf{g}^1 is a column vector that represents the domestic final demand of country 1:

$$\mathbf{g}^1 = \begin{bmatrix} \mathbf{f}^{11} \\ \mathbf{f}^{21} \\ \mathbf{f}^{31} \end{bmatrix}$$

3. Results

Figure 1 shows the relation between the Human Development Index (HDI) and the two energy indicators analysed in this study: the per capita energy use (EU) and the per capita energy footprint (EF) for the year 2008.

Focusing on the relation between HDI and EF (red line in Figure 1) we find a positive correlation between HDI and EF: $r_{HDI,EF} = 0.80$. This relation is especially strong at the lower levels of development, for instance below a HDI of 0.85, the correlation coefficient between HDI and EF is $r_{HDI<0.85,EF} = 0.83$, while for a HDI over 0.85 the correlation between the two variables decreases to $r_{HDI>0.85,EF} = 0.41$, which indicates the presence of a saturation point. In terms of EU (dotted line in Figure 1) we, the interpretation of the results is similar but the correlation coefficients are lower: $r_{HDI,EU} = 0.72$, $r_{HDI<0.85,EU} = 0.72$ and $r_{HDI>0.85,EU} = 0.37$.

The top ten countries in terms of HDI are Australia (HDI: 0.934; EF: 302 GJ/cap; EU: 252 GJ/cap), the USA (0.931; 353; 313), Ireland (0.919; 255; 142), the Netherlands (0.914; 222; 203), Sweden (0.910; 263; 226), Canada (0.909; 333; 335), Germany (0.909; 217; 170), Japan (0.905; 195; 164), Denmark (0.898; 245; 147) and Korea (0.895; 190; 199). These countries show high levels of development with quite different requirements of levels, in terms of EF all of them are above 190 GJ/cap, while in terms of EU the lowest bound is 140 GJ/cap.

Another interesting result from this list of developed countries is the identification of the regions that are able to have a HDI over 0.8 with the lowest energy requirements. In this regards, Poland (HDI: 0.811; EF: 116 GJ/cap), Portugal (0.811; 126) and Latvia (0.812; 130 GJ/cap), show the lowest EF, while Latvia (0.812; 83 GJ/cap), Malta (0.834;84), Portugal (0.811; 96) show the lowest EU.

On the opposite side, nine countries representing 49% of global population and 34% of the EU show a HDI below 0.8 (i.e. developing countries), with a population-weighted average of 0.633 and an EF of 47 GJ/cap and an EU of 53 GJ/cap. These countries are Romania (HDI: 0.784; 87 GJ/cap; EU: 77 GJ/cap), Russia (0.778; 160; 201), Bulgaria (0.773; 90; 108), Mexico (0.764; 79; 69), Brazil (0.716; 56; 54), Turkey (0.704; 77; 58), China (0.672; 53; 67), Indonesia (0.601; 34; 34) and India (0.533; 22; 22). In la these countries, except Russia, both the EF and the EU are below 110 GJ/cap. The aggregate region of the RoW has a HDI of 0.665 and an EF and EU of 50 GJ/cap and covers 36% of world's population.

In the case of developing economies, we can observe that the number of regions with an EF higher than the EU I lower than in the case of developed economies. China stands out in this list, with a EF 20% lower than the EU.

Table 2: Human development index, energy use and energy footprint, 2008

	Developed					Developing			
	HDI	EF GJ/cap	EU GJ/cap	EF/E U		HDI	EF GJ/cap	EU GJ/cap	EF/E U
AUS	0.933	302	252	20%	ROM	0.784	87	77	13%
USA	0.931	353	313	13%	RUS	0.778	160	201	-20%
IRL	0.919	255	142	80%	BGR	0.773	90	108	-17%
NLD	0.914	222	203	9%	MEX	0.764	79	69	16%
SWE	0.91	263	226	16%	BRA	0.71	56	54	4%

	0			
CAN	0.90 9	333	335	-1%
DEU	0.90 9	217	170	28%
JPN	0.90 5	195	164	19%
DNK	0.89 8	245	147	67%
KOR	0.89 5	190	199	-5%
BEL	0.89 4	261	230	13%
SVN	0.89 2	203	161	26%
FIN	0.89 1	296	279	6%
FRA	0.88 7	218	175	25%
AUT	0.88 5	233	169	39%
TWN	0.88 0	146	191	-24%
ITA	0.87 9	171	124	39%
ESP	0.87 8	172	128	34%
LUX	0.87 7	442	362	22%
CZE	0.87 3	177	180	-2%
GBR	0.87 0	197	142	39%
GRC	0.86 6	188	114	65%
EST	0.84 2	188	170	10%
CYP	0.83 5	246	137	79%
MLT	0.83 4	143	84	71%
SVK	0.83 3	151	142	7%
HUN	0.82 8	130	110	18%
LTU	0.81 3	145	114	27%
LVA	0.81 2	130	83	57%
POL	0.81 1	116	108	8%
PRT	0.81 1	126	96	31%

	6			
TUR	0.70 4	77	58	33%
WORL D	0.68 3	77	77	0%
CHN	0.67 2	53	67	-20%
RoW	0.66 5	45	50	-10%
IDN	0.60 1	34	34	-1%
IND	0.53 3	22	22	-1%

Source: own elaboration form data of the WIOD.

4. Discussion

The relation between energy and human development shows a clear positive correlation with a saturation point, and regardless of the energy indicators used for the analysis (the EU or the EF). However, the energy requirements associated to a high level of development (i.e. $HDI > 0.8$) are higher when measured in terms of EF than in terms of EU. The reason for these results is closely related to the processes of specialization and globalization. In the latest decades, developed countries have specialized in economic activities with high value added, while reducing their share of energy intensive sectors and manufacturing industries. At the same time, some emerging economies like China, India and Brazil have experienced a process of rapid industrialization, increasing their share in global economy and are exporting enormous volumes of manufactured products to developed countries. This shift of economic activities between countries has also consequences in terms of energy use. Thus, developed countries can reduce their energy use and at the same time increase/maintain their welfare, and this is done at the expense of a higher energy use in emerging economies and thanks to international trade. In this sense, the utilization of the EU as indicator to assess the links between energy and development would result in an underestimation of the energy requirements to obtain high levels of development, since it does not take into account the energy embedded in international trade. Similarly, it would overestimate the energy required at lower levels of development. Thus, the use of the energy footprint would be a better option for this type of studies. This claim would be also valid for other research topics like the (in)equality in the use of energy resources worldwide or the responsibility for the growth in energy global consumption.

This argument is reinforced by many recent studies providing evidence on the environmental consequences of the growth in international trade. International trade is modifying the balances in a way where most developed countries have increased their resource use from a consumption-based perspective (resource footprint) faster than from their territorial perspective (Arto et al., 2012; Hoekstra and Wiedmann, 2014). These studies have focused on assessing different footprints: land (Steen-Olsen et al., 2012; Weinzettel et al., 2013), water (Hoekstra and Mekonnen, 2012), materials (Wang et al., 2011; Wiedmann et al., 2013), and associated impacts, for example in terms of biodiversity (Lenzen et al., 2012). Also, some studies have performed a comprehensive analysis of different footprints for a set of countries, such as (Arto et al., 2012). Specially, the increasing net CO₂ emission transfers via international trade from developing to developed countries in the last decades is currently being a topic of intensive research, due to its strong implications in terms of climate policy efficacy: (Arto and Dietzenbacher, 2014; Davis and Caldeira, 2010; Peters et al., 2011). Since CO₂ emissions from the burning of fossil fuels are the primary

cause of global warming (65% of total GHG emissions in 2010 (IPCC, 2014)), it seems evident that these net emissions transfers are ultimately driven by an unbalance between the energy territorially-used and the energy footprint.

The estimation of the of the energy requirements is also an issue of policy relevant especially when regarding the issue of the minimum energy requirements to get a specific level of development. In terms of EU, the developed country (i.e. $HDI > 0.8$) with the lowest energy requirements is Latvia, with 83 GJ/cap. Let be the case of a hypothetical scenario in which this EU is extrapolated to all the 6,740 million people in the world in order to get a HDI greater than 0.8 worldwide. In such a case the global energy requirements would be equal to 564 Exa Joules (EJ), which is 6% over the global energy use in the year 2008 (532 EJ). In consequence, the issue of the minimum energy requirements for reach an universal level of development could be interpreted as a mere question of inequality in the distribution of resources, since there are almost enough resources to supply those 564 EJ.

However, as pointed before this figures do not take into account that part of the energy requirements of Latvia are embedded in their imports and are not accounted in their EU. Thus, if instead of using the EU as a benchmark we use the EF, we would take Poland as the developed country with the lowest EF (116 GJ/cap). Now, the extrapolation of the Polish EF to the whole planet would result on a global energy requirement of 789 EJ, which exceed by 40% the energy consumption of 2008. Hence, when we introduce the concept of EF, the problem of global development crashes into the wall of resource availability.

Our analysis has some limitations derived from the geographical coverage of the database. This is clearly a limitation for the case of developing economies, since only nine developing countries are represented in our database, however, this does not invalidate the arguments derived from the analysis of the developed economies, as the 31 developed economies we have analysed represent 72% of the countries with an HDI over 0.8

References

- Alam, M.S., Roychowdhury, A., Islam, K.K., Huq, A.M.Z., 1998. A revisited model for the physical quality of life (PQL) as a function of electrical energy consumption. *Energy* 23, 791–801. doi:10.1016/S0360-5442(98)00005-X
- Arto, I., Dietzenbacher, E., 2014. Drivers of the Growth in Global Greenhouse Gas Emissions. *Environ. Sci. Technol.* doi:10.1021/es5005347

- Arto, I., Genty, A., Rueda-Cantuche, J.M., Villanueva, A., Andreoni, V., 2012. Global Resources Use and Pollution, Volume 1 / Production, Consumption and Trade (1995-2008). Publication Office of the European Union, Luxembourg.
- Bordigoni, M., Hita, A., Le Blanc, G., 2012. Role of embodied energy in the European manufacturing industry: Application to short-term impacts of a carbon tax. *Energy Policy* 43, 335–350. doi:10.1016/j.enpol.2012.01.011
- Chen, Z.M., Chen, G.Q., 2011. An overview of energy consumption of the globalized world economy. *Energy Policy* 39, 5920–5928. doi:10.1016/j.enpol.2011.06.046
- Chen, Z.-M., Chen, G.Q., 2013. Demand-driven energy requirement of world economy 2007: A multi-region input–output network simulation. *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.* 18, 1757–1774. doi:10.1016/j.cnsns.2012.11.004
- Cottrell, F., 2009. *Energy and Society: The Relation Between Energy, Social Change, and Economic Development*. AuthorHouse.
- Davis, S.J., Caldeira, K., 2010. Consumption-based accounting of CO₂ emissions. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 107, 5687–5692. doi:10.1073/pnas.0906974107
- Dias, R.A., Mattos, C.R., P. Balestieri, J.A., 2006. The limits of human development and the use of energy and natural resources. *Energy Policy* 34, 1026–1031. doi:10.1016/j.enpol.2004.09.008
- Dietzenbacher, E., Los, B., Stehrer, R., Timmer, M., de Vries, G., 2013. The construction of world input-output tables in the WIOD project. *Economic Systems Research*, 25, 71–98.
- Fouquet, R., 2010. The slow search for solutions: Lessons from historical energy transitions by sector and service. *Energy Policy* 38, 6586–6596. doi:10.1016/j.enpol.2010.06.029
- Goldemberg, J., 2001. *Energy and Human Well Being (Human Development Occasional Papers (1992-2007) No. HDOCPA-2001-02)*. Human Development Report Office (HDRO), United Nations Development Programme (UNDP).
- Hoekstra, A.Y., Mekonnen, M.M., 2012. The water footprint of humanity. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 109, 3232–3237. doi:10.1073/pnas.1109936109
- Hoekstra, A.Y., Wiedmann, T.O., 2014. Humanity's unsustainable environmental footprint. *Science* 344, 1114–1117. doi:10.1126/science.1248365
- IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Fifth Assess. Rep. Intergov. Panel Clim. Change*.
- Lenzen, M., Moran, D., Kanemoto, K., Foran, B., Lobefaro, L., Geschke, A., 2012. International trade drives biodiversity threats in developing nations. *Nature* 486, 109–112.
- Liu, H., Xi, Y., Guo, J., Li, X., 2010. Energy embodied in the international trade of China: An energy input–output analysis. *Energy Policy* 38, 3957–3964. doi:10.1016/j.enpol.2010.03.019
- Machado, G., Schaeffer, R., Worrell, E., 2001. Energy and carbon embodied in the international trade of Brazil: an input–output approach. *Ecol. Econ.* 39, 409–424. doi:10.1016/S0921-8009(01)00230-0
- Martínez, D.M., Ebenhack, B.W., 2008. Understanding the role of energy consumption in human development through the use of saturation

- phenomena. *Energy Policy* 36, 1430–1435.
doi:10.1016/j.enpol.2007.12.016
- Mazur, A., Rosa, E., 1974. Energy and life-style. *Science* 186, 607–610.
doi:10.1126/science.186.4164.607
- Olsen, M.E., 1992. The energy consumption turnaround and socioeconomic wellbeing in industrial societies in the 1980s. *Adv. Hum. Ecol.* 1, 197–234.
- Pasternak, A.D., 2000. Global energy futures and human development: a framework for analysis. US Dep. Energy Oak Ridge.
- Peters, G.P., Minx, J.C., Weber, C.L., Edenhofer, O., 2011. Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 108, 8903–8908. doi:10.1073/pnas.1006388108
- Rosa, E.A., 1997. Cross-national trends in fossil fuel consumption, societal wellbeing and carbon releases. *Environ. Signif. Consum. Res. Dir.* 100–109.
- Smil, V., 2005. *Energy At The Crossroads: Global Perspectives And Uncertainties*. MIT Press.
- Smil, V., 2010. *Energy Transitions: History, Requirements, Prospects*. Praeger.
- Steen-Olsen, K., Weinzettel, J., Cranston, G., Ercin, A.E., Hertwich, E.G., 2012. Carbon, Land, and Water Footprint Accounts for the European Union: Consumption, Production, and Displacements through International Trade. *Environ. Sci. Technol.* 46, 10883–10891. doi:10.1021/es301949t
- Steinberger, J.K., Roberts, J.T., 2010. From constraint to sufficiency: The decoupling of energy and carbon from human needs, 1975–2005. *Ecol. Econ.* 70, 425–433. doi:10.1016/j.ecolecon.2010.09.014
- Suárez, C.E., 1995. Energy needs for sustainable human development. *Energy Instrum. Socio-Econ. Dev.*
- Tang, X., Snowden, S., Höök, M., 2013. Analysis of energy embodied in the international trade of UK. *Energy Policy* 57, 418–428.
doi:10.1016/j.enpol.2013.02.009
- UN, 1986. Declaration on the Right to Development (No. 97th plenary meeting), A/RES/41/128. New York.
- Wang, F., Sims, J.T., Ma, L., Ma, W., Dou, Z., Zhang, F., 2011. The Phosphorus Footprint of China's Food Chain: Implications for Food Security, Natural Resource Management, and Environmental Quality. *J. Environ. Qual.* 40, 1081. doi:10.2134/jeq2010.0444
- WBGU, 2003. *World in Transition. Towards Sustainable Energy Systems*.
- Weinzettel, J., Hertwich, E.G., Peters, G.P., Steen-Olsen, K., Galli, A., 2013. Affluence drives the global displacement of land use. *Glob. Environ. Change* 23, 433–438. doi:10.1016/j.gloenvcha.2012.12.010
- Wiedmann, T., 2009. A first empirical comparison of energy Footprints embodied in trade — MRIO versus PLUM. *Ecol. Econ., Methodological Advancements in the Footprint Analysis* 68, 1975–1990.
doi:10.1016/j.ecolecon.2008.06.023
- Wiedmann, T.O., Schandl, H., Lenzen, M., Moran, D., Suh, S., West, J., Kanemoto, K., 2013. The material footprint of nations. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 201220362. doi:10.1073/pnas.1220362110



XIV JORNADAS DE ECONOMÍA CRÍTICA

Perspectivas económicas alternativas

Valladolid, 4 y 5 de septiembre de 2014

La concepción y la gestión "modernas" del agua. Un ejemplo de asimilación cultural

José Antonio Batista Medina

Universidad de La Laguna

LA CONCEPCIÓN Y LA GESTIÓN "MODERNAS" DEL AGUA. UN EJEMPLO DE ASIMILACIÓN CULTURAL

José Antonio Batista Medina

Facultad de Ciencias Políticas y Sociales

Universidad de La Laguna

jbatisme@ull.es

Resumen

El agua es un recurso multidimensional. Las culturas del agua han sido y continúan siendo diversas. Sin embargo, la política hídrica global, de un tiempo a esta parte, tiende a enfatizar su visión como *recurso económico*, que en la interpretación que podríamos llamar ortodoxa la reduce a un mero *input* que ha de ser gestionado y usado de acuerdo con los principios de la Economía convencional (mercados, precios, sector privado...) y, en su caso, siguiendo lo dictado por la tecno-ciencia occidental. Y todo ello con el (supuesto) objetivo general de resolver los problemas del agua, tanto locales como globales (agotamiento, sobreexplotación, uso y gestión ineficientes, falta de acceso de millones de personas en el mundo...). Se trata, sin embargo, de una concepción más de este recurso y de su manejo, la moderna y, específicamente, neoliberal, que pretende extenderse globalmente. Nos hallamos, por ello, ante un proceso de asimilación cultural a gran escala, que pasa por alto las diferencias (los diferentes modos de entender el agua, las diferentes formas de gestionarla, las distintas prioridades de uso...), tendiendo a la uniformización cultural. En este caso, el agua se iguala como *recurso*, perdiendo así su multidimensionalidad, y las diversas culturas hídricas son erosionadas, olvidadas y hasta menospreciadas, difundiéndose e imponiéndose una de carácter occidental y particular: la neoliberal, que se considera la "mejor" en determinados círculos de poder para hacer frente a los problemas actuales y a los desafíos futuros. Pero como es usual en los procesos de asimilación, los que valoran la diferencia y los que quieren seguir siendo diferentes responden y defienden otras visiones del agua y de las formas de organizar su gestión.

Esta contribución gira en torno al análisis de tres cuestiones. En primer lugar, describiremos con detalle (apartados 2 a 6) esa concepción moderna del agua (y su reflejo en las fórmulas de gestión). Seguidamente analizaremos (apartado 7) el proceso de asimilación global impulsado desde potentes sectores económicos, políticos, financieros y científicos de carácter transnacional,

prestando especial atención a los medios empleados (desde los más directos y concretos, como imponer la privatización-mercantilización, hasta los más sutiles de carácter ideológico y simbólico). Por último, haremos una breve reflexión que gira en torno a algunas de las cuestiones centrales abordadas: ¿es la consideración del agua como *recurso económico* la mejor forma de promover un uso sostenible?; ¿son las recetas neoliberales las que, como se mantiene, resolverán los problemas del agua y por ello han de globalizarse?; ¿no hay otras alternativas viables?

Palabras clave: agua, modernidad, neoliberalismo, globalización, asimilación cultural.

Clasificación JEL: Q15, Q25, Z13

1. Introducción.

El objetivo de este trabajo es analizar (y criticar) la concepción y la gestión "modernas" del agua, donde incluimos su versión "neoliberal"¹. Nos referimos con ello al tratamiento y a la visión de ese recurso que emanan de diversos organismos internacionales, principalmente, y nacionales (agencias de desarrollo, corporaciones, gobiernos, organizaciones financieras transnacionales...) y de la tecno-ciencia occidental. Se trata de esa idea, extendida y ampliamente aceptada en ciertos círculos, del agua como recurso (como *input*) *económico*, sometido a principios económicos y, en muchos casos, gestionado privadamente. Para las organizaciones privadas y públicas relacionadas de algún modo con la gestión del agua, el futuro de este recurso pasa, básicamente, por implantar esa concepción, persiguiendo, al menos en apariencia, objetivos socioeconómicos y ecológicos. A su descripción y análisis dedicaremos la mayor parte de los apartados de este trabajo.

Pero no nos hallamos ante una visión universal ni ahistórica. Existen infinidad de sistemas en muchos lugares del mundo en los que el agua se ha concebido

¹ La concepción neoliberal sería la que se desarrolla, especialmente, a partir de los años noventa del siglo XX. Nosotros entendemos que es una versión de la visión moderna (de hecho, a veces hablamos de ésta únicamente), que es más general y que tiene una larga historia. Como resultado de ello, algunos elementos básicos son compartidos (p. ej., la concepción del agua como recurso externo, separado, dominable...; la tendencia a ignorar o despreciar las diferentes culturas del agua, la primacía de la ciencia y la tecnología occidentales...), otros, en cambio, son fruto de la implantación y avance de los planteamientos neoliberales (p. ej., la confianza en la propiedad privada, en el sector privado, en los mercados...).

y aún concibe de una forma muy diferente. Se trata, además, de sistemas que, en general, la han gestionado de manera razonablemente sostenible, eficiente y equitativa. Sin embargo, como veremos en el apartado 7, la concepción moderna y neoliberal de este recurso y de su gestión se ha traducido en políticas hídricas que han acabado con las culturas del agua tradicionales e indígenas o las han trastocado severamente, que han erosionado, cuando no eliminado, los modelos públicos y colectivos y los principios sobre los que se han asentado... Y ello es un claro ejemplo de lo que los antropólogos llaman "asimilación cultural", que puede ser dirigida o forzada, o un proceso de adaptación de los actores sociales ante nuevas oportunidades o circunstancias. Sea de una forma o de otra, lo cierto es que la extensión de la concepción moderna y neoliberal no sólo está introduciendo (o tratando de introducir dadas las fuertes resistencias) otra visión del agua, otra forma de gestionarla, con resultados variables (y muchas veces negativos), sino que, lo que es peor, está destruyendo o cambiando severamente sistemas que han funcionado correctamente (o que podrían hacerlo si son apoyados) bajo otra concepción del recurso hídrico y siguiendo fórmulas de gestión colectivas o híbridas.

Ahora bien, considerar el agua un recurso económico (en su sentido más estrecho) y abrazar las recetas neoliberales, ¿son la solución? ¿Son la única solución? Centrar el debate, como ha sido habitual, en torno al modelo privado *versus* público, ¿nos permite avanzar?

2. El agua como recurso *económico* y como mercancía.

La idea del agua como recurso económico no es novedosa. Sin embargo, es cierto que tras la Conferencia de Dublín (ICWE, 1992) toma fuerza a raíz de lo contenido en su punto 4: "*El agua* tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia y *debería reconocerse como un bien económico*. [...] El no haber reconocido en el pasado el valor económico del agua ha llevado al derroche y a usos del recurso medioambientalmente dañinos. *La gestión del agua como bien económico es una manera importante de alcanzar un uso eficiente y equitativo y de favorecer la conservación y la protección de los recursos hídricos*" (cursiva nuestra). Lo expresado en este punto ha sido interpretado por numerosos autores, agencias, organizaciones, corporaciones, etc. en el sentido de que el agua es, dejando a un lado algunas características particulares, un elemento más (véase Gray, 1983), un *input* de un sistema económico, un "recurso" que no se diferencia, o no debe diferenciarse, de otros en su concepción, en su tratamiento y en su gestión. El agua, así, se considera un recurso *económico* en el sentido más formal del término, apareciendo en las

concepciones más extremas vaciado de otros aspectos relevantes. Los problemas de esta visión surgen de la interpretación (a veces implícita) que se hace de *lo económico* y, sobre todo, de lo que implica en el diseño de políticas de agua. Partimos de que la concepción de este recurso conduce a formas concretas y congruentes con ella de valorarlo, gestionarlo y utilizarlo y, por lo tanto, fija las "herramientas" (y quiénes han de usarlas) que se consideran más apropiadas para ello.

En la interpretación más generalizada (la que podríamos llamar ortodoxa) del agua como *recurso* destacan los conceptos, los criterios, las herramientas, etc. tecno-económicos. El valor del agua es, básicamente, valor económico. Un valor, además, que se refleja o ha de reflejarse en los precios (véase Ward y Michelsen, 2002: 443)². El agua, como otros *inputs* de un sistema económico, ha de tener precios que reflejen su situación (oferta-demanda) en un momento determinado y, en su caso, los costes totales. Son los precios (ver, p. ej., Dinar, 2000; van der Zaag y Savenije, 2006; Rogers et al., 2002; World Bank, 2004: 22; Postel, 1997: 166) los que garantizarán, en principio, un uso eficiente, los que actuarán contra una utilización inadecuada o ineficiente (en términos principalmente económicos). Se parte de que la consideración del agua como un recurso "libre", gratuito, lleva al sobreconsumo, a la ineficiencia y a numerosos problemas medioambientales. Es decir, se considera, erróneamente, que la ausencia de precios y de mecanismos como el mercado se traduce en problemas económicos y ecológicos. No son raras, en este sentido, las alusiones a la "tragedia de los comunes" de Hardin (1968) para explicar algunos de los males del sector hídrico (ver Mitchell, 1984; Mercoullier y Coggins, 1999; Gray, 1983).

En este contexto, el mercado (los mercados de agua) se erige en el principal mecanismo (y considerado mejor frente a, por ejemplo, los precios fijados administrativamente)³ para asignar el agua como recurso escaso entre fines y

² De este modo, prácticamente viene a igualarse el valor (económico) a los precios. Como dicen estos autores: "Cuando el sistema de mercado funciona eficientemente, el precio del agua es un indicador preciso de su valor económico" (Ward y Michelsen, 2002: 443).

³ Se argumenta, en este sentido, que si bien los precios son un mecanismo aparentemente sencillo, su establecimiento y funcionamiento es muy exigente en condiciones técnicas e infraestructurales (mediciones volumétricas, conducciones cerradas...), jurídico-legales y administrativas. Aparte, se reconocen las dificultades "políticas" para su establecimiento (véase Dinar, 2000). Donde esos precios son fijados administrativamente, ni siquiera se puede hablar de mercado en sentido estricto (Dellapenna, 2000: 323-324, 359, 363-364; 2009: 380). Por ello, y sin ignorar su importancia y los casos en donde pueden funcionar bien (p. ej., en el caso del agua de consumo), se prefieren los precios de mercado (ver *The Economist*, 2009; Briscoe, 2011).

usuarios en competencia⁴. De este modo, se da un paso más y ya no es sólo un recurso (un *input*), sino, además, una *mercancía* (ver MacDonnell, 2004; Serageldin, 2010; Mitchell, 1984; Kerschner y Peterson, 2011; Geman y Kanyinda, 2004). Y aquí está la clave de la interpretación economicista del cuarto principio de Dublín: la afirmación de que el agua es un recurso *económico* lleva a su consideración como un bien que ha de asignarse a través del mercado y que, por ello, acaba convertido en una *mercancía*. Y en este nivel, ya no nos encontramos únicamente ante una cuestión de eficiencia, de asignación a los usos más beneficiosos, más valiosos (en términos económicos), sino que, además, aparece como una oportunidad de negocio, una fuente de cuantiosos beneficios a la que miran grandes empresas e inversores conscientes de su importancia estratégica en el presente siglo⁵. En su conjunto, el sector hídrico (suministro de agua, tecnologías e infraestructuras hídricas...) aparece como uno de los más atractivos del presente y del futuro próximo⁶, por lo que no debe extrañar que incluso vayan introduciéndose en tal sector corporaciones no inicialmente implicadas (al menos directamente) en él⁷. El agua, pues, se convierte así en una *mercancía global* (ver Kaufman, 2012; Shiva, 2002; Swyngedouw, 2005), se transforma en dinero, beneficios⁸...

Podríamos decir que la visión más estrecha del agua como recurso *económico* sirve como fundamento o argumento para su concepción como mercancía, como un elemento que "pertenece" (o ha de pertenecer) al ámbito del mercado, sometido a los principios de éste y orientado, más allá de los argumentos de la eficiencia (técnica y económica), a la obtención de beneficios.

Como puede suponerse, son muy numerosos los defensores de los mercados de agua, encontrando, no obstante, variaciones entre los que hacen una

⁴ Ver MacDonnell (2004), Glennon (2005), Adler (2008), Henderson y Akers (2008), Ward y Michelsen (2002), Zilberman y Schoengold (2005), Sunding (2000), Rogers et al. (2002), Anderson y Libecap (2011), Libecap (2009, 2010), Perry et al. (1997), Turner et al. (2004), Briscoe (2011), Rogers et al. (1998), Fonseca (1998), Rezaee (1999), World Bank (2004: 24, 25).

⁵ Ver, p. ej., Goldman Sachs (2008), Morgan Stanley (2012), Serageldin (2010), Ryan et al. (2013), McCullough (2012), McWhinney (2011)

⁶ Como señala Goldman (2007: 790): "Tratar con el agua se ha convertido en uno de los mercados más lucrativos para los inversores de capital transnacionales". De acuerdo con Kaufman (2012: 470): "[...] la próxima gran mercancía del mundo no será el oro, o el grano, o el petróleo. Será el agua. El agua utilizable".

⁷ Por ejemplo, Monsanto (Shiva, 2002: 88-89), General Electric (Geman y Kanyinda, 2007) o corporaciones petroleras (Gronewold, 2008).

⁸ Como señalan Hall y Lobina (2007: 776), para las corporaciones suministrar agua a las poblaciones de los países en vías de desarrollo no es diferente de servir piezas para la industria aeronáutica francesa. Son oportunidades comerciales, mercados potenciales, expectativas de beneficios. Si no hay beneficios, no interesa.

defensa ciega, cuasi religiosa de ellos⁹, hasta los que mantienen acercamientos o planteamientos más prudentes y realistas¹⁰, argumentando que no funcionan bien en todos los casos, que requieren una clara y decidida intervención del Gobierno, etc.

Sea como fuere, lo que supone lo anterior es que la concepción del agua que se apoya y difunde a través de distintos medios y actores es una que reduce hasta límites extremos la multidimensionalidad de ese recurso y sus múltiples valores. En tal sentido, los diversos aspectos o dimensiones del agua (social, religiosa, simbólica, histórica, identitaria...), como ha sido constante a lo largo de la historia y transculturalmente, se ignoran y se enfatiza su aspecto y valor económicos (ver también Shiva, 2002: 137, 138; Mehta, 2000: 11)¹¹. Pero se va más allá, pues la consideración del agua como recurso *económico* toma la definición más estrecha o restringida de *lo económico*, la que se centra en aquellos bienes con precios (o que pueden tener precios que reflejen su valor). Se entiende así que se primen los mecanismos de asignación a través del mercado (en menor medida los basados en tarifas administrativas) y que, como veremos en el siguiente apartado, se dé prioridad al sector privado¹².

Sin embargo, hablar del recurso hídrico como *económico* tiene una interpretación menos extrema, que es la que enfatiza que se trata de un bien escaso que ha de gestionarse adecuadamente para lograr determinados fines¹³. En este caso, el carácter *económico* del agua no presupone el uso de herramientas concretas. Es decir, los precios y los mercados son posibles medios entre otros. Por su parte, los fines no están dados, sino que se definen socialmente, aunque pueda haber cierto acuerdo en determinados objetivos generales como su buen uso, su conservación..., tal y como se refleja en

⁹ MacDonnell (2004), Adler (2008, 2008/2009, 2012), Ward y Michelsen (2002), Sunding (2000), The Economist (2009, 2010), Anderson y Libecap (2011), Libecap (2009, 2010), Fonseca (1998).

¹⁰ Savenije (2002), Henderson y Akers (2008), Zilberman y Schoengold (2005), Bauer (1997), van der Zaag y Savenije (2006), Dellapenna (2000, 2009), Perry et al. (1997), Gleick et al. (2002), Postel (1997), Maliva y Missimer (2012).

¹¹ Como señala esta autora (Shiva, 2002: 137): "La palabra *valor* deriva del término latino *valere* que significa 'tener fuerza o valor'. En las comunidades en donde el agua es sagrada, el valor del agua se basa en su papel y función como fuerza vital para los animales, las plantas y los ecosistemas. Sin embargo, la mercantilización del agua reduce su valor sólo a su valor comercial".

¹² La idea del agua como *recurso económico*, en su sentido más restringido, sirve, pues, como argumento, justificador y legitimador de los procesos englobados bajo el concepto de *neoliberalización* del agua (ver Robbins, 2003: 1073-1074, 1077), Furlong (2010: 48), Bakker (2013: 254), Budds y McGranahan (2003: 95, 96), Rossotto (2012: 268), Gleick et al. (2002: i, vii); Mehta (2000: 9).

¹³ Ver Savenije y van der Zaag (2002: 99), Savenije (2002: 741), Brown (1997: 3, 4), Hellegers y Perry (2006: 80), McNeill (1998: 254, 256, 257, 261), Ali (2011: 143).

numerosos documentos y acuerdos internacionales (ver, p. ej., ICWE, 1992; GWP, 2000).

3. Desterritorialización y desculturalización.

La consideración del agua como *recurso económico* en su sentido más estrecho y su asignación a través del mercado de acuerdo con criterios de eficiencia económica, supone que el agua no aparece confinada espacialmente, no se limita a un espacio (en el sentido físico) concreto. El agua "moderna" es un recurso sin lugar de referencia, sin un territorio (véase también Boelens y Vos, 2012: 23). Puede, según el principio del mercado (o decisiones políticas), ir a cualquier sitio donde su uso sea más eficiente, donde haya compradores y sectores capaces de llevar a cabo una utilización más "rentable", más "beneficiosa". El recurso hídrico pierde así la ligazón con su entorno natural y social. Se rompe la tradicional vinculación a una cuenca, a una comunidad, a un espacio. Esto se entiende si tenemos en cuenta que el mercado requiere, para su funcionamiento a determinada escala, "desanclar" el agua de sus territorios, "liberarla" de sus ataduras espaciales y ambientales (véase también McCarthy y Prudhan, 2004: 277). La conversión del agua en mercancía supone moverla, trasladarla, llevarla de un lugar a otro. La movilidad de este recurso alcanza su máxima expresión gracias a los medios técnicos e infraestructurales actuales, que hacen posible que su uso tenga lugar a mucha distancia de su lugar de origen y, con mucha frecuencia, uso histórico. El recurso hídrico, así, se *desterritorializa* y, en gran medida por ello, se *desculturaliza*¹⁴. Y, en muchos casos, las consecuencias medioambientales y las socioeconómicas directas e indirectas son importantes, especialmente en los lugares de origen (véase WWF, 2007).

Y no deben pasarse por alto las consecuencias de las transferencias relacionadas con la percepción del agua: el origen de ésta no se ve, no hay contacto de ningún tipo con los entornos en los que nace y por los que discurre, lo que, sin duda, tiene efectos (o puede tenerlos) negativos en su percepción y valoración. El agua que se consume en las ciudades sale del grifo y la que riega las grandes explotaciones agroindustriales llega en tuberías y se aplica automáticamente. Para un ciudadano de una gran urbe y para un agricultor

¹⁴ Como señala Islar (2012: 326): "[...] el proceso de privatización significa que el agua es desconectada de la gente y de la naturaleza, así como de sus relaciones culturales e históricas". Ahlers (2010), por su parte, mantiene que las reformas neoliberales no sólo suponen la desposesión de la tierra y el agua, sino que también llevan al desmantelamiento de derechos colectivos sobre esos recursos y, por lo tanto, a la erosión de la identidad colectiva basada en ellos.

industrial el agua es, en muchos casos, un mero recurso, un elemento sin un origen definido (o desconocido)¹⁵, sin historia, sin cultura, sin ataduras territoriales... Se trata, por ello, de un agua *desculturizada*, *desacralizada*, *desubicada*.

Pero también es un agua *partida*, *sectorializada*, perdiendo así su unidad, los usos múltiples y simultáneos que tienen lugar en muchos casos. Tenemos, de esta manera, agua de uso agrícola, industrial, agua para consumo doméstico, aguas depuradas... Y ello tiene su reflejo lógico en la "sectorialización" de las técnicas y ciencias que abordan el agua (ver también Klaver, 2012: 5; Boelens, 2012: 69)¹⁶, con un claro dominio de disciplinas técnicas y económicas, lo que guarda relación con la visión tecnoeconómica del propio recurso. No existe, pues, una concepción y una gestión realmente global (holística) del agua.

4. El agua como factor externo y la cuestión de la sostenibilidad.

Como heredera de una larga tradición de pensamiento occidental que considera la naturaleza como algo externo que nos suministra bienes bajo la forma de recursos naturales y que incluso está "ahí" para satisfacer las necesidades humanas (visión instrumental)¹⁷ (véase Barry, 1999), el agua en nuestra sociedad tiende a concebirse como un elemento individualizado (no formando parte de un todo) que está "ahí fuera" a disposición de las sociedades para su sostenimiento y para el desarrollo de actividades económicas. Se trata de un bien apropiable, dominable, controlable, con una existencia dependiente de los usos humanos. En 1928, John Widtsoe, un técnico de riego del *Bureau of Reclamation* del gobierno estadounidense, resumía perfectamente esta concepción: "El destino del hombre es poseer la totalidad de la tierra; y el destino de la tierra es estar sujeta al hombre. No puede haber una conquista completa de la tierra, ni una auténtica satisfacción para la humanidad, si grandes porciones del planeta permanecen más allá de

¹⁵ Postel (1997: 184), haciendo referencia a lo que podríamos llamar bases filosóficas de la crisis del agua, señala que un problema de la sociedad moderna es la desconexión del agua. Para muchos, dice Postel, este recurso es lo que sale de un grifo, no pensando en lo que hay más allá.

¹⁶ Hoy se reconoce que el acercamiento segmentado o sectorializado en las políticas de gestión del agua es problemático, por lo que se apuesta por enfoques holísticos, integrados (véase GWP, 2000: 12-14).

¹⁷ Podríamos citar a Aristóteles (2001: 59): "[...] en la naturaleza, las plantas existen para los animales, y los demás animales, en beneficio del hombre: los domésticos para su utilización y su alimentación, y los salvajes -si no todos, al menos la mayor parte de ellos-, con vistas a la alimentación y a otras ayudas, para ofrecer tanto vestidos como otros utensilios. Por consiguiente, si la naturaleza no hace nada imperfecto ni en vano, es necesario que todos esos seres existan naturalmente para utilidad del hombre".

su más elevado control. Sólo si todas las partes de la tierra son desarrolladas de acuerdo con el mejor conocimiento existente, y sometidas al control humano, el hombre puede decir que posee la tierra" (cit. en von Winterfeld, 2010: 176). En esta posición, no utilizar el agua, no ponerla en algún uso productivo, se considera una actitud despilfarradora, derrochadora, una pérdida. Y, por supuesto, no se concibe el agua para las funciones ambientales (véase también Shiva, 2002: 28). El hombre (occidental), "armado" con los conocimientos tecno-científicos y los avances tecnológicos, ha de controlar o dominar las masas de agua mediante embalses, canalizaciones, etc. Así ocurrió en la que podríamos llamar etapa de las grandes infraestructuras hidráulicas. En la actualidad, esta visión se concreta más bien en establecer cuáles han de ser los usos que han de ser priorizados de acuerdo con objetivos económicos¹⁸. Y, por lo general, los usos tradicionales y las funciones ambientales salen perdiendo.

En línea con lo que acabamos de apuntar, hemos de decir que en este esquema economicista, utilitarista, "separado" y atomista del agua, las consideraciones ambientales han estado, por lo general, ausentes de la agenda de los propietarios o gestores. Es más, los objetivos y criterios económicos han ido, con mucha frecuencia, muy por delante de planteamientos conservacionistas o sostenibles¹⁹. Y los resultados han sido desastrosos (ver, p. ej., Postel, 1997; Pearce, 2006; De Villiers, 2001). Es cierto que ahora hay un reconocimiento de ello, es decir, de la necesidad de integrar los aspectos medioambientales en las políticas hídricas (Gleick, 2000), lo que se concreta en la explicitación de la sostenibilidad como objetivo irrenunciable (ver, p. ej., WBSCD, 2006; GWP, 2000; Cosgrove y Rijsberman, 2000). Pero se basa, y aquí está el problema, en un diagnóstico no siempre certero (p. ej., la supuesta ineficiencia de lo colectivo-público), cuando no completamente erróneo (p. ej., la "tragedia de los comunes"), que plantea medidas que pasan fundamentalmente por defender los mercados y la propiedad privada para resolver los problemas ambientales (véase Anderson y Leal, 1991) o socioambientales (pues van juntos) desde más o menos localizados (p. ej., en una cuenca) hasta globales como la llamada "crisis del agua"²⁰. A ello podríamos añadir una dosis elevada de "optimismo tecnológico": confiar en los

¹⁸ Islar (2012) analiza la política hídrica del Gobierno turco basada en destinar los ríos a la producción de energía eléctrica. Se considera que los ríos son recursos gobernables, controlables, y que han de ponerse en un uso productivo, que genere beneficios para la economía del país. Los usos tradicionales y las comunidades son obviados, considerándose además a éstas como ignorantes y obstáculos al desarrollo de la nación.

¹⁹ Glennon (2005: 1894), que defiende el papel de los mercados, reconoce que las corporaciones privadas tienen, *per se*, pocos incentivos para preocuparse por el impacto ambiental de suministrar agua.

²⁰ Ver Adler (2008, 2008/09, 2012), Sunding (2000), Rogers et al. (2002), Anderson y Libecap (2011), Rogers et al. (1998).

avances técnicos (y tecnológicos) para resolver los problemas que van surgiendo (p. ej., si agotamos las reservas naturales, desalamos; si desecamos una cuenca, traemos el agua de otra; si agotamos los acuíferos, los recargamos...) (véase, por ejemplo, Kerschner y Peterson, 2011). En tal caso, los problemas del recurso hídrico también se convierten en una oportunidad de negocio, en un mercado. McWhinney (2011) lo expresa con claridad: "Como cualquier otra escasez, la carestía de agua crea oportunidades de inversión"²¹. Y, de hecho, la *retórica de la escasez* es un elemento clave en los procesos de mercantilización-privatización (ver, p. ej., Page, 2005; Ahlers, 2010).

Esta visión contrasta profundamente con la mantenida en comunidades agrícolas tradicionales e indígenas. En éstas, el agua se concibe, en general, como parte de un "todo", de una totalidad a la que también pertenecen los propios humanos. El recurso hídrico, especialmente en comunidades nativas, no es algo externo, separado, dominable, meramente útil. Antes bien, está integrado en una totalidad socioambiental e incluso llega a tener un rol activo (domina, no es dominada, es sujeto, no objeto) y de ahí que aparezca estrechamente vinculada a creencias y prácticas religiosas, códigos morales, etc. El agua no es sólo fundamental para la existencia, sino que forma parte de la existencia misma, junto con los demás seres vivos y plantas. Preservarla, pues, es garantizar la supervivencia de las comunidades humanas y de sus entornos naturales. De ahí que se haya comprobado y afirmado (sin caer en un trasnochado romanticismo) que los sistemas tradicionales e indígenas son, por lo general, bastante sostenibles gracias no sólo a prácticas concretas, sino a concepciones del agua que, dejando a un lado ahora las especificidades, no son unidimensionales (un *input*, un recurso económico) ni parten de su carácter externo y "separado".

Sin embargo, no hay que ir a sistemas con larga historia o propios de nativos más o menos aislados y alejados de la "modernidad". Incluso en sociedades desarrolladas o en vías de desarrollo existen numerosos casos en los que se mantiene esta visión o una muy similar. Por ejemplo, en diversos países (España, Francia, Estados Unidos, Italia, México...) hay en funcionamiento sistemas de riego en los que el agua no es un recurso aparte, independiente, sino unido a la tierra (a las fincas) y a un territorio específico. Se dice, así, que "el agua es de la tierra" (véase, p. ej., Batista, 2001). Y con una afirmación de este tipo no se plantea sólo que el recurso hídrico aparece (y ha de aparecer) ligado a los terrenos que lo requieren; no es solamente la "fusión" de dos elementos interdependientes, sino la expresión de una concepción del agua

²¹ Kaufman (2012: 470) nos dice que los inversores adoran el tono apocalíptico que rodea al agua, pues entre los intersticios de la violencia y el caos hay dinero.

que reconoce que nos hallamos ante un recurso que no puede ser objeto de propiedad individual, ante una visión que, además, contiene ingredientes de una ética ambiental (véase también Barber y Jackson, 2011) que tiene en cuenta el presente (los actuales usuarios) y el futuro, su disponibilidad para las próximas generaciones²². Y en estas comunidades el futuro se garantiza, en gran medida, manteniendo el agua atada a la tierra y fuera de los mercados ("el agua no es una mercancía").

5. El individuo y la empresa frente a lo colectivo: el énfasis en lo privado.

En la visión que llamamos "moderna" del agua se destaca el individuo frente a lo colectivo/público (véase también Ingram y Brown, 1998: 123-124). Como heredera del individualismo y el liberalismo occidentales, las formas de propiedad, control, gestión y uso colectivos y/o públicas son, si no ignoradas (véase también Shiva, 2002)²³, minusvaloradas, lo que se basa, por lo general, en su desconocimiento y en la falta de reconocimiento del papel que han jugado (y continúan jugando) en muchas sociedades y grupos del presente y del pasado. En este sentido, lo colectivo y lo público se asocian, en los enfoques ortodoxos del agua, a ineficiencia económica (y financiera, cuando entra en escena el sector público) y a prácticas insostenibles²⁴. Un buen ejemplo de esto es Hardin (1968) y su tristemente célebre "tragedia de los comunes". La concepción negativa de lo colectivo/público²⁵ en el sector hídrico ha llevado a no considerar el papel que pueden jugar las fórmulas no-privadas en la gestión del recurso hídrico y en la solución de sus problemas. Es decir, se apoya la propiedad privada (véase, p. ej., Libecap, 2009)²⁶ frente a otras opciones o combinaciones de ella y la participación privada frente a la pública-

²² Como señalan Ingram y Brown (1998: 124), en los sistemas tradicionales, el individuo no aparece como un propietario del agua sino como "un guardián temporal de un recurso que ha sido entregado por las generaciones anteriores y que debería ser entregado a las futuras generaciones, sin ser degradado, ni disminuido".

²³ El debate internacional sobre el agua gira, por lo general, sobre la oposición privado-público, apoyándose principalmente las fórmulas privadas frente a las públicas, administrativas o gubernamentales. En algunos casos se llega a emplear incluso propiedad como sinónimo de propiedad privada (Adler, 2012), con lo cual se ignoran otras formas y sus posibles combinaciones.

²⁴ Esto, como señala Laimé (2008), funciona como un "dogma", como un principio de fe, más que como algo con una sólida base empírica. Sea como fuere, cumple perfectamente su función de justificador-legitimador de la intervención del sector privado, de la mercantilización del agua... (ver también Swyngedouw, 2005: 82; Robbins, 2003: 1074; Furlong, 2010: 49; Goldman, 2007: 793, 799; Budds y McGranahan, 2003: 87, 97, 98; Hall y Lobina, 2007: 773; Laimé, 2007).

²⁵ La gestión pública, mediante organismos gubernamentales, se considera plagada de fallos, por lo que tampoco se contempla como opción, al menos como opción única (ver Libecap, 2009, 2010; Anderson y Libecap, 2011; Perry et al., 1997; Glennon, 2005; Adler, 2012).

²⁶ Libecap (2009: 130, 131), desde una perspectiva ortodoxa, reconoce la alternativa de la propiedad común, pero sólo la ve viable bajo condiciones muy concretas.

colectiva. En la formulación ortodoxa de este modelo, los niveles supraindividuales, en todo caso, no deben interferir o deben interferir lo mínimo en las decisiones individuales posibles sobre el uso y la asignación del recurso. El Estado (o el Gobierno, para ser más precisos) ha de limitarse a regular y supervisar los aspectos indispensables para el funcionamiento de los mercados y, en general, de la actividad privada (véase, p. ej., Glennon, 2005).

El individuo, pues, se eleva un lugar central; el individualismo y lo privado (el sector privado) se imponen frente al colectivismo y lo común-público. Priman, por lo tanto, los fines u objetivos individuales (y empresariales). El interés individual gana frente al interés general o social, aunque este último aparezca con muchísima frecuencia como argumento de ciertas decisiones que apoyan los mercados de agua, la propiedad privada... Continúa, pues, la vieja idea de que la acción económica individual generará beneficios colectivos. Como dice Glennon (2005: 1887; véase también Adler, 2012: 101), en las transferencias libres de derechos de agua "los vendedores y compradores hacen beneficios, y la sociedad se beneficia del incremento de la eficiencia".

En el caso específico del agua de consumo doméstico, el actor priorizado es la empresa (o la corporación). Sobre los manidos argumentos de la supuesta ineficiencia del sector público en la gestión y el suministro del recurso hídrico y de la supuesta mayor eficiencia y capacidades financieras del sector privado, entre otros factores, cada vez más personas²⁷ en el mundo desarrollado y en vías de desarrollo²⁸ acceden al agua que controlan empresas y grandes

²⁷ En términos globales, la tendencia ha sido, especialmente desde la década de los noventa del siglo XX, hacia el crecimiento del número de personas que acceden al agua suministrada por empresas o corporaciones privadas (Roche, 2000; Laimé, 2008; Furlong, 2010). Bakker (2013: 253) habla de un 10% de la población mundial. Budds y McGranahan (2003: 88) bajan ese valor hasta el 5%. En valores absolutos, en 2002 eran más de 460 millones de personas las que consumían agua suministrada por el sector privado (Goldman, 2007: 795). En cifras de mercado, el suministro (y el saneamiento) liberalizado a nivel mundial se sitúa en torno al 7-8% (Laimé, 2008). Ello significa que aún es extremadamente importante la participación del sector público, que, a nivel global, es el principal suministrador de agua. Por ejemplo, Furlong (2010: 54) señala que el 90% de las infraestructuras hídricas de las 400 ciudades más grandes del mundo son propiedad de (y son gestionadas por) entidades públicas.

²⁸ Se observa aquí un cambio de tendencia en el sentido de que a partir de finales de los noventa del siglo XX, tras el importante avance de los años anteriores de esa década, se produce una desaceleración de la inversión y participación privadas en los países del Sur (Bakker, 2013: 254, 258; Goldman, 2007: 788; Budds y McGranahan, 2003: 98, 102, 111) debido a los riesgos, a la fuerte contestación social, a beneficios menores de los esperados... Sin embargo, esto no ha supuesto retirarse de esas naciones, sino simplemente seleccionar las áreas de actuación, que son los países de rentas medias y las mayores ciudades, es decir, las zonas más lucrativas y con menos riesgos (Furlong, 2010: 59; Bakker, 2013: 254, 258; Budds y McGranahan, 2003: 88), dejando para el sector público el resto.

corporaciones transnacionales²⁹, cuyo avance se ha producido, en muchos casos, a costa de dismantelar sistemas públicos (municipales) o colectivos-comunales. Y en esta situación, los criterios y objetivos económicos (no los sociales o ambientales, como se argumenta con frecuencia) son los prioritarios.

En el caso de los sistemas de riego, la recomendación (cuando no imposición) es la creación de Asociaciones de Usuarios del Agua (World Bank, 2005, 2004: 15), que se convierten así en el modelo de organización universal estandarizado³⁰. Y como tal, plantea fórmulas de gestión del agua basadas en principios económicos (incluidos aquí los mercados de agua), técnicos (ingeniería hidráulica y agronómica) occidentales y en la formalización de los procedimientos. Aunque se hable de "asociaciones", la base siempre es el *individuo*. De hecho, son organizaciones que se establecen para suministrar el agua de riego a los agricultores concebidos como "actores económicos", no como miembros de comunidades locales. Se ha demostrado que las AUA han sido positivas, en general, en aquellos casos en los que la gestión era centralizada (véase, p. ej., Sing, Ed., 1991). Pero la situación es muy diferente cuando se plantean y ponen en marcha en lugares en los que ya hay comunidades de regantes tradicionales, algunas con siglos de antigüedad, generando problemas y conflictos diversos entre aquéllas y las entidades y los agentes "externos" que conceptúan el agua, los propios sistemas de riego y sus objetivos (y criterios para su evaluación) de formas distintas y no siempre combinables³¹.

Podría pensarse, y así se ha expresado a veces, que el avance del sector privado en el agua (y, en general, en otros bajo dominio público y/o colectivo) supone (o es paralelo a) la retirada del sector público o la minimización del papel del Estado. Y, ciertamente, las formulaciones más extremas del neoliberalismo *parecen* plantear eso. Sin embargo, lo que vienen a demostrar diversas investigaciones sobre el proceso de neoliberalización del agua es que

²⁹ A mediados de los noventa del pasado siglo había unas doce empresas relevantes, cifra que se sitúa en torno a 150 en 2012 (Bakker, 2013: 256). Sin embargo, hay un claro proceso de concentración (Robbins, 2003: 1075), con un clarísimo dominio de corporaciones francesas como Suez y Vivendi (hoy Veolia Water) (ver Goldman, 2007: 790; Hall y Lobina, 2007: 774; Barlow y Clarke, 2005: 106-116; Shiva, 2002: 97). Ambas empresas servían en 2002 al 60% de las personas que acceden privadamente al agua, lo que suponía el 70% de la facturación mundial (Hall y Lobina, 2007: 774).

³⁰ Ver también Ruf y Valony (2007: 298), Valony (2006), Riaux (2009, 2011), Boelens et al. (2007: 103), Trawick (2003: 985), Boelens y Vos (2012), Boelens y Gelles (2005), Boelens y Zwarteveen (2005), Boelens (2009, 2012).

³¹ Ver, por ejemplo, Riaux (2009, 2011), Brown (1997), Ingram y Brown (1998: 126-127), Boelens et al. (2007), Trawick (2003: 985), Boelens y Gelles (2005), Boelens y Zwarteveen (2005), Boelens (2012).

el Estado sigue jugando un papel clave, central, esencial, en ese proceso³². Los gobiernos (al menos los coincidentes ideológicamente con las posturas neoliberales o los "ajustados" para ello) son los que han facilitado, apoyado, incentivado y protegido con sus leyes, con su sistema jurídico, con su "aparato", la mercantilización del recurso hídrico y la actuación del sector privado.

A ello hay que añadir que, tras los problemas de la privatización-mercantilización en muchos lugares del *Tercer Mundo* (elevados riesgos en la inversión, menos beneficios de los esperados, protestas y movimientos de resistencia...) (ver, p. ej., Robbins, 2003; Budds y McGranahan, 2003) las políticas neoliberales han mutado, adoptando fórmulas en las que se busca la implicación más directa de las comunidades (la sociedad civil) y de los gobiernos. Se enfatizan así los enfoques participativos y los acuerdos con los Estados (p. ej., los partenariados público-privados [World Bank, 2004: 12]). Ello, como muy bien ha planteado Sangameswaran (2009: 228), tiene una doble lectura. Por un lado, puede pensarse que tales cambios suponen un avance con respecto a los modelos más puramente privados y que traen resultados sociales, económicos e incluso ecológicos más positivos. Al fin y al cabo, se adoptan fórmulas participativas y se cuenta más con los gobiernos. Pero, por otro lado, sería plausible considerar que esas transformaciones son parte de las estrategias diseñadas por las grandes corporaciones y empresas para seguir obteniendo beneficios y/o extender su actividad (p. ej., a través de la reducción de los costes de ampliar las redes de suministro a áreas en principio poco atractivas o rentables bien con fondos públicos o labor comunal)³³. En tal caso, el proyecto neoliberal del agua pasa de basarse casi exclusivamente en el sector privado (la empresa) a adoptar formas en las que da entrada a otros actores y cambia algunos modos, aunque los objetivos sean los mismos³⁴.

³² Ver Islar (2012: 320), Swyngedouw (2005: 89, 90), Furlong (2010: 48, 52, 63-64, 65), Bakker (2013: 258), Sangameswaran (2009: 236), Budds y McGranahan (2003), Rossotto (2012), McCarthy y Prudhan (2004: 276), Ahlers (2010), Shiva (2002: 87).

³³ Ver Loftus (2009: 956, 957), Furlong (2010: 56, 61, 62), Bakker (2013: 257), Goldman (2007: 796), Budds y McGranahan (2003: 109-110), Hall y Lobina (2007: 777), Sangameswaran (2009: 229), Rossotto (2012: 268), McCarthy y Prudhan (2004: 275), Shiva (2002: 89, 90).

³⁴ El Banco Mundial reconoce (World Bank, 2004: 12) que uno de los objetivos de los partenariados público-privados es "[a]traer la inversión privada a países de bajos ingresos...".

6. De propietarios colectivos a propietarios, usuarios y clientes.

La concepción "moderna" del agua rompe con la tradicional relación entre ésta y las personas que la usan. O, en otros términos, reconfigura radicalmente la relación de la sociedad con la naturaleza (véase también McCarthy y Prudhan, 2004: 275). Pero también transforma las relaciones entre los sujetos que dependen de tal recurso. Debemos tener en cuenta que el agua, dada su extrema importancia, incorpora ("archiva") y expresa relaciones sociales y políticas entre todos los vinculados de un modo u otro a ella (ver también Loftus, 2009: 954, 958; Sangameswaran, 2009: 232).

En los sistemas tradicionales e indígenas el agua no se considera, como se ha visto, una propiedad en el sentido privado o individual del término. No se trata de un bien "apropiable" privadamente. Si acudimos a la teoría de los derechos de propiedad, encajaría en la "común" o "colectiva". Es decir, en muchos de esos casos nos hallamos ante un recurso de propiedad común (no obviamente en el sentido erróneo de no-propiedad o "libre acceso"), lo que significa que no hay posesión individual. El agua, de este modo, es de todos los miembros de la comunidad, de los propietarios de terrenos en una zona determinada, etc. Son éstos los que, además, se encargan de su gestión (con o sin apoyo externo). Es decir, los que comparten el recurso son los que determinan sus usos, los procedimientos para su distribución, los que financian (o contribuyen de otra manera) el mantenimiento de los sistemas de riego y/o de suministro público, los que nombran y controlan a los que se eligen para cargos ejecutivos en las organizaciones, los que toman las decisiones, los que establecen las reglas y los mecanismos para la sanción de quienes las incumplen... Es decir, son sistemas en los que los miembros participan en las tareas de gestión y control. Se trata, pues, de sistemas participativos³⁵.

Con la privatización del agua o de los servicios de suministro la situación se transforma radicalmente. Hay casos, los más graves, en los que los originales "propietarios" (p. ej., comunidades campesinas o indígenas) pierden sus recursos hídricos y pasan a ser meros usuarios o incluso, en el peor de los casos, a no tener acceso. En esta misma situación, otros (individuos, empresas, corporaciones) logran derechos privados sobre el agua. Es decir, unos son desposeídos (véase también Swyngedouw, 2005: 82), mientras que otros logran adquirir (de una manera u otra) derechos sobre el recurso hídrico y orientar su uso a la obtención de beneficios. Se produce lo que se ha venido a

³⁵ Los trabajos de Tang (1992) y Ostrom (1992) constituyen una excelente introducción a la gestión colectiva de los sistemas de riego.

llamar "acumulación por desposesión" (Harvey, 2003). En el caso de la privatización de los servicios de suministro doméstico los consumidores (los ciudadanos) se conviertan en "clientes", es decir, sujetos que, efectivamente, tienen derecho al agua, pero siempre y cuando cumplan las condiciones estipuladas, y especialmente el pago de las tarifas. Es verdad que no es raro que los servicios de suministro público se basen en sistemas tarifarios, pero en este caso hablamos de ciudadanos y ciudadanas que son beneficiarios de un servicio público (generalmente de ámbito municipal) que presta una entidad cercana (el Ayuntamiento u otra administración similar; una empresa de carácter público-municipal...). Pero la privatización de los servicios tiene importantes implicaciones en la participación de los consumidores finales y en el control que pueden ejercer³⁶. Téngase en cuenta que cuando el suministro lo lleva una empresa y ya no directamente una administración pública, generalmente próxima, o una organización local, se introduce un nuevo actor (la empresa o la corporación) más alejado de los ciudadanos, y, por supuesto, con intereses y objetivos que no tienen por qué coincidir con los de éstos. Y la lejanía también llega a ser física (las sedes y los centros de decisión pueden estar ya no en otra ciudad o municipio, sino en otro país). Se reconfiguran así las relaciones espaciales (se alejan y/o se hacen más complejas) y sociopolíticas (cambio de los centros de poder y control). Se genera, como dice Swyngedouw (2005: 90, 93), una nueva geometría en las relaciones de poder en torno al agua³⁷.

Es decir, la paradoja de la concepción y gestión "modernas", y específicamente neoliberal, del agua es que la "aleja" de quienes la usan y necesitan (para actividades económicas o el consumo doméstico) en el sentido específico de su control o participación más allá de ser meros "clientes" o "usuarios". En otros casos, como se dijo, la situación es más grave, pues una de las herramientas de la gestión moderna, la privatización del recurso, ha dado lugar a la ruptura de las anteriores relaciones de propiedad basadas en lo público o en lo colectivo-comunal. Y con ello cambian igualmente las relaciones entre los individuos y entre éstos y las organizaciones vinculadas al agua, que pasan a ser fundamentalmente económicas, rompiéndose, de esta manera, las basadas

³⁶ Y como dice Swyngedouw (2005: 92), no es sólo que cambie el lugar del poder y de la toma de decisiones, sino que limita el acceso a datos e información relevante para los ciudadanos. En sus palabras: "La privatización *de facto* significa en sustraer algún control del sector público y transferirlo al sector privado. Esto no sólo cambia el procedimiento de toma de decisiones, y los desarrollos estratégicos, sino que también afecta a elementos menos tangibles como el acceso a la información y a datos". Se dice, en este sentido, que la privatización-mercantilización-neoliberalización del agua supone menos democracia, o al menos la limitación o redefinición de los procedimientos de participación (ver Swyngedouw, 2005: 92; Shiva, 2002)

³⁷ El cambio de esas relaciones se produce en distintas escalas, las que se dan entre los ciudadanos y los suministradores, entre aquéllos y el Estado, pero también entre la dinámica global Norte-Sur (Goldman, 2007: 797), lo que se entiende si tenemos en cuenta que hablamos de la entrada en el sector hídrico de corporaciones transnacionales.

en otro tipo de lazos (p. ej., sociales), principios (p. ej., éticos, ambientales...) y objetivos (socioeconómicos, ecológicos...). Pero se va más allá y se llega al nivel individual. Y, en este sentido, el modelo de actor es, básicamente, el del consumidor racional o el agente económico racional (*homo economicus*) (véase también McCarthy y Prudhan, 2004: 276). Esto supone que cambian los valores, las expectativas, los modelos de comportamiento, etc. (véase Goldman, 2007: 797).

Pero también, como se ha visto en este trabajo, cambia el papel del Estado, que pasa de tener un papel clave en el suministro del agua y, en general, en el sector hídrico a convertirse en "auxiliar" del sector privado, facilitando, como se vio en un apartado anterior, su entrada, su extensión y el desarrollo de sus actividades³⁸.

7. La concepción "moderna" del agua como proceso de asimilación cultural global.

En Antropología Social se denomina asimilación a aquel proceso por el que un grupo étnico o cultural determinado "adopta" los rasgos culturales del grupo dominante. La asimilación puede ser de tal grado que el grupo minoritario pierde buena parte (o la totalidad) de su cultura, sumándose a la de la mayoría (produce, pues, pérdida de diversidad)³⁹. Se trata, no obstante, de un proceso complejo que comprende, en un extremo, las políticas asimiliacionistas forzadas o dirigidas y en otro la adopción más o menos voluntaria por los actores sociales de rasgos culturales a los que dan más valor y que pueden ser más beneficiosos en diversos sentidos. En este último caso, la asimilación podría considerarse parte de las estrategias de los individuos ante las oportunidades (sociales, económicas...) que ofrece el nuevo contexto cultural.

Pues bien, lo que planteamos en este trabajo es que la visión "moderna" del agua, con su reflejo en leyes y políticas (y herramientas para alcanzar sus objetivos) concretas puede entenderse claramente como un proceso de

³⁸ Como dice Goldman (2007: 797): "En este escenario [el neoliberal], el Estado debería regular pero no hacer funcionar el servicio público".

³⁹ En palabras de Kottak (2011: 158): "La asimilación describe el proceso de cambio que puede experimentar un grupo étnico minoritario cuando se mueve a un país donde domina otra cultura. Al asimilarse, la minoría adopta los patrones y normas de la cultura anfitriona. Se incorpora en la cultura dominante hasta el punto en que ya no existe más como unidad cultural separada".

asimilación a escala global. Es decir, nos hallamos ante una concepción del recurso hídrico y de su gestión que se pretende universalizar o globalizar.

Tal concepción, si bien tiene unas raíces culturales e históricas concretas, trata de ser convertida en *la* visión *dominante* de este recurso, pasando por encima de las diferentes formas de entenderlo, usarlo y relacionarse con él. Para ello una de las estrategias centrales es *reducir* el agua a un simple factor de producción o a un bien de consumo (igualarla transculturalmente)⁴⁰. Todas las demás dimensiones se ignoran o se consideran secundarias, poco relevantes y, en todo caso, fruto de la historia, de tradiciones culturales determinadas. Y si se tienen en cuenta, suele ser en sentido negativo. Es decir, se considera que esos elementos interfieren negativamente en los objetivos de lograr una gestión y uso eficientes y sostenibles del agua⁴¹. En otros términos, la no-concepción de este recurso como *económico* es perjudicial social, económica y ecológicamente (véase ICWE, 1992, punto 4). Nos hallamos, pues, ante una visión fuertemente etnocéntrica y normativa, pese a su pretendida neutralidad. Sin embargo, tal percepción no soporta la más mínima crítica antropológica, entre otras cosas porque esta disciplina y la Historia nos enseñan que muchas comunidades indígenas y tradicionales sí han manejado el agua como *recurso económico* (y con otras dimensiones formando una visión holística) al menos en el sentido de un bien escaso que hay que gestionar cuidadosamente para conseguir fines socialmente establecidos.

Paralelo a esta concepción del agua aparece el uso de herramientas también válidas (supuestamente) a escala global para lograr, además, objetivos también universales y sobre los que se transmite la idea de "consenso" (eficiencia económica, sostenibilidad, afrontar el cambio climático, suministrar agua al mayor número de personas en el mundo, etc.). Y aquí incluimos, entre otras, las formas de propiedad (la privada, fundamentalmente), los mecanismos de intercambio (el mercado) o las formas de organización para la gestión y el suministro (p. ej., las Asociaciones de Usuarios del Agua). Todo ello da una apariencia de neutralidad, de objetividad. Viene a mantenerse que con esa visión del agua y con las herramientas propuestas para su gestión se persiguen unos fines beneficiosos para la sociedad y el medio ambiente sobre los que hay acuerdo (es así una cuestión meramente técnica). Como señala Goldman

⁴⁰ Obviamente, esto facilita el proceso de privatización-mercantilización. Como señala Mehta (2000: 11): "Siguiendo los pasos de la creciente privatización, los aspectos no-materiales del agua son en gran medida descartados como esotéricos o carentes de sentido".

⁴¹ Y aquí también entran los usuarios o propietarios tradicionales del agua, que no es raro que sean considerados desconocedores de la importancia de este recurso, de lo costoso que es el suministro (ver, p. ej., Page, 2005: 298), de lo vital de hacer un buen uso de él; obstaculizadores del desarrollo económico y de la modernización (ver, p. ej., Islar, 2012: 324), despilfarradores del agua... Hay, pues, que "modernizarlos", educarlos...

(2007: 793, 795), los defensores del modelo neoliberal se presentan a sí mismos como solucionadores neutrales de un problema global (la crisis del agua), como responsables de una misión ética (luchar contra la pobreza y a favor de la sostenibilidad y la justicia social). Sin embargo, se trata de *una concepción más* del agua y de su gestión para alcanzar unas metas concretas y no otras (beneficios por encima de otros objetivos). Es una construcción cultural con sus componentes ideológicos, simbólicos, etc. No es, pues, un modelo en absoluto neutral⁴².

Sin embargo, la variedad de formas de propiedad, relación, intercambio y organización es muy amplia y, sin caer en generalizaciones fáciles, han funcionado correctamente al haber estado adaptadas a las condiciones ambientales, sociales, económicas, culturales y políticas locales. Por ello, una de las situaciones posiblemente más paradójicas se ha dado cuando la política "moderna" del agua se ha impuesto en comunidades, regiones, ciudades, etc. en donde han operado relativamente bien otras fórmulas que, como consecuencia de la asimilación, han sido eliminadas o trastocadas severamente.

Otro rasgo de este proceso asimilador es la *formalización*, que aparece estrechamente ligada a la idea de estandarización. Con ello queremos decir que se observa una marcada tendencia hacia el establecimiento de instituciones formales (leyes, contratos, convenios, reglas..., escritos y bajo control del Estado) en el sector hídrico (véase World Bank, 2004: 12-13). Esto es fundamental en el proceso de modernización y neoliberalización del agua, pues no sólo ofrece seguridad (en su sentido normativo, legislativo y jurídico), fundamental para la introducción y funcionamiento de su modelo de uso y gestión del recurso hídrico, sino que además iguala o uniformiza el marco institucional, lo que hace mucho más sencillo el control, el dominio. Sin duda, la diversidad normativa, el "pluralismo legal", es un serio inconveniente para el proyecto hídrico neoliberal que, en todos los aspectos del agua, se basa en igualar, en obviar o erradicar las diferencias. Y aquí encontramos otra fuente de conflictos, pues en los sistemas ya existentes hay normas, acuerdos, costumbres..., que funcionan como instituciones informales que gobiernan la conducta de los usuarios o co-propietarios y, en general, la operación de los sistemas. Eliminarlas o simplemente pasarlas por alto genera tensiones con las comunidades que interpretan la formalización como una forma de romper con

⁴² Como señala Furlong (2010: 56), los mercados de agua, por ejemplo, son un *hecho político* y un *resultado político*, por ello la supuesta despolitización de la gestión del agua y su pretendida tecnocratización no son tales. Y precisamente lo que plantean los movimientos contra la neoliberalización del agua es su re-politización (Uhel, 2008: 66), es decir, situar en el centro del debate la política.

sus tradiciones normativas, con su autonomía y con sus derechos. Y, desde luego, combinar las leyes y normas "modernas" con las tradicionales no es sencillo.

Nos hallamos ante una visión del agua (con todo lo que ello incluye en los ámbitos legislativos, políticos, ideológicos, administrativos...) muy potente, principalmente porque es la apoyada por infinidad de administraciones y organizaciones de diferente naturaleza (financieras, científicas, ecologistas, vinculadas al desarrollo...) de carácter transnacional, pero también nacional. Banco Mundial (BM), Fondo Monetario Internacional (FMI), Organización Mundial del Comercio (OMC), Gobiernos, ONG, foros científicos y políticos, grandes corporaciones, *think-tanks*... Estamos, obviamente, ante "actores" económica, política e ideológicamente muy poderosos e influyentes. Son los que disponen de fondos para el desarrollo y para ayudar a las economías nacionales fuertemente endeudadas, los que marcan las líneas económicas y comerciales estratégicas a escala global, los que generan posicionamientos teóricos e ideológicos acerca de la economía y el medio ambiente, etc.

Los mecanismos de asimilación empleados se basan tanto en la orientación/dirección como en la imposición, más o menos directa. Dentro del primer caso tenemos todos aquellos⁴³ que difunden (e implementan, según los casos), a través de medios diversos (foros, conferencias, medios de comunicación, discursos políticos...), la concepción "moderna" (y neoliberal) del agua, creando así "estados de opinión" determinados, adhesiones ideológicas concretas, discursos, valoraciones, imágenes, objetivos... que subrayan sus aspectos positivos y que ponen de manifiesto los negativos de la pública, común o colectiva, generando así un discurso *único* (ver también Sangameswaran, 2009: 228-230, 237; Islar, 2012: 329)⁴⁴. Estos componentes menos tangibles son extremadamente importantes en el proyecto modernizador y neoliberalizador del agua al ser los que eliminan ciertas resistencias y, por lo

⁴³ Que forman lo que denomina Goldman (2007) *red transnacional*, constituida por empresas, cámaras de comercio, consultores del desarrollo, expertos en medio ambiente, organizaciones empresariales y políticas, *think-tanks*, ONG..., que no sólo difunden globalmente la política de aguas neoliberal, sino que además generan una apariencia de consenso (Goldman, 2007: 793). Aquí tenemos organizaciones como *World Commission on Water for 21st Century* (donde hay relevantes figuras políticas), *World Water Council*, *Global Water Partnership*, *World Business Council for Sustainable Development* (corporaciones transnacionales) o ONG como la británica *WaterAid*. El Banco Mundial, además, se ha encargado de formar a técnicos para implementar su modelo y su política hídrica: más de 9.000 desde 1994, que trabajan en unos 90 países (Goldman, 2007: 789). Sobre esta cuestión, ver también Barlow (2007b: 41-58), Barlow y Clarke (2005).

⁴⁴ Como dice Sangameswaran (2009: 229): "[...] las políticas neoliberales dan lugar a cambios en las prácticas y estructuras institucionales, y lo hace de una manera que cambia las subjetividades de la gente, excluye alternativas y presenta una posición ideológica particular como la única viable".

tanto, facilitan su implantación. Son, parafraseando a Rossotto (2012: 268), el "lubricante" que emplea la maquinaria neoliberal para introducirse y funcionar. Los segundos son los más perversos, pues son los que imponen la privatización-mercantilización del recurso hídrico (y/o de su suministro) y otros servicios a través de mecanismos como, por ejemplo, condiciones en las ayudas al desarrollo y a la refinanciación de la deuda externa que ahoga a muchos de los países más pobres o con más dificultades financieras. Y aquí los actores principales son el Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional, sin dejar de prestar atención a la Organización Mundial del Comercio⁴⁵.

No obstante, no debemos caer en el error de pensar que la concepción "moderna" del agua y su extensión o globalización son el resultado sólo de acciones "externas" que usan los mecanismos que acabamos de exponer. La consideración del recurso hídrico como un bien económico, como un *input*, y los movimientos hacia la privatización-mercantilización (bien del agua misma o de los servicios-sistemas de suministro) también pueden ser apoyados, adoptados y/o aceptados voluntariamente por determinados actores sociales, políticos y económicos "internos" (Gobiernos, empresas nacionales, élites locales, etc.). Ha de tenerse en cuenta que esa visión y todo lo que supone abre nuevas oportunidades (económicas, fundamentalmente) que pueden ser aprovechadas internamente (ver, p. ej., Page, 2003).

A esto hay que añadir, aunque es una cuestión insuficientemente estudiada en el caso del agua, que en los niveles locales las medidas vinculadas a la modernización-neoliberalización del sector hídrico no tienen por qué ser adoptadas "automáticamente". Como han planteado los antropólogos, los procesos de globalización pueden llevar asociadas adaptaciones, reinterpretaciones, relecturas, etc. de las medidas implantadas de forma dirigida o forzada⁴⁶. En otros casos, los menos, la respuesta puede ser simplemente ignorar las medidas y seguir gestionando el agua tal y como se hacía⁴⁷.

⁴⁵ Ver Loftus (2009: 956), Kaufman (2012: 470), Goldman (2007: 790, 793, 795), Sangameswaran (2009: 231), Budds y McGranahan (2003: 91), Rossotto (2012: 268), Olleta (2007), Shiva (2002: 92-95), Coleman (2012: 4), Barlow (2007b), Barlow y Clarke (2005).

⁴⁶ Para el caso de las asociaciones de regantes, ver Bekkari y Yépez (2011: 76-77), Boelens (2009: 328; 2012: 73, 74).

⁴⁷ Ver, por ejemplo, Bauer (1997: 648), Trawick (2003: 979, 981), Riaux (2009: 188), Brown y Rivera (2000: 11, 14), Valony (2006: 5). Obviamente, esto es más fácil en lugares en los que hay menos presencia del Estado en el día a día.

Lo expuesto hasta ahora quiere decir que la globalización de la visión "moderna" del agua es un proceso muy complejo y diverso en sus líneas y actuaciones que necesita la intervención de numerosos actores operando en distintos ámbitos (económico, financiero, político, tecno-científico, medios de comunicación...) y en diferentes niveles (internacional, nacional, regional, local). Asimismo, puede entenderse como un proceso de asimilación también complejo en el que se combinan mecanismos que varían desde la imposición/dirección/orientación hasta la adopción voluntaria de sus componentes.

Pero como es habitual en los procesos de asimilación, cuando son forzados o dirigidos, hay respuestas, contestación por todos aquellos⁴⁸ que no quieren dejar de ser diferentes, que no quieren ser *igualados*, por todos los que entienden que la diversidad es buena y debe preservarse, por todos los que, en definitiva, tienen otra forma de ver el mundo, las relaciones sociedad-naturaleza, etc. Y precisamente el caso del agua está siendo uno de los más activos en esta defensa de otras concepciones de los bienes naturales, de otras formas de resolver los desafíos socioambientales y económicos. Frente a la visión más estrecha y descarnada del agua como *recurso económico* se plantea otra basada en su carácter de *bien común* o "público", en su multidimensionalidad y en sus profundas raíces culturales, sociales e históricas⁴⁹. Frente a la idea del agua como mercancía, sometida a la lógica del mercado y a los intereses de empresarios y corporaciones transnacionales, se pone la de "derecho humano". Frente a la gestión privada y, en su caso, tecnocientífica, se reivindica el papel de las comunidades, de los colectivos ciudadanos, de los "expertos", saberes y tecnologías tradicionales. Frente a un Estado débil, plegado a los intereses económicos de actores privados, se pide uno fuerte, activo, orientado al interés público y a su defensa. En suma, se defiende todo lo que se ha perdido en las últimas décadas o se halla en serio riesgo por el potente avance de la concepción "moderna" y neoliberal del

⁴⁸ En este "todos aquellos" tenemos comunidades campesinas e indígenas, ONG, defensores de derechos humanos, ecologistas, partidos políticos y sindicatos, colectivos de ciudadanos, expertos y científicos al margen de la ortodoxia económica y científica...

⁴⁹ En este sentido, se han conseguido posicionamientos muy importantes. Otra cosa es llevarlos a la práctica. Por ejemplo, la Organización Mundial de la Salud, en su declaración de marzo de 2003, sostiene: "*Debido a su rol fundamental en la vida de la sociedad, el agua posee una fuerte dimensión cultural. Sin entender ni considerar los aspectos culturales de nuestros problemas relacionados con el agua no podrá encontrarse ninguna solución sostenible*" (OMS, 2006). Por su parte, el European Water Partnership (EWP, 2008) señala en su punto 1: "Nosotros tratamos el agua como nuestro patrimonio común con un valor económico, social, medioambiental y cultural para nuestras sociedades. El agua no es una mercancía como cualquier otra - es un recurso frágil que no puede ser reemplazado y que protegemos y preservamos para que las futuras generaciones puedan sostener nuestras sociedades, nuestras economías y el medio ambiente. La sostenibilidad del agua es crucial para nosotros". Y en el 2: "El agua es una necesidad humana esencial y reconocemos el acceso a un suministro básico de agua y al saneamiento como un derecho humano".

agua⁵⁰. Ahora bien, las "luchas" (ver Barlow, 2007b: 103-124; Barlow y Clarke, 2005: 183-204; Coleman, 2012; Uhel, 2008; Bond, 2004), aunque con triunfos notables, no son sencillas dado la potencia del entramado neoliberal del agua. Por otro lado, no siempre los argumentos constituyen una alternativa viable (problemas para llevar a la práctica algunas ideas o posiciones), aparte de que algunos pueden encajar perfectamente en el modelo neoliberal y, de hecho, han sido incorporados a éste (p. ej., la participación o la sostenibilidad) (véase el análisis crítico de Bakker, 2007).

8. Reflexión final.

La concepción moderna y específicamente neoliberal del agua avanza a pasos agigantados en el marco de un proceso complejo de asimilación cultural a gran escala (global). Se extiende, pues, la idea de que el agua es (y debe tratarse como) un *recurso económico*, que en su interpretación más estrecha supone considerarla un mero *input*, un recurso más, y llevar a cabo la gestión haciendo uso de "herramientas" principalmente económicas (precios, mercados, sector privado...), a las que habría que añadir las ofrecidas por la tecnociencia occidental. Nos hallamos ante una cuestión instrumental, supuestamente técnica, para alcanzar fines de interés general (la humanidad) sobre los que no hay aparente discusión (un uso responsable de este vital recurso, suministrar agua a los millones de personas si un acceso seguro y de calidad, garantizar la producción agrícola...).

Pero ante esa visión del agua y de su gestión surgen al menos dos cuestiones relevantes: ¿es su consideración como mero recurso la mejor forma de procurar su protección y la de los entornos hídricos? ¿Son las recetas neoliberales (la propiedad privada y los mercados, específicamente) las que, como se mantiene, resolverán los problemas del agua?

Con respecto a la primera cuestión, hemos de señalar que los estudios antropológicos e históricos nos han enseñado que muchas comunidades humanas, del presente y del pasado, han protegido sus recursos hídricos (fuentes, manantiales, ríos...) precisamente porque han entendido que son vitales para los humanos y el resto de los integrantes de los entornos en los que habitan. Su carácter "sagrado" deriva, posiblemente, de su extrema

⁵⁰ La producción científica sobre lo contenido en este párrafo es, de unos años a esta parte, inmensa. Pero para introducirla recomendamos los trabajos de Barlow (2007a, 2007b), Barlow y Clarke (2005), Shiva (2002), Petrella (2004).

necesidad y por ello funciona como protección, como seguro, ante prácticas, comportamientos, etc., que pueden suponer un daño irreversible al agua y a sus entornos y, por consiguiente, poner en serio peligro a los que dependen de ellos. El agua, además, no forma parte de un mundo externo, dominable, conquistable, controlable, reducible, sino de una totalidad socioambiental, de un "nosotros". Esta concepción, ausente en nuestro mundo occidental, refuerza el cuidado de los recursos hídricos, pues dañarlos es perjudicarse a uno mismo. Añadamos, por último, que se trata de un bien multidimensional, no sólo económico (en el sentido de *recurso escaso*, no de mercancía), sino social, cultural, histórico, político... Y todas esas dimensiones se complementan y refuerzan, y no son, como se viene a sostener desde los planteamientos modernos y neoliberales, obstáculos, elementos problemáticos para la implantación de las soluciones que, supuestamente, salvarán al planeta⁵¹. Creemos que al menos parte de la solución pasa por mantener (o rescatar, en su caso) esa concepción holística, integradora y multidimensional del agua (véase también Postel, 1997: 184)⁵², no en separarla de la totalidad socioambiental y reducirla a recurso *económico*. Y aquí tenemos mucho que aprender de esas "otras" sociedades y comunidades que tanto hemos ignorado y hasta menospreciado.

La respuesta a la primera duda o cuestión ya responde parcialmente a la segunda. Si el agua no es, por sus características, un recurso más (véase Savenije, 2002); si es, además, un elemento que cumple múltiples funciones y tiene diferentes dimensiones y valores, ¿por qué van a ser la propiedad privada y los mercados los que garantizarán, siempre y en todos los casos, su mejor uso en términos económicos, sociales y ambientales? ¿No estaremos más ante una cuestión ideológica y política orientada a la consecución de fines económicos particulares que ante el problema práctico o empírico de determinar qué soluciones específicas sirven para resolver problemas concretos? Debemos tener presente que el debate en torno al agua se ha movido, con demasiada frecuencia, por la estrecha senda de lo privado *versus* lo público y sobre argumentos muchas veces teóricos e incluso ideológicos (lo privado es bueno, lo público-colectivo es malo) (véase también Mehta, 2000: 1-2). Sin duda, nos hallamos ante una simplificación insostenible y contraproducente, pues pasa por alto la enorme variedad de formas de propiedad y organización, modelos de gestión, etc. existente (véase también

⁵¹ Sí lo son, sin duda, al objetivo, basado en la idea del agua como mercancía, de obtener beneficios.

⁵² Como dice esta autora: "Nuestras granjas, fábricas y casas no son sólo competidores por un recurso, son miembros de una comunidad abrazada y apoyada por los ecosistemas que la rodean. Gestionar el agua como si estuviese separada y aparte de nosotros es como interrumpir el flujo de sangre a una parte de nuestro cuerpo para enviarlo a otra - el ser vivo sufre, y dependiendo de dónde tenga lugar la derivación, puede no sobrevivir" (Postel, 1997: 184).

Budds y McGranahan, 2003: 112). Si a ello le sumamos su carácter teórico-ideológico, el resultado es aún peor. Al reducir las alternativas (y con frecuencia las causas de los problemas), perdemos la oportunidad que nos dan las diferentes soluciones ya en funcionamiento (hay numerosos sistemas en los que la gestión pública y/o colectiva funciona correctamente) o las que derivan de combinar distintas herramientas o recetas según las circunstancias ambientales, económicas, sociales, políticas e históricas de cada caso. Con ello queremos decir que las opciones (1) propiedad privada-mercados, (2) propiedad pública-Estado, (3) propiedad común-comunidades nos llevan a un callejón sin salida y a debates poco fructíferos. El agua no puede quedar sólo en manos de los mercados (Gleick et al., 2002: viii)⁵³, pero la alternativa tampoco es un Estado fuertemente centralizado y tecnocrático, ni quizás tampoco las comunidades a veces excesivamente idealizadas (ver también Mehta, 2000: 14-16; Bakker, 2007: 444) y, por lo general, muy *localistas*. Con mucha probabilidad, las soluciones a los problemas del agua pasarán por combinar las fórmulas disponibles (pero, en todo caso, otorgando al Estado un papel protagonista [véase también Gleick et al., 2002]), lo que significa potenciar las diferencias (no en asimilar, en igualar), pero también por tener en cuenta su multidimensionalidad. Ahora bien, si el problema a resolver es cómo extender la actividad privada en el sector hídrico, crear nuevos mercados y generar beneficios, parece claro que la diversidad en el agua es un serio obstáculo.

9. Referencias.

- Adler, J.H. 2008. "Water Marketing as an Adaptive Response to the Threat of Climate Change". *Hamline Law Review*, 31(3): 730-754.
- 2008/2009. "'Warming Up' to Water Markets". *Regulation*, Winter, pp. 14-17.
- 2012. "Water Rights, Markets, and Changing Ecological Conditions". *Environmental Law*, 42: 93-113.
- Ahlers, R. 2010. "Fixing and Nixing: The Politics of Water Privatization". *Review of Radical Political Economics*, 42(2): 213-230.
- Ali, M.H. 2011. *Practices of Irrigation & On-Farm Water Management. Volume 2*. Nueva York: Springer.
- Anderson, T. y D.R. Leal. 1991. *Free-Market Environmentalism*. Boulder: Westview Press.
- Anderson, T. y G.D. Libecap. 2011. "A Market Solution for Our Water Wars". *Defining Ideas* (Hoover Institution), January 12, 2011.
- Aristóteles. 2001. *Política*. Madrid: Alianza.
- Bakker, K. 2007. "The 'Commons' Versus the 'Commodity': Alter-globalization, Anti-privatization and the Human Right to Water in the Global South". *Antipode*, 39(3): 430-455.
- 2013. "Neoliberal Versus Postneoliberal Water: Geographies of Privatization and Resistance". *Annals of the Association of American Geographers*, 103(2): 253-260.

⁵³ Como señalan estos autores: "El agua es un bien económico y social. Como resultado, las fuerzas del mercado no reguladas nunca pueden satisfacer completamente y equitativamente objetivos sociales [...]. El agua es demasiado importante para el bienestar de los humanos y de nuestro entorno para ser situada completamente en el sector privado" (Gleick et al., 2002: viii).

- Barber, M. y S. Jackson. 2011. *Indigenous Water Values and Water Planning in the Upper Roper River, Northern Territory*. Australian Government. Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities. National Water Commission.
- Barlow, M. 2007a. *El agua nuestro bien común. Hacia una nueva narrativa del agua*. Our Water Commons, The Council of Canadians.
- 2007b. *Blue Covenant. The Global Water Crisis and the Coming Battle for the Right to Water*. Nueva York: The New Press.
- Barlow, M. y T. Clarke. 2005. *Blue Gold. The Fight to Stop the Corporate Theft of the World's Water*. Nueva York: The New Press.
- Barry, J. 1999. *Environment and Social Theory*. Londres: Routledge.
- Batista Medina, J.A. 2001. *El agua es de la tierra. La gestión comunal de un sistema de riego del nordeste de La Palma (Los Sauces)*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
- Bauer, C.J. 1997. "Bringing Water Markets Down to Earth: The Political Economy of Water Rights in Chile, 1976-1995". *World Development*, 25(5): 639-656.
- Bekkari, L. e I. Yépez del Castillo. 2011. "L'appropriation du modèle d'association d'usagers de l'eau par une communauté villageoise du Moyen Atlas au Maroc". *Ch. Agric.*, 20(1-2): 73-77.
- Boelens, R. 2009. "The Politics of Disciplining Water Rights". *Development and Change*, 40(2): 307-331.
- 2012. "Local Water Management in the Andes: Interplay of Domination, Power and Collective Participation". En Johnston, B.R. (Ed.), pp. 65-75.
- Boelens, R. y P.H. Gelles. 2005. "Cultural Politics, Communal Resistance and Identity in Andean Irrigation Development". *Bulletin of Latin American Research*, 24(3): 311-327.
- Boelens, R. y J. Vos. 2012. "The Danger of Naturalizing Water Policy Concepts: Water Productivity and Efficiency Discourse from Field Irrigation to Virtual Water Trade". *Agricultural Water Management*, 108: 16-26.
- Boelens, R. y M. Zwartveen. 2005. "Prices and Politics in Andean Water Reforms". *Development and Change*, 36(4): 735-758.
- Boelens, R., R. Bustamante y H. de Vos. 2007. "Legal Pluralism and the Politics of Inclusion: Recognition and Contestation of Local Water Rights in the Andes". en van Koppen, B. et al. (Eds.), pp. 96-113.
- Boelens, R. y G. Dávila. Eds. 1998. *Buscando la equidad. Concepciones sobre justicia y equidad en el riego campesino*. Assen: Van Gorcum.
- Bond, P. 2004. "Water Commodification and Decommodification Narratives: Pricing and Policy Debates From Johannesburg to Kyoto to Cancun and Back". *Capitalism, Nature, Socialism*, 15(1): 7-25.
- Briscoe, J. 2011. "Water as an Economic Good: Old and New Concepts and Implications for Analysis and Implementation". En Wilderer, P.A. (Ed.), pp. 61-65.
- Brown, F.L. 1997. "Water Markets and Traditional Water Values: Merging Commodity and Community Perspectives". *Water International*, 22(1): 2-5.
- Brown, J.R. y J.A. Rivera. 2000. "Acequias de Común: The Tension Between Collective Action and Private Property Rights". En *Constituting the Commons: Crafting Sustainable Commons in the New Millennium. Eighth Biennial Conference of the International Association for the Study of Common Property*. Bloomington, Indiana, May 31-June 4.
- Budds, J. y G. McGranahan. 2003. "Are the Debates on Water Privatization Missing the Point? Experiences from Africa, Asia and Latin America". *Environment & Urbanization*, 15(2): 87-113.
- Coleman, T. 2012. "Who Owns the Water? An Analysis of Water Conflicts in Latin American and Modern Water Law". *Intersections*, 12(2): 1-19.
- Cosgrove, W.J. y F.R. Rijsberman. 2000. *Making Water Everybody's Business*. Londres: Earthscan Publications, World Water Vision, World Water Council.
- Dellapenna, J.W. 2000. "The Importance of Getting Names Right: The Myth of Markets for Water". *William & Mary Environmental Law and Policy Review*, 25(2): 317-377.
- 2009. "The Market Alternative". En Dellapenna, J.W. y J. Gupta (Eds.), pp. 373-388.
- Dellapenna, J.W. y J. Gupta. Eds. 2009. *The Evolution of the Law and Politics of Water*. Berlín: Springer.
- De Villiers, M. 2001. *Water. The Fate of Our Most Precious Resource*. Nueva York: Mariner Books.
- Dinar, A. 2000. "Political Economy of Water Pricing Reforms". En Dinar, A. (Ed.), pp. 1-25.

- Dinar, A. Ed. 2000. *The Political Economy of Water Pricing Reforms*. Washington: The World Bank, Oxford University Press.
- EWP. 2008. *Water for a Sustainable Europe - Our Vision for 2030*. European Water Partnership.
- Fonseca, C. 1998. "El valor económico del agua". *Contexto*, 1: 34-38.
- Furlong, K. 2010. "Neoliberal Water Management: Trends, Limitations, Reformulations". *Environment and Society: Advances in Research*, 1: 46-75.
- Geman, H. y A. Kanyinda. 2007. "Water as the Next Commodity". *The Journal of Alternative Investments*, Fall: 23-30.
- Gleick, P.H. 2000. "The Changing Water Paradigm. A Look at Twenty-First Century Water Resources Development". *Water International*, 25(1): 127-138.
- Gleick, P.H., G. Wolff, E.L. Chalecki y R. Reyes. 2002. *The New Economy of Water. The Risks and Benefits of Globalization and Privatization of Fresh Water*. Oakland: Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security.
- Glennon, R. 2005. "Water Scarcity, Marketing, and Privatization". *Texas Law Review*, 83: 1873-1902.
- Goldman, M. 2007. "How 'Water for All' Policy Became Hegemonic: The Power of the World Bank and Its Transnational Policy Networks". *Geoforum*, 38: 786-800.
- Goldman Sachs. 2008. *The Essentials of Investing in the Water Sector*. Goldman Sachs Global Investment Research.
- Gottwald, F.-T. et al. Eds. 2010. *Food Ethics*. Springer Science - Business Media.
- Gray, J.A. 1983. "Water: A Resource Like any Other?". *Canadian Water Resources Journal*, 8(4): 35-41.
- Gronewold, N. 2008. "Water: Oil Companies See Opportunity in Another Precious Commodity". <http://www.eenews.net/Greenwire/2008/07/28/1/>
- GWP. 2000. *Integrated Water Resources Management*. Estocolmo: Global Water Partnership. Technical Advisory Committee (TAC). Background Papers, 4.
- Hall, D. y E. Lobina. 2007. "Profitability and the Poor: Corporate Strategies, Innovation and Sustainability". *Geoforum*, 38: 772-785.
- Hardin, G. 1968. "The Tragedy of the Commons". *Science*, 162: 1243-1248.
- Harvey, D. 2003. *The New Imperialism*. Oxford University Press.
- Hellegers, P. y C.J. Perry. 2006. "Can Irrigation Water Use Be Guided by Market Forces?". *Water Resources Development*, 22(1): 79-86.
- Henderson, J. y M. Akers. 2008. "Can Markets Improve Water Allocation in Rural America?". *Economic Review (Federal Reserve Bank of Kansas City)*, Fourth Quarter, pp. 97-117.
- ICWE. 1992. *The Dublin Statement on Water and Sustainable Development*. International Conference on Water and the Environment, Dublín, Irlanda, enero 26-31, 1992.
- Ingram, H. y F.L. Brown. 1998. "Valores mercantiles y comunitarios del agua: un estudio de caso en el suroeste de los Estados Unidos". En Boelens, R. y G. Dávila (Eds.), pp. 123-130.
- Islar, M. 2012. "Struggles for Recognition: Privatisation of Water Use Rights of Turkish Rivers". *Local Environment*, 17(3): 317-329.
- Johnston, B.R. Ed. 2012. *Water, Cultural Diversity and Global Environmental Change. Emerging Trends, Sustainable Futures?* Springer-UNESCO.
- Kaufman, F. 2012. "Wall Street's Thirst for Water". *Nature*, 490: 469-471.
- Kerschner, E.M. y M.W. Peterson. 2011. *Peak Water: The Preeminent 21st Century Commodity Story*. Morgan Stanley/Smith Barney.
- Klaver, I.J. 2012. "Introduction: Water and Cultural Diversity". En Rose Johnston, B. (Ed.), pp. 3-7.
- Kottak, C.P. 2011. *Antropología Cultural*. México: McGraw-Hill.
- Laimé, M. 2007. "Marchandisation de l'eau: la nouvelle offensive du 'biocapital'". *Le Monde Diplomatique*, 7 de abril.
- 2008. "La marchandisation de l'eau s'accélère". *Le Monde Diplomatique*, 19 de marzo.
- Libecap, G.D. 2009. "The Tragedy of the Commons: Property Rights and Markets as Solutions to Resource and Environmental Problems". *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 53: 129-144.
- 2010. "Water Woes. Using Markets to Quench the Thirst of the American West". *The Milken Institute Review*, Fourth Quarter: 59-68.
- Loftus, A. 2009. "Rethinking Political Ecologies of Water". *Third World Quarterly*, 30(5): 953-968.

- MacDonnell, L. 2004. "Water as Commodity". *Southwest Hydrology*, March/April: 16-18.
- Maliva, R. y T. Missimer. 2012. *Arid Lands Water Evaluation and Management*. Berlín: Springer.
- McCarthy, J. y S. Prudhan. 2004. "Neoliberal Nature and the Nature of Neoliberalism". *Geoforum*, 35: 275-283.
- McCullough, M. 2012. *Banking on Scarcity: Risks and Opportunities for Investment Funds in the Water Sector*. University of Pennsylvania. Initiative for Global Environmental Leadership.
- McNeill, D. 1998. "Water as an Economic Good". *Natural Resources Forum*, 22(4): 253-261.
- McWhinney, J.E. 2011. "Water: The Ultimate Commodity". www.investopedia.com.
- Mercouiller, D. y S. Coggins. 1999. "Water as a Public Good: Property Rights". *Water Issues in Wisconsin*, 3: 1-4.
- Mehta, L. 2000. *Water for the Twenty-First Century: Challenges and Misconceptions*. Institute of Development Studies.
- Mitchell, B. 1984. "The Value of Water as a Commodity". *Canadian Water Resources Journal*, 9(2): 30-37.
- Morgan Stanley. 2012. *Water: The Next Big Commodity Wave?* Fidelity Investment Managers. November 2012.
- Olleta, A. 2007. *The World Bank's Influence on Water Privatisation in Argentina. The Experience of the City of Buenos Aires*. Geneva: International Environmental Law Research Centre. Working Paper 2007-2.
- OMS. 2006. *Agua y cultura. Decenio Internacional del Agua 2005-2015*. Organización Mundial de la Salud.
- Ostrom, E. 1992. *Crafting Institutions for Self-Governing Irrigation Systems*. San Francisco: ICS Press.
- Page, B. 2003. "Communities as the Agents of Commodification: The Kumbo Water Authority in Northwest Cameroon". *Geoforum*, 34: 483-498.
- 2005. "Paying for Water and the Geography of Commodities". *Transactions of the Institute of British Geographers*, 30: 293-306.
- Pearce, F. 2006. *When the Rivers Run Dry. Water - The Defining Crisis of the Twenty-First Century*. Boston: Beacon Press.
- Perry, C.J., M. Rock y D. Seckler. 1997. *Water as an Economic Good: A Solution, or a Problem?* Colombo: International Irrigation Management Institute, Research Report, 14.
- Petrella, R. 2004. *El manifiesto del agua*. Barcelona: Icaria.
- Postel, S. 1997. *Last Oasis. Facing Water Scarcity*. Nueva York: Norton.
- Rezaee, Z. 1999. "Water Resource Management". *Atlantic Economic Journal*, 27(3): 343-352.
- Riaux, J. 2009. "Gouvernances locales de l'eau: regard croisé au nord et au sud de la Méditerranée". *Sécheresse*, 20(2): 183-189.
- 2011. "Faut-il formaliser les règles de gestion de l'eau? Une expérience dans le Haut Atlas". *Cah. Agric.*, 20(1-2): 67-72.
- Richard, A., P. Caron, J.Y. Jamin y T. Ruf. Eds. 2006. *Coordinations hydrauliques et justices sociales (actas du séminaire)*. Montpellier: CIRAD.
- Robbins, P.T. 2003. "Transnational Corporations and the Discourse of Water Privatization". *Journal of International Development*, 15: 1073-1082.
- Roche, P.-A. 2000. "L'eau au XXIe siècle: enjeux, conflits, marché". En *RAMSES 2001. Les Grandes Tendances du Monde*. París: Institut Français des Relations Internationales, pp. 79-94
- Rogers, P., R. de Silva y R. Bathia. 2002. "Water is an Economic Good: How to Use Prices to Promote Equity, Efficiency, and Sustainability". *Water Policy*, 4: 1-17.
- Rogers, P., R. Bathia y A. Huber. 1998. *Water as Social and Economic Good: How to Put the Principle in Practice*. Estocolmo: Global Water Partnership/Swedish International Development Cooperation Agency.
- Rose Johnston, B. Ed. 2012. *Water, Cultural Diversity, and Global Environmental Change. Emerging Trends, Sustainable Future?* Springer-UNESCO.
- Rosotto Ioris, A.A. 2012. "The Neoliberalization of Water in Lima, Peru". *Political Geography*, 31: 266-278.
- Ruf, T. y M.-J. Valony. 2007. "Les contradictions de la gestion intégrée des ressources en eau dans l'agriculture irriguée méditerranéenne". *Cahiers Agriculture*, 16(4): 194-200.
- Ryan, C., E. Kennedy y M. Sheldon. 2013. *Quenching the World's Thirst for Water*. Calvert Investments, May 2013.

- Sangameswaran, P. 2009. "Neoliberalism and Water Reforms in Western India: Commercialization, Self-Sufficiency, and Regulatory Bodies". *Geoforum*, 40: 228-238.
- Savenije, H. 2002. "Why Water is Not an Ordinary Economic Good, or Why the Girl is Special". *Physics and Chemistry of the Earth*, 27: 741-744.
- Savenije, H. y P. van der Zaag. 2002. "Water as Economic Good and Demand Management. Paradigms with Pitfalls". *Water International*, 27(1): 98-104.
- Serageldin, I. 2010. *Water - An Increasingly Hot 'Commodity'*. Fidelity Investment Managers. November 2010.
- Shiva, V. 2002. *Water Wars. Privatization, Pollution and Profit*. Cambridge, MA: South End Press.
- Sing, K.K. Ed. 1991. *Farmers in the Management of Irrigation Systems*. Nueva Delhi: Sterling Publishers.
- Sunding, D. 2000. "Market-based Strategies are Needed to Cope with Scarcity". *California Agriculture*, 54(2): 56-63.
- Swyngendouw, E. 2005. "Dispossessing H2O: The Contested Terrain of Water Privatization". *Capitalism, Nature, Socialism*, 16(1): 81-98.
- Tang, S. Y. 1992. *Institutions and Collective Action. Self-Governance in Irrigation*. San Francisco: ICS Press.
- The Economist. 2009. "Water Rights. A Wash in Waste". *The Economist*, April 8, 2009.
- 2010. "Water. The World's Most Valuable Stuff". *The Economist*, May 20, 2010.
- Trawick, P. 2003. "Against the Privatization of Water: An Indigenous Model for Improving Existing Laws and Successfully Governing the Commons". *World Development*, 31(6): 977-996.
- Turner, K., S. Georgiou, R. Clark, R. Brouwer y J. Burke. 2004. *Economic Valuation of Water Resources in Agriculture. From the Sectoral to a Functional Perspective of Natural Resource Management*. Roma: FAO.
- Uhel, M. 2008. "Résistances et alternatives à la marchandisation de l'eau. Les mouvements sociaux à l'épreuve des échelles du pouvoir". *Pandora: Revue d'Études Hispaniques*, 8: 53-68.
- Valony, M.J. 2006. "Des communautés d'irrigants aux associations d'usagers de l'eau. Un modèle mondial face aux différentes configurations socio-territoriales". En Richard, A. et al. (Eds.), pp. 1-8.
- van der Zaag, P. y H. Savenije. 2006. *Water as an Economic Good: The Value of Prices and the Failure of Markets*. Delft: UNESCO-IHE Institute for Water Education.
- van Koppen, B., M. Giordano y J. Butterworth. Eds. 2007. *Community-based Water Law and Water Resource Management Reform in Developing Countries*. CAB International.
- von Winterfeld, U. 2010. "Whose Nature - Whose Water? Some Remarks About the History of Ideas, Property and Democracy of Water". En Gottwald, F.-T. et al., (Eds.), pp. 167-183.
- Ward, F.A. y A. Michelsen. 2002. "The Economic Value of Water in Agriculture: Concepts and Policy Applications". *Water Policy*, 4: 423-446.
- WBCSD. 2005. *Water and Sustainable Development. A Business Perspective*. World Business Council for Sustainable Development.
- Wilderer, P.A. Ed. 2011. *Treatise on Water Science (Vol. I)*. Elsevier.
- World Bank, The. 2004. *Water Resources Sector Strategy. Strategic Directions for World Bank Engagement*. Washington, D.C.: The World Bank, International Bank for Reconstruction and Development.
- 2005. *Shaping the Future of Water for Agriculture. A Sourcebook for Investment in Agricultural Water Management*. Washington, D.C.: The International Bank for Reconstruction and Development - The World Bank.
- WWF. 2007. *Pipedreams? Interbasin Water Transfers and Water Shortages*. Zeist: WWF Global Freshwater Programme.
- Zilberman, D. y K. Schoengold. 2005. "The Use of Pricing and Markets for Water Allocation". *Canadian Water Resources Journal*, 30(1): 47-54.



XIV JORNADAS DE ECONOMÍA CRÍTICA

Perspectivas económicas alternativas

Valladolid, 4 y 5 de septiembre de 2014

Transiciones sociometabólicas, el caso de la comarca catalana del Vallés (1860-1999).

Inés Marco Lafuente y Roc Padró i
Caminal

Universidad de Barcelona

TRANSICIONES SOCIOMETABÓLICAS, EL CASO DE LA COMARCA CATALANA DEL VALLÉS (1860-1999).

Inés Marco Lafuente, Becaria Predoc en el Departamento de Historia e Instituciones Económicas, Facultad de Economía y Empresa, Universidad de Barcelona. Email de contacto: ines.marco@ub.edu

Roc Padró i Caminal, Becario Predoc, Departamento de Historia e Instituciones Económicas, Facultad de Economía y Empresa, Universidad de Barcelona. Email de contacto: roc.padro@gmail.com

Resumen

La crisis ecológica global en la que nos encontramos sumidos puede considerarse la culminación de la transición sociometabólica que tuvo lugar a partir de mediados del siglo XIX. La evolución de una sociedad basada en las fuentes de energía orgánicas a una de base fósil fue el principio del actual modelo socioeconómico insostenible. Durante este proceso, como bien ha subrayado Naredo, tiene un papel relevante la supremacía de los principios mecanicistas de la economía clásica, en el que la naturaleza, en su concepción ricardiana, pasa a jugar el papel de mero escenario en el proceso económico.

La Economía Ecológica, a través de las aportaciones de autores como Podolinsky, Soddy y Georgescu-Roegen, introduce la perspectiva de las limitaciones biofísicas en el marco teórico de la economía, a partir de las hipótesis desarrolladas sobre el segundo principio de la termodinámica. De esta forma, el economista Georgescu-Roegen en consonancia con la teoría de Schrödinger expresó que la vida no es más que el intento organizado de hacer frente a la irrevocabilidad del aumento de la entropía en cualquier sistema.

En este trabajo presentaremos los resultados del análisis de la transición sociometabólica agraria del estudio de caso realizado en el Vallès (Cataluña, España 1860-1999), mediante la metodología del balance de los flujos energéticos entre la sociedad y la naturaleza. Así, describiremos las principales aportaciones distinguiendo las aplicables a un entorno concreto, en este caso el de la especialización vitivinícola de la región, a la vez que extraeremos algunas conclusiones relevantes para el estudio de las transiciones sociometabólicas.

Palabras clave: Agroecología, EROI, Perfiles Sociometabólicos, Sostenibilidad, Paisajes culturales.

Clasificación JEL: N53, N54, Q32, Q57

1. Introducción

Los balances de energía en los sistemas agrarios tienen una larga tradición (una revisión en Pelletier et al. 2011), y podríamos decir que actualmente es uno de los pilares fundamentales en el análisis de la sostenibilidad de la agricultura en el marco de la economía ecológica. El creciente uso de combustibles fósiles a partir de la industrialización de la agricultura ha transformado el único sector de la economía con capacidad de producir más energía que la requerida para el proceso productivo (a expensas de la aportación externa de energía solar), en un sector consumidor neto de energía. En este sentido, el análisis de los sistemas agrarios pre-industriales puede ofrecernos información relevante en cuanto a la eficiencia energética de éstos, derivados de una gestión integrada entre los diferentes usos del suelo, en el cierre de los ciclos energéticos a partir del uso intensivo de la biomasa generada en el propio agroecosistema, así como a través del cierre del ciclo de los nutrientes sin la necesidad de importar grandes cantidades de flujos externos al territorio. La crítica situación energética actual, que impone una mayor presión sobre los recursos energéticos existentes, pero que a la vez amenaza la viabilidad de todos los sectores dependientes de la oferta de combustibles fósiles baratos, entre ellos el sector agrario, exige un esfuerzo colectivo global para la propuesta de modelos alternativos, y la puesta en práctica de éstos (Arizpe et al., 2011; Deng and Tynan, 2011; Giampietro et al., 2013; Kessides and Wade, 2011). En este contexto, resulta relevante conocer cuáles eran los condicionantes y las potencialidades de los modelos agrícolas pre-industriales, así como cuáles fueron los motores de la transformación hacia el actual modelo agrícola industrial.

Una de las limitaciones históricas de los balances de energía como aproximación extendida en la academia es la falta de una metodología común. Algunos aspectos como los límites del sistema analizado o las normas de contabilidad energética aplicadas han sido enfrentados de forma distinta por cada uno de los análisis realizados en las últimas décadas. Así, consideramos que esta es una barrera considerable para la comparabilidad de los estudios, y por lo tanto para poder sacar conclusiones más allá de los aspectos comunes encontrados. En este sentido, nos gustaría destacar que esta pluralidad de enfoques no es tanto una consecuencia de un desorden generalizado, sino de los retos teóricos con los que se tiene que enfrentar la ciencia al aproximarse a una realidad caracterizada por su complejidad (Giampietro and Mayumi, 2000:141). Por otro lado, tanto dónde situemos los límites del sistema como las normas contables que utilicemos dependerán de las preguntas que nos planteemos, así como de los puntos que queramos destacar, por lo que las decisiones tomadas durante el proceso de investigación deben estar definidas y explicitadas.

Los flujos entre el medio ambiente y las sociedades no permanecen estables a lo largo del tiempo, ni son siempre del mismo tipo, sino que se suceden distintos regímenes a través de lo que llamamos transiciones socio-ecológicas. Estas son los lapsos de tiempo de cambio de un modelo a otro cualitativamente diferente (M. Fischer-Kowalski & Haberl, 2007). Indudablemente el proceso de

industrialización de la agricultura orgánica presente en el Estado Español que se desarrolló entre finales del siglo XIX y mediados del XX es propiamente una transición socio-ecológica. A pesar de ello, la historia económica convencional ha tendido a analizar este proceso sin tener en cuenta los aspectos ambientales del modelo de agricultura de la Península Ibérica.

En el presente artículo describiremos la primera aplicación teórica de la metodología acordada en el marco del proyecto *Sustainable Farm Systems: Long-Term Socio-Ecological Metabolism in Western Agriculture* (SFS), un proyecto financiado por la Social Sciences and Humanities Research Council de Canadá, y en el que colaboran grupos de investigación de las universidades de Saskatchewan (Canadá), Universidad Pablo de Olavide y Universidad de Barcelona (España), Alpen-Adria Klagenfurt de Viena (Austria), Michigan (USA), Nacional de Colombia en Bogotá y La Habana (Cuba). Para ello, hemos revisado el estudio de caso del Vallés (Cataluña) para 1860 y 1999, publicado en Cussó et al. (2006), a partir de nuevas fuentes disponibles y en base a la nueva metodología acordada. Éste caso de estudio corresponde a una zona del pre-litoral catalán en su transición desde la época posterior a la crisis finisecular del siglo XIX hasta los estragos de la Política Agraria Común europea en los cultivos catalanes. El primer período corresponde con la expansión de la vid en gran parte del territorio del Principado. Analizamos pues el paso de una agricultura orgánica tradicional, en los inicios del capitalismo agrario a otro modelo ya completamente integrado en la economía global de mercado atomizada y desvinculada del territorio.

En los primeros dos apartados del presente estudio nos centraremos en nuestro marco teórico de referencia, así como presentaremos las principales características de la metodología del SFS. En el apartado 3 describiremos los cambios derivados en los usos del suelo, producciones y rendimientos para los cinco municipios en ambos periodos. En el apartado 4 analizaremos la composición, producción y transformación de la cabaña ganadera, así como los aspectos nutritivos e implicaciones de su alimentación. En el apartado 5 nos aproximaremos al cálculo de la energía en forma de trabajo humano para ambos periodos, así como en los cambios sucedidos durante la transición sociometabólica, a la vez que introduciremos la información sobre la energía consumida en forma de maquinaria y combustibles fósiles. El apartado 6 corresponde a un ejercicio teórico de modelización, un test de estrés del sistema para ver cómo podrían responder los dos períodos a caídas en las cosechas. Por último, presentaremos los resultados obtenidos en forma de perfil sociometabólico, así como 4 aproximaciones diferentes al EROI, para 1860 y 1999 y apuntaremos las principales conclusiones al respecto.¹

¹ En esta versión no mostramos todos los apartados mencionados, sino que se trata de un abstract extendido de la comunicación final.

2. Marco teórico

2.1 Economía ecológica y la ley de la entropía

La sacudida que supuso la postulación, por parte de Clausius, de los principios de la termodinámica, afectó a las bases teóricas de la mayoría de ciencias. No obstante, mantuvo intacta la base teórica de la económica ortodoxa. El cuestionamiento del mecanicismo no impidió, pues, que los economistas siguieran refugiados en el modelo neoclásico, considerando aún el medio ambiente como mero escenario del proceso económico (Georgescu-Roegen, 1971).

Aún así, este florecimiento científico de la termodinámica fue fundamental para las bases de la economía ecológica. Se recuperó la visión epicúrea de que la economía no es un subsistema aislado, y que funciona dentro de un sistema social y un más amplio sistema natural (Bellamy, 2004).

La comprensión de la vida como un proceso de generación de estructuras que difieren en el tiempo el efecto del proceso entrópico, desarrollado por Schrödinger (1944), establece que las estructuras vivas se mantienen en un estado semi-estacionario absorbiendo energía de baja entropía y transformándola en alta entropía. Como apunta Bergson, la vida es la lucha por evitar la tendencia natural a la degradación cualitativa de la materia inerte. Georgescu-Roegen adaptó estos conceptos a la economía asumiendo que, de hecho, *el proceso económico consiste materialmente en la transformación de baja entropía a alta entropía* (Georgescu-Roegen, 1971).

2.2 La base teórica del metabolismo social

El metabolismo social aparece como una metodología para comprender como las sociedades trabajan como un organismo, utilizando insumos de baja entropía y devolviendo al medio productos de alta entropía. En este proceso de transformación de la energía, los organismos se estructuran en forma de bucle, por lo que la complejidad del organismo y el número de bucles generados permiten retardar la expulsión de la energía, dándose tiempo a aprovechar el máximo de ésta durante el proceso y evitando, así, su propia degradación.

Marx introdujo este concepto gracias a Liebig, agroquímico padre de los principios esenciales de la nutrición vegetal, que generó la evidencia de que la urbanización había abierto la brecha sociometabólica entre la extracción y la reposición de los nutrientes en el suelo (Tanuro, 2006). En este sentido, Marx dijo que la solución radicaba en un manejo racional del intercambio de materia entre la humanidad y la naturaleza, proceso al que llamó *regulación del metabolismo social* (Bellamy, 2004). Estos conceptos han sido actualizados, y en el presente estudio utilizamos la definición de Fischer-Kowalski (1997) según la cual el metabolismo social es *la forma en que las sociedades humanas organizan sus intercambios de energía y materiales crecientes con el medio ambiente*.

2.3 Los balances de energía

Existen diversos enfoques para afrontar el estudio del metabolismo social. La mayoría coinciden o parten del análisis de flujos de energía y materiales (MEFA por sus siglas en inglés; Haberl et al., 2004). Su base teórica parte de las contribuciones de Podolinsky (1880) y Sacher (1881), entre otros, autores que destacaban la condición física de los procesos económicos, apuntando que todos los organismos necesitan transformar energía disponible de baja entropía (p.e. alimentos o combustible) en energía de alta entropía (p.e. calor, residuos o excreta) en su proceso vital. Así, ambos entendían el trabajo productivo como aquel que tiene como resultado el aumento de la cantidad de energía disponible para usos humanos en la superficie de la Tierra. Según Sacher, *esto dependería de su destreza, su instrumental, la fertilidad del suelo, la disponibilidad de saltos de agua y el clima* (Martínez Alier y Schlüpman, 1992: 87). Esta energía puede ser destinada al uso endosomático, cuando se utiliza para cubrir las necesidades biológicas, o bien al uso exosomático, si su función es satisfacer otras necesidades como vivienda, transporte o suministro de servicios (Martínez Alier & Roca, 2006). Ambos procesos, los dirigidos a cubrir las necesidades endosomáticas y exosomáticas, son la base de cualquier actividad económica.

Actualmente hay diversos grupos de investigadores utilizando aproximaciones metodológicas diferentes (Toledo, 2013). Por un lado se ha desarrollado el *Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism* (MUSIASSEM) que trabaja utilizando un análisis multi-criterial y multi-escalar (Giampietro et al., 2008). Por otro lado el grupo al que pertenecemos ha ideado una propuesta de varias Tasa de Retorno Energético (TRE o EROI en sus siglas en inglés), en el que se representan los flujos internos y externos de energía en el agro-ecosistema valorándolos todos en términos de entalpía (Tello et al., 2013).

2.4 Flujos internos, la base de la estructura del agro-ecosistema

La representación de los flujos internos (o reutilizaciones) permite aplicar las contribuciones de Margalef, según el cual la sostenibilidad del desarrollo de los sistemas vivos es una función directa de la complejidad y es inversamente proporcional a la disipación de energía (Marull & Tello, 2010).

Este análisis se ve complementado con las tesis de Morowitz (2006), según el cual es imposible disipar infinitamente una cantidad determinada de energía sin crear una estructura, pese a que sea efímera. Así pues, los agro-ecosistemas pueden ser entendidos como estructuras hechas por las sociedades humanas y con características concretas: la información organizada para mantenerla y la complejidad de sus flujos internos (Marull & Tello, 2010). La metodología del EROI desarrollada, permite pues el análisis de estos flujos responsables de la estructura del agro-ecosistema, abriendo por primera vez la caja negra en términos de metabolismo social.

3. Metodología

3.1 Estructura del Energy Return On Investment (EROI)

El EROI procura representar los flujos energéticos más importantes que suceden dentro de los sistemas agrarios, teniendo en cuenta los distintos elementos que participan en él. Tal y como se puede observar en la figura 1, existen 6 bioconvertidores o stocks diferentes: la sociedad, la comunidad agraria, la tierra, la producción primaria², el ganado y el resto de especies del agroecosistema³. Cada uno de ellos se interrelaciona con uno o más de los otros bioconvertidores a través de los flujos.

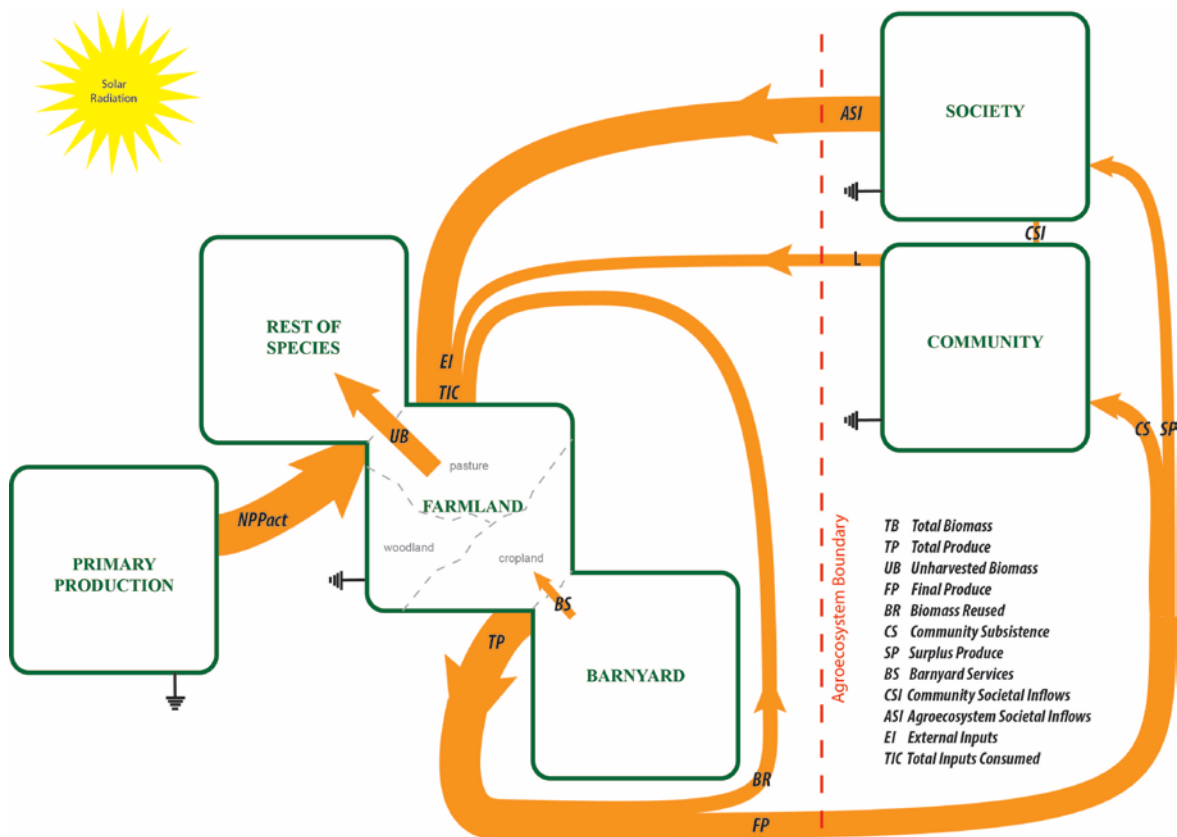


Figura 1. Gráfico de los flujos y stocks del EROI. Fuente: Galán et al., forthcoming.

Por otro lado, la evaluación de éste se centra en la sustentabilidad del mismo, porque situamos los límites del sistema en el agroecosistema, es decir que adoptamos el punto de vista de las personas que los gestionan. A la vez, consideramos el espacio agrario como un agro-ecosistema ya que, en términos de Altieri (1999), se trata de un ecosistema colonizado por el hombre, la creación y mantenimiento del cual requiere reinversiones repetidas de energía e información por parte de la sociedad, además de la radiación solar

² Utilizamos el término “producción primaria” como sinónimo de fitomasa, la cuál refiere a toda la biomasa foto-autotrófica producida (organismos vivos que obtienen la energía de la fotosíntesis), con el objetivo de diferenciar éste concepto de la producción quimio-autotrófica y heterótrofa (Smil, 2011).

³ Se entiende como “resto de especies” todas aquellas no domesticadas por el hombre.

que ocurre naturalmente. Así, como se observa en la figura, se establece un límite del agro-ecosistema del que la sociedad y la comunidad quedan fuera.

Hay tres consideraciones que cabe tener en cuenta para hacer una correcta interpretación del EROI. En primer lugar, la energía contenida en cada flujo de energía es calculada como entalpía (Gross Calorific Value) si éste se produce dentro del sistema. En segundo lugar, para los flujos incorporados desde el exterior, aparte del valor de entalpía del portador de energía se añade una energía incorporada por el traslado del portador desde su origen hasta el agro-ecosistema. Finalmente, el trabajo humano se calcula como la fracción de la ingesta diaria dedicada al trabajo agrario. En la Tabla 1 se pueden observar los diferentes flujos, su valorización energética y las equivalencias con otros portadores de energía.

La presente propuesta supone un paso adelante en el estudio de los EROI añadiendo elementos en el análisis que permiten una interpretación más precisa de los resultados. Partiendo del estudio desarrollado en la comarca del Vallès (Cussó et al., 2006), los EROIs se han recalculados teniendo en cuenta las siguientes mejoras: consideración de los flujos internos, adición de un nuevo flujo y control de la perdurabilidad de los flujos (que incluye la sostenibilidad del bosque, de la ganadería y del ciclo de nutrientes agrícola).

3.1.1 Los flujos internos

La mayoría de los métodos desarrollados para el análisis de los sistemas agrarios hasta el momento no han tenido en cuenta los flujos internos y consideraban el sistema como si fuera una caja negra en la que sólo se observan las entradas y salidas de los flujos (Marull & Tello, 2010). Es el caso de metodologías como el indicador Apropiación Humana de la Producción Primaria Neta (HANPP en sus siglas en inglés)⁴, considerado la base de los estudios de flujos de energía y nutrientes (Vitousek et al., 1986). El desgane, por primera vez, de estos intercambios de energía entre los distintos stocks que están dentro y fuera del agro-ecosistema permite comprender cuál es el grado de complejidad de éste y la importancia de cada uno de los bioconvertidores en el proceso de mantenimiento de la resiliencia del sistema.

3.1.2 El residuo (waste) como nuevo flujo

Otra aportación metodológica en la estructura del EROI es que el producto del agro-ecosistema pasa a tener tres direcciones: producto final, reutilización o residuo. Esto expande las posibilidades de análisis en los casos, como el actual, en que por motivos económicos no se utiliza el potencial de algún producto. Por ejemplo, la problemática con la gestión de los purines nace de la nueva concepción de éstos más como residuo que como producto reutilizable, debido a las condiciones del mercado que favorecen la aplicación de fertilizantes minerales.

⁴ Éste es un indicador agregado que refleja el área utilizada por los humanos y la intensidad del uso del suelo en términos de extracción de fitomasa sobre toda la producción anual de las plantas.

Tabla 1. Terminología, valoración energética y equivalencias propuestas para los transportadores de energía en el agro-ecosistema. Fuente: Galán et al. (forthcoming)

Transportador de energía	Forma de contabilización de la energía	Equivalencias
Actual Net Primary Production (<i>NPP</i>)	Entalpía	$NPP = UB + LP$
Un-harvested Biomass (<i>UB</i>)	Entalpía	$UB = NPP - LP$
Total Produce (<i>TP</i>)		$TP = LP + BP$
Land Produce (<i>LP</i>)	Entalpía	$LP = BR + FP + FW$
Barnyard Produce (<i>BP</i>)		
Final Produce (<i>FP</i>)		$FP = CS + SP$
Community Subsistence (<i>CS</i>)	Entalpía	
Surplus Produce (<i>SP</i>)		
Biomass Reused (<i>BR</i>)		$BR = FBR + BBR$
Farmland Biomass Reused (<i>FBR</i>)	Entalpía	
Barnyard Biomass Reused (<i>BBR</i>)		
Farmland Waste (<i>FW</i>)	Entalpía	$TP = BR + FP + BP + FW$
Barnyard Services (<i>BS</i>)		
Draught Power (<i>DP</i>)	Entalpía	$BS = DP + M + BW$
Manure (<i>M</i>)		
Barnyard Waste (<i>BW</i>)	Entalpía	
Labour (<i>L</i>)	Entalpía*	$L = FL + BL$
Farm Labour (<i>FL</i>)		
Barnyard Labour (<i>BL</i>)		
Societal Inflows (<i>SI</i>)		
Community Societal Inflows (<i>CSI</i>)		
Agroecosystem Societal Inflows (<i>ASI</i>)	Energía aportada y entalpía	$SI = CSI + ASI$
Barnyard Societal Inflows (<i>BSI</i>)		$CSI = BSI + FSI$
Farmland Societal Inflows (<i>FSI</i>)		$ASI = BSI + FSI$
External Inputs (<i>EI</i>)	Energía aportada y entalpía	$EI = SI + L$
Total Inputs Consumed (<i>TIC</i>)		$TIC = SI + L + BR$

* El trabajo humano se contabiliza a partir de la GCV consumida en forma de alimentos, ajustado por las horas de trabajo sobre el total de diario, así como por la intensidad de las diferentes actividades realizadas durante el día. Por otro lado, en el caso de los alimentos importados, se tienen en cuenta el uso de energía para el proceso de transformación, distribución y consumo de éstos.

3.1.3 Perdurabilidad de los fondos

Éste último concepto introducido para el cierre del balance parte, por un lado, de la limitación de la información disponible, y por el otro de la complejidad que supondría calcular o estimar los flujos de los años anteriores, pues el agro-ecosistema analizado siempre está condicionado a las prácticas históricas en el suelo. Así, se considera el agro-ecosistema en un estadio semi-estacionario en el cual los flujos se repiten en las mismas condiciones por un período lo suficientemente largo, teórico, antes del año de estudio. No obstante, esto implica que los flujos tienen que ser sustentables y, por tanto, que no puede haber ni sobreexplotación del bosque, ni insatisfacción de las necesidades del ganado, ni un empobrecimiento del suelo. La interpretación que se confiere pues al EROI, al tener en cuenta estos aspectos, sería cuál es el esfuerzo energético que las personas tenían que ejercer en el propio agro-ecosistema para conseguir su sostenibilidad.

3.2 Los componentes del EROI

A partir del desarrollo teórico de la eficiencia del sistema en el uso de la energía incorporada, se presentan cuatro formas diferentes de analizar la eficiencia de los agro-ecosistemas en términos de flujos de energía (Tello et al., forthcoming). El *Final EROI* (FEROI) es la base sobre el que se desarrollan todos los otros. Éste aproxima la eficiencia global del agro-ecosistema en términos de producción final (FP) dividido por el total de insumos consumidos (TIC) tal y como se puede ver en la ecuación 1.

$$\text{FEROI} = \frac{\text{FP}}{\text{TIC}} = \frac{\text{FP}}{\text{EI} + \text{BR}} \quad (1)$$

Dado que el TIC es la suma entre los insumos externos (EI) y la biomasa reutilizada (BR), el FEROI se puede dividir en dos diferentes que explican el esfuerzo hecho por el sistema, externo e interno, para conseguir la FP (llamados EFEROI e IFEROI respectivamente; ver ecuación 2).

$$\text{EFEROI} = \frac{\text{FP}}{\text{EI}}; \text{IFEROI} = \frac{\text{FP}}{\text{BR}} \quad (2)$$

El cuarto punto de mira vincula el EROI con la metodología del HANPP (Haberl et al., 2007). El $\text{NPP}_{\text{act}}\text{EROI}$ expresa el retorno de energía invertida en términos de Producción Primaria Neta Actual (NPP_{act})⁵ obtenida de la fotosíntesis dentro del agro-ecosistema. La propuesta, indicada en la fórmula 3, supone dividir la NPP_{act} entre el TIC.

⁵ Producción Primaria Neta hace referencia al balance entre todo el producto de la fotosíntesis y aquella parte que es utilizada por el propio organismo a modo de respiración. El cálculo de la NPP_{act} se realiza según a propuesta de Schwartzmüller (2008) para los cultivos agrícolas, añadiendo a la producción extraída ($\text{NPP}_{\text{harvested}}$) los consumos por herbivoría y la biomasa acompañante (Guzman et al., 2014; Oerke et al., 1994). En los bosques ésta es estimada a partir de los datos de l'IEFC (CREAF, 2007).

$$NPP_{act}EROI = \frac{NPP_{act}}{TIC} \quad (3)$$

El uso de estas 4 propuestas de enfoque diferentes para el análisis histórico de la transición socio-ecológica en la comarca del Vallès puede resultar muy útil para interpretar las motivaciones ambientales y sociales de éstos cambios.

4. Resultados

La disminución de la superficie cultivada de más de 3.000 hectáreas se ve compensada por los aumentos de los rendimientos lo que implica una energía en forma de biomasa extraída similar en ambos períodos. En cambio, la reducción del *Land Produce* se debe al abandono del bosque pese a su ligero incremento en 294 ha y a la práctica desaparición de la superficie considerada de pasto. Esto tiene sentido si consideramos el cambio en el modelo de alimentación del ganado que pasa a estar en un régimen de ganadería intensiva.

La desvinculación del ganado con el paisaje se explica con la masiva importación de piensos y compuestos, lo que permite soportar una densidad ganadera muy superior que se traduce en una producción animal 63 veces superior en 1999 que en 1860. Como resultado de todo lo anterior la producción total, que incluye toda la producción agraria, se mantiene estable.

Parte de esta producción sale de la frontera del agro-ecosistema para consumo. Pero mientras a mediados del siglo XIX la mayor parte era madera para combustible doméstico, en 1999 la práctica totalidad son alimentos de consumo humano o bien animal.

Una de las principales diferencias entre los dos modelos es el volumen de insumos utilizados así como su composición y origen. Así como para la obtención del producto agrario en 1860 se requieren 23,500 GJ, a finales del siglo XX se utilizan 1,518,820 GJ. En cuanto a la naturaleza de estos flujos en el primer período domina la biomasa reutilizada con un 90% de los TIC. El resto corresponde a los residuos domésticos y el trabajo humano. Cabe tener en cuenta que este trabajo humano se considera externo debido a los límites establecidos de éste.

A pesar de que la energía en forma de BR y trabajo no varía en términos absolutos entre ambos períodos, para 1999 estos suponen menos del 10%. La estrategia pues, se fundamenta en una masiva entrada de energía ajena al agro-ecosistema. Los flujos que más peso tienen dentro de los ASI son la alimentación animal (73%), la maquinaria (16%) y la energía consumida en la industria ganadera (9%).

5. Bibliografía

- Altieri, M. a. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1-3), 19–31.
- Arizpe, N., Giampietro, M., Ramos-Martin, J., 2011. Food Security and Fossil Fuel 21 Dependence: An International Comparison of the Use of Fossil Energy in Agriculture 22 (1991-2003). *Crit. Rev. Plant. Sci.* 30, 45-63.
- Bellamy, J. (2004). *Marx's ecology* (p. 446). Barcelona: Ediciones de Intervencion Cultural.
- Cussó, X., Garrabou, R., Olarieta, J. R., & Tello, E. (2006). Balances energéticos y usos del suelo en la agricultura catalana : una comparación entre mediados del siglo XIX y finales del siglo XX. *Historia Agraria*, (40), 471–500.
- Deng, S., Tynan, G.R., 2011. Implications of Energy Return on Energy Invested on Future 18 Total Energy Demand. *Sustainability* 3, 2433-2442.
- Fischer-Kowalski, M. (1997). Society's metabolism: on the childhood and adolescence of a rising conceptual star. In M. Redclift & G. Woodgate (Eds.), *The International Handbook of Environmental Sociology* (1st ed., pp. 119–137). Cheltenham: Edward Elgar.
- Fischer-Kowalski, M., & Haberl, H. (Eds.). (2007). *Socioecological Transitions and Global Change. Trajectories of Social Metabolism and Land Use* (p. 263). Cheltenham: Edward Elgar.
- Galán, E., Tello, E., Cunfer, G., Guzman, G. I., González de Molina, M., Krausmann, F., ... Moreno-Delgado, D. (Forthcoming). The Energy Return On Investment (EROI) in agroecosystems : An analytical proposal to study socioecological transitions to industrialized farm systems (The Vallès County, Catalonia, in 1860 and 1999). 1–33.
- Georgescu-Roegen, N. (1971). *The Entropy Law and the Economic Process* (p. 236).
- Giampietro, M., Mayumi, K. (2000). Multi-Scale Integrated Assessments of Societal 31 Metabolism: Introducing the Approach. *Popul. Environ.* 22(2), 109-153.
- Giampietro, M., Mayumi, K., & Ramos-martin, J. (2008). *Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism (MUSIASSEM): An outline of rationale and theory* (p. 15). Barcelona.
- Giampietro, M., Mayumi, K., Sorman, A.H., 2013. Energy Analysis for Sustainable Future: 1 Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism. Routledge, 2 London.
- Guzman, G. I., Aguilera, E., Soto, D., Cid, A., Infante, J., García Ruiz, R., ... González de Molina, M. (2014). *Documento de Trabajo n°2: Metodología y conversores para el cálculo de la biomasa total producida en los agroecosistemas* (pp. 1–49).
- Haberl, H., Erb, K. H., Krausmann, F., Gaube, V., Bondeau, A., Plutzer, C., ... Fischer-Kowalski, M. (2007). Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(31), 12942–7. doi:10.1073/pnas.0704243104
- Haberl, H., Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Weisz, H., & Winiwarter, V. (2004). Progress towards sustainability? What the conceptual framework of

- material and energy flow accounting (MEFA) can offer. *Land Use Policy*, 21(3), 199–213. doi:10.1016/j.landusepol.2003.10.013
- Kessides, I.N., Wade, D.C., 2011. Deriving an Improved Dynamic EROI to Provide Better Information for Energy Planners. *Sustainability* 3, 2339-2357.
- Martínez Alier, J., & Roca, J. (2006). *Economía Ecológica y Política Ambiental*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Martínez Alier, J. y Schlüpmann, K. (1992): *La ecología y la economía*, México, Fondo de Cultura Económica.
- Marull, J., & Tello, E. (2010). Eficiència territorial: la sinèrgia entre energia i paisatge. *Ecosistemes i Energies Renovables*, (46), 28–36.
- Morowitz, H. y Smith, E. (2006). Energy flow and the organization of life. *Complexity* 13 (1), p.51-59.
- Oerke, E. C., Dehne, H. ., Schönbeck, F., & Weber, A. (1994). *Crop Production and Crop Protection – Estimated Losses in Major Food and Cash Crops*. Amsterdam: Elsevier Science.
- Pelletier, N.; Audsley, E., Brodt, S., Garnett, T., Henriksson, P., Kendall, A., Kramer, K., Murphy, D., Nemecek, T., Troell, M., 2011. Energy Intensity of Agriculture and Food Systems. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 36, 223-246.
- Podolinsky, S. A. (1880). El trabajo del ser humano y su relación con la distribución de la energía. In *Los principios de la Economía Ecológica (1995)* (pp. 63–142). Madrid: Fundacion Argentaria.
- Sacher, E. (1881). Grundzüge einer Mechanik der Gesellschaft. In *La ecología y la economía (1991)*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Schrödinger, E. (1944). *What is life?* Cambridge: Cambridge University Press.
- Schwarzlmüller, E. (2008). *Human Appropriation of Net Primary Production (HANPP) in Spain, 1955-2003: a socio-ecological analysis* (p. 88).
- Smil, V. (2011). Harvesting the biosphere: the human impact. *Population and development review* (Vol. 37, pp. 613–36). Cambridge: MIT Press.
- Tanuro, D. (2006). Marx's concept of social metabolism and ecosocialist responses to climate change. In S. Resistance (Ed.), *Ecosocialism or Barbarism* (p. 5). London.
- Tello, E., Galán, E., Sacristán, V., Cunfer, G., Guzman, G. I., González de Molina, M., ... Moreno-Delgado, D. (n.d.). Decomposing the EROI of agroecosystems into its internal and external returns : opening the black box of energy throughput in a Catalan case study (North-eastern Iberia) in 1860 and 1999. *Forthcoming*, 1–36.
- Tello, E., Galán, E., Sacristán, V., Moreno, D., Cunfer, G., Guzman, G. I., ... Gingrich, S. (2013). *A proposal for a workable analysis of Energy Return On Investment (EROI) in agroecosystems* (p. 89). Vienna.
- Toledo, V. (2013). El metabolismo social: una nueva teoría socioecológica. *Relaciones*, 136(3), 41–71.
- Vitousek, P. M., Ehrlich, P. R., Ehrlich, A. H., & Matson, P. A. (1986). Human Appropriation of the Products of Photosynthesis. *BioScience*, 36(6), 363–373



XIV JORNADAS DE ECONOMÍA CRÍTICA

Perspectivas económicas alternativas

Valladolid, 4 y 5 de septiembre de 2014

Una propuesta de solución a la paradoja verde desde el punto de vista de la exergía

Guillermo David Hincapié Vélez y
Edison Alonso Hernández Gómez

Universidad Nacional de Colombia

UNA PROPUESTA DE SOLUCIÓN A LA PARADOJA VERDE DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA EXERGÍA

Guillermo David Hincapié Vélez

Edison Alonso Hernández

Resumen

El presente artículo pretende sentar las bases de una aproximación al problema planteado por la Paradoja Verde –en el trabajo de (Sinn, 2008) –a partir de la vinculación al análisis del concepto de Exergía. Utilizando un modelo dinámico de uso de energía con polución, se argumenta que la eficiencia en términos de exergía impone limitaciones y restricciones a la tasa de extracción de un combustible fósil de acuerdo a una necesaria reducción del año ambiental derivado; como consecuencia, las tasas óptimas de extracción deben recalcularse en razón de la exergía del proceso productivo. Se concluye que dicha eficiencia tiene incidencia sobre las posibles anticipaciones que hagan los productores de combustibles fósiles y, con ello, se generan otras condiciones para que tenga cumplimiento o no la Paradoja Verde, condiciones que no han sido por ahora contempladas en la literatura.

1. Introducción.

La creciente preocupación por los efectos negativos de las actividades productivas sobre el medio ambiente, ha estimulado el surgimiento de un cuerpo de teorías y prácticas empíricas en la ciencia económica, reunidas bajo el nombre de Economía Ambiental, que a la fecha presentan un grado significativo de desarrollo. Preciso resulta indicar que tales planteamientos encuentran su base en el modelo de Equilibrio General Competitivo y en las distintas líneas de investigación que se generan una vez se relajan algunos de sus supuestos, por ejemplo, el de fallas de mercado existentes en los bienes ambientales. Estas teorías predicen que instrumentos como los impuestos y los permisos negociables de emisión, entre otros, permiten generar condiciones para que la economía con estas fallas y externalidades negativas al medio ambiente se aproxime lo máximo posible a un marco de eficiencia económica.

Si bien la literatura al respecto es amplia, la Economía Ambiental no constituye el único enfoque bajo el cual se han tratado las problemáticas ambientales ocasionadas por la producción. De hecho, a partir de 1970 con los trabajos de Georgescu-Roegen (1975), ha tomado lugar en el escenario académico una nueva corriente en economía que, a diferencia de la Economía Ambiental que parte del enfoque neoclásico estándar, se propone definir una crítica sobre la forma misma en que los economistas proceden: la Economía Ecológica o Termo-Economía, y más concretamente, la Exergo-Economía. Esta corriente plantea, apoyada en las leyes de la termodinámica, que la economía generalmente ha asumido como cierto que la energía se conserva en el proceso productivo y que, por tanto, es una máquina de movimiento perpetuo sin limitaciones claras, cuando lo que ocurre es todo lo contrario, es decir, existe una parte de la energía que se destruye y su consumo por parte de la economía se encuentra en proporción directa con la entropía y sus consabidas connotaciones de daño medio ambiental, (Rosen, Dincer y Kanoglu, 2008). El término *Exergía* es acuñado entonces para referirse a la parte de la energía dedicada potencialmente a *trabajo útil*, la cual está en relación de equilibrio con el sistema natural. La Exergía implica, entonces, un tratamiento eficiente de la energía consumida por un sistema económico-Wal (1978) define la extensión del concepto para el caso de los sistemas sociales y económicos-.

La eficiencia económica es, por tanto, distinta a la eficiencia que se deriva de los planteamientos de la termo-economía, y en tal sentido pueden establecerse distancias entre estos campos aunque sean compartidas sus preocupaciones de fondo. Sin embargo, como expone Rosen (2008), estas distancias no son insalvables, pudiéndose retroalimentar ambos enfoques y enriquecer con ello el cuerpo teórico. Tal es uno de los propósitos del presente trabajo de tesis.

Existe un nuevo debate en Economía Ambiental donde la mencionada retroalimentación resulta especialmente fructífera: la llamada *Paradoja Verde*. Propuesta por Sinn (2008), plantea básicamente que la tendencia generalizada de

utilizar e inducir prácticas productivas de menores daños ambientales es anticipada por los productores de combustibles fósiles, aumentando sus procesos de extracción y con ello acelerando el calentamiento global; el carácter de paradoja viene entonces del hecho que incluso, el establecimiento de políticas ambientales termina generando un daño ambiental mayor por cuenta de esta anticipación que los economistas generalmente no consideran al centrarse más en un enfoque de demanda para basar sus análisis. La literatura ha mostrado la permanencia de esta paradoja en el contexto de impuestos a los productores de combustibles fósiles o, por otro lado, de subsidios a productores de recursos renovables y con efectos ambientales positivos, como los bio-combustibles. Así, ¿Cómo puede entonces un enfoque de exergía servir al análisis de un tema nuevo como dicha paradoja sugiere ser? Al considerar que la exergía constituye, como medida física, la puesta en marcha de un proceso productivo que hace un uso eficiente- medioambientalmente- de la energía utilizada, su consideración en el análisis económico de este caso podría, en el mejor de los eventos, llegar a replantear dicha paradoja o proponer otras condiciones para que esta se mantenga o no. Como se mostrará en la sección referente a la metodología, al considerar la exergía en un modelo sencillo de utilización de energía en un sistema económico, un nivel particular de esta puede conducir a una dinámica de extracción tal que no genere un agotamiento completo del combustible, dejando un remanente en la tierra; si esto ocurre, resulta posible que los productores de combustibles fósiles se muden a la producción de recursos renovables y de menor impacto ambiental, es decir, haciendo posible que el efecto ambiental global pueda ser menor. En suma, y haciendo énfasis en el hecho de que hasta ahora se está en un plano hipotético de la investigación, la paradoja verde podría llegar a no cumplirse. Tal es una de las conjeturas centrales del presente trabajo.

Por otro lado, el problema que plantea la Paradoja Verde resulta crucial para el análisis de la efectividad de medidas como el protocolo de Kyoto, e incluso de la efectividad de impuestos y subsidios. Precisamente, un número importante de investigadores en exergo-economía, han concluido que los impuestos basados en la pérdida de exergía resultan generando de una manera más directa procesos productivos más eficientes en el uso de energía, y con resultados mucho más significativos en relación con el daño ambiental que los impuestos convencionales (Santarelli 2004) y (Borchiellini et al 2000).

El presente artículo está organizado en 4 secciones incluyendo la introducción. En la segunda, se presenta una revisión del estado del arte tanto de la Paradoja Verde como de la Exergía y su consideración como elemento del análisis económico. En la tercera, se plantea al modelo dinámico de extracción de combustible con eficiencia exergetica, y las conclusiones fundamentales a las que conduce se hacen extensivas para replantear el problema bajo el que ha sido tratado la paradoja verde. En la cuarta, por su parte, se presentan las conclusiones y se hace referencia a nuevos campos de investigación derivados de los anteriores planteamientos.

2. Estado del Arte.

La Exergía en los Procesos Productivos y su Inclusión en la Economía

A partir de las críticas de Georgescu-Roegen (1971) en las cuales empiezan a ser consideradas las leyes de la termodinámica como elementos de necesario estudio de los fenómenos económicos, inicia una corriente de pensamiento que postula a la energía como elemento central del funcionamiento de cualquier economía y punto de partida de cualquier análisis. Pero no solo la energía concentró el interés de estos investigadores, la segunda ley de la termodinámica condujo a estos a plantear el concepto de *Exergía* y su relación con la entropía y la entropía negativa. Wall (1986) establece que este interés investigativo es producto de la interacción entre la estadística mecánica y la teoría de la información en la física, en últimas, la teoría de sistemas físicos, por medio de los cuales empezó a verse la economía.

El sistema social puede considerarse un sistema físico en la medida en que en él tiene lugar una pretendida conversión de recursos para su definición como sistema, y su interacción con otros incluyendo el sistema natural en el cual está inmerso, (Wall 1986). De acuerdo a esta concepción y a un nivel de abstracción propio de la Física, si se considera un sistema que está en desequilibrio termodinámico, su tendencia natural al equilibrio puede ser aprovechada para extraer o generar trabajo. De esta manera, se da la ecuación de balance energético, ecuación (1), la cual indica que la salida de trabajo de un sistema (w negativo) depende de que la energía del estado final ($E(S)$), sea cada vez menor que la del estado inicial E ; dado que $\frac{dE}{dS} > 0$ siendo S la entropía generada, se colige que *...el trabajo máximo obtenible del sistema se logra mediante una evolución que no aumente la entropía del universo dado que debe cumplirse que $dS \geq 0$, (es decir, la entropía no puede reducirse).*¹

$$w = E(S) - E_0 \quad [1]$$

Cuando se considera la inclusión de variables importantes en los procesos termodinámicos como la presión, la presencia de una atmosfera y composiciones químicas, la anterior definición de trabajo, ecuación (1) se amplía a la de *trabajo útil*. El trabajo útil de acuerdo Dincer (1997) , se puede distribuir en cuatro partes, a. Aumentar la energía termodinámica disponible del sistema y de la atmosfera, b. Aumentar la energía química disponible del sistema y la atmosfera, c. bombear calor desde la atmosfera al sistema a una temperatura dada y c. energía degradada que da lugar a una generación neta de entropía en el sistema. Esta energía degradada constituye la irreversibilidad propia del proceso ya que en la práctica se debe aportar más trabajo por cuenta de dicha irreversibilidad.

¹ De acuerdo a (citar), este problema es idéntico al de analizar el trabajo mínimo necesario para pasar de un estado inicial de equilibrio a un estado final de desequilibrio termodinámico.

En este orden de ideas, La Exergía se define como una medida física de la acción potencial de un sistema para llevar a cabo trabajo *útil*, es decir, es la parte de energía destinada a la generación de trabajo útil mínimo necesario para lograr un estado del sistema con respecto a un referente de equilibrio del sistema – que sería el de equilibrio termodinámico- (Rosen, Dincer y Kanoglu 2008)². La termodinámica plantea, entonces, que dicha medida física representa una dimensión de calidad de la energía utilizada en un sistema y a diferencia de esta, que puede conservarse, la exergía se destruye en el proceso. Esta situación muestra una de las condiciones más importantes de este concepto, su consumo o destrucción, irreversibilidad del proceso, implica la generación de entropía y, por lo tanto, el uso de la energía teniendo como referente la exergía plantea un concepto de eficiencia que, distinto al económico, pone el equilibrio del sistema natural en el primero de los planos, (Santarelli 2004). A este respecto, Gaggioli y Wepfer (1980) exponen: *“In order to accomplish any process, exergy is supplied in one or more forms of “fuel”. Part of the supply is converted to other forms and delivered in desired products. A substantial portion, however, is consumed by the process in order to accomplish the conversion, and another generally smaller portion is lost in effluent wastes. The per cent efficiency of the process is the ratio of exergy in the products to that in the various supplies. The inevitable inefficiencies are the consumptions and losses.”*

A partir de estas consideraciones, surge la llamada termo-economía o exergo-economía en el caso de la exergía como campo particular de investigación, (Rosen 2008). Un importante número de investigadores en este campo-Rosen (2002) Rosen, et al (2008), Tyagui, et al (2005), Rosen y Dincer (2003), Massardo et al (2003), Byriant J (2007) Aires et al (2003) ,Zhang et al (1980), entre otros, muestran cómo al considerar la exergía en los procesos productivos, la eficiencia tecnológica así incentivada no solo promueve la sostenibilidad de los recursos o insumos naturales empleados, sino que ayuda a mitigar los efectos nocivos de estas actividades sobre el medio ambiente, es decir, plantea una sostenibilidad ambiental de dichos recursos.

La Exergía y el medio ambiente

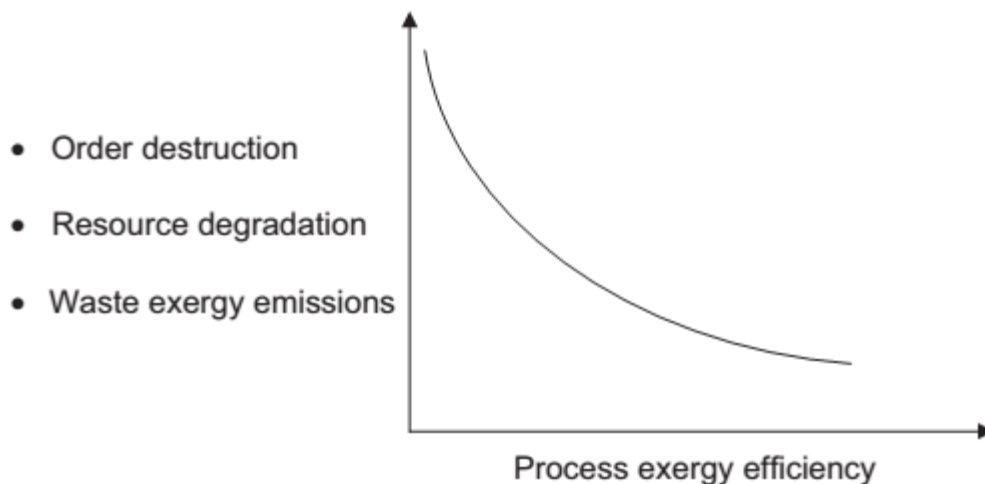
De acuerdo a Rosen, et al (2008), *“...The relations between exergy and the environment may reveal the underlying fundamental patterns and forces affecting environmental changes, and help researchers deal better with environmental damage... Within the scope of exergy methods, such activities lead to increased exergy efficiency and reduced exergy losses (both waste exergy emissions and internal exergy consumptions)”*.

La reducción del impacto medioambiental asociado a un proceso que experimenta incrementos en la eficiencia de la exergía, se representa en la figura (1), basada

² ¿Qué ocurre con la exergía cuando el sistema está en equilibrio? Si esta es el trabajo útil mínimo necesario para un estado particular del sistema con base a un referente de equilibrio termodinámico, se concluye que la exergía será cero cuando se esta en dicho equilibrio.

en Rocen y Dincer (1997). En ella se destacan tres fases del daño ambiental correspondientes a niveles de eficiencia exergetica, como el desorden ambiental dado que la exergia es también una medida del orden de un sistema; la degradación de los recursos, para la cual el análisis de exergia propone aumentos en la eficiencia o el uso de recursos externos de exergia (como la energía solar); y por último la emisión de residuos de exergia, la cual constituye en la literatura una de las más importantes amenazas al medio ambiente, para evitar de manera importante esta clase de daño los esfuerzos en procurar la eficiencia de exergia deben ser los mayores posibles.

Figura (1): Daño Ambiental vrs Eficiencia Exergetica

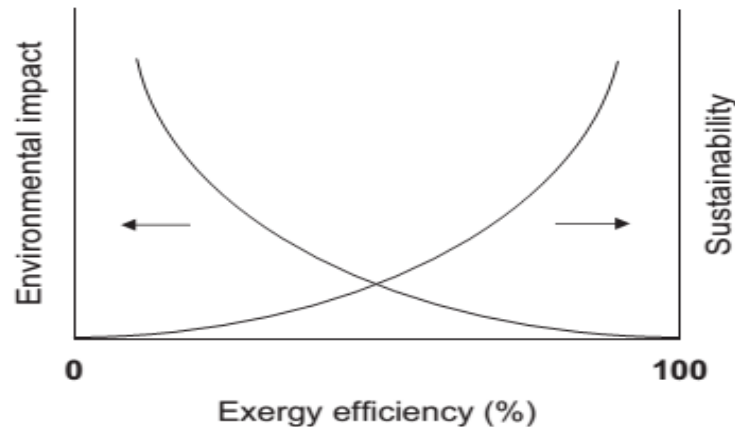


Fuente: Tomado de Rosen et al (2008)

Por otro lado, el desarrollo sostenible de un sistema económico depende con mucho de la sostenibilidad de los recursos y esta sostenibilidad, a su vez, depende de la eficiencia con la que son utilizados, (Rosen et al, 2008). Tal es el enlace entre la exergia y el uso de un sistema productivo lo menos afectante posible del sistema natural. Tal como expone este autor, “.. *Exergy methods are essential in improving efficiency, which allows society to maximize the benefits it derives from its resources while minimizing the negative impacts (such as environmental damage)*..”. la consideración del impacto de la exergia sobre el medio ambiente y la sostenibilidad del mismo puede ser apreciado en la grafica (2). En efecto, si la eficiencia exergetica es del 100% tal enfoque sugiere que el impacto ambiental es nulo y la sostenibilidad es infinita (Cornelissen 1997); si, por el contrario, no hay eficiencia exergetica, el impacto ambiental es infinito y la sostenibilidad del recurso es nula. De lo anterior puede colegirse que existe un

nivel de eficiencia exergetica para el que se genera un equilibrio entre impacto ambiental y el nivel de sostenibilidad.

Figura (2): Impacto Ambiental y Eficiencia Exergetica



Fuente: Tomado de Rosen et al (2008)

La Exergía y la Economía

En Dincer (2003), se desarrolla una importante revisión de los distintos campos de investigación en los que la exergía, y con ella la termodinámica misma, resultan especialmente útiles. En el caso de la economía, plantea, que este concepto se empieza a utilizar regularmente en la macroeconomía para considerar la depreciación de los recursos y los efectos medioambientales de procesos productivos, en donde resulta importante la ejecución de un impuesto basado en la pérdida de exergía. En microeconomía, por su parte, dicho concepto complementa el análisis costo-beneficio con el propósito de mejorar las asignaciones de recursos; de hecho, lo que en microeconomía se conoce como proceso de minimización del costo en la teoría de la producción, en el caso de la exergía se transformaría el problema en la minimización de la pérdida de exergía asociada al proceso productivo, lo que redundaría necesariamente en un impacto medio ambiental menor. El autor enfatiza que la formación de impuestos basados en la pérdida de exergía es una de las maneras más adecuadas de vincular el concepto de exergía a la economía, y es ahí donde se encuentra la base de la llamada termo-economía, y su particularmente dinámico crecimiento en los últimos años. Por otro lado, hace mención a un elemento que sustenta la importancia de este concepto: según el autor, los mercados energéticos no generan condiciones para que los precios reflejen las verdaderas dinámicas de los recursos, y tal situación hace que estos precios no sean referentes adecuados para la planificación política. Cuando la exergía es involucrada, los recursos pasan a ser considerados

en su valor físico, y este método de fijación de los precios permite procurar tecnologías más eficientes.

Sobre el tema particular de los impuestos basados en la pérdida de exergía, se destacan los trabajos de Santarelli (2004) en los que se llega a una representación matemática de los dichos impuestos con base en la exergía destruida de un proceso productivo. Resulta importante anotar que la forma del impuesto recae en buena medida según las consideraciones que se hagan sobre el proceso productivo y cómo en este es utilizado el recurso energético (Dincer 2003).

La Paradoja Verde y la Exergía

Propuesta en 2008 por el economista alemán Hans-Warner Sinn, la llamada desde entonces Paradoja Verde plantea básicamente que la tendencia política y económica de llevar a cabo prácticas ambientales induce a los productores de recursos no renovables contaminantes, como los combustibles fósiles, a anticiparse aumentando sus tasas de extracción de recursos y aumentando, con ello, las emisiones globales de contaminantes como CO₂, el efecto por tanto sería el de un daño ambiental mayor (Sinn 2008). Desde entonces, distintos autores han dirigido su interés en el tratamiento de esta paradoja, ya sea desde el análisis de impuestos a los productores de combustibles fósiles (Ploeg y Withagen 2012), desde el examen de los efectos de subsidios a los productores de biocombustibles (Grafton et al 2012) y (Ploeg 2011).

Si bien la mayoría de trabajos desarrollados sobre esta paradoja son de naturaleza teórica, explicable en razón al carácter de novedad de la temática, puede destacarse el trabajo de Di Maria et al (2013), en el cual se propone el primer test empírico sobre la existencia de la paradoja verde. Usando datos de precios, imputs de calor de las plantas de EEUU y los contenidos de azufre del carbón, los autores encuentran un decrecimiento de los precios paralelo a un aumento de los niveles de azufre, indicativo del cumplimiento de la hipótesis de la paradoja verde.

La literatura sobre esta nueva temática en la economía ambiental no es muy amplia, pero hasta ahora no se ha llevado a cabo, según la revisión realizada hasta ahora de literatura, un estudio que parta de consideraciones de exergía para el tratamiento de la paradoja. Si la exergía impone como tal un uso eficiente de los recursos no renovables con arreglo a un impacto ambiental mínimo y, como exponen Rosen, et al (2008) la pérdida de Exergía se refleja entre otras cosas en la emisión de CO₂ al ambiente, un uso exergético de los combustibles fósiles podría llegar a mitigar y reducir tanto sus tasas de extracción como el nivel de emisiones generadas al ambiente. De hecho, si tales condiciones se contemplan resultaría verosímil asumir que la paradoja verde misma no se mantendría, o que serían otras las condiciones para su mantenimiento. Tal es una de las hipótesis centrales del presente trabajo de tesis.

3. Planteamiento del modelo.

El presente modelo se basa en los trabajos de Ploeg y Withagen (2012) en el caso de la paradoja Verde, y en Santarellin (2008), Rosen, Dincer et al (2008), y Connelly, y Koshland, C (1997) en el caso del concepto de exergía vinculado a modelos económicos. El propósito fundamental del planteamiento teórico consiste en exponer las condiciones en que puede ser vinculada la exergía con el fin de mostrar la permanencia de la paradoja verde.

El modelo se compone de dos bienes producidos, los de combustibles fósiles y, otro distinto, el de una tecnología menos agresiva con el medio ambiente y sustentada en un recurso renovable.

Premisas básicas del modelo

- a. Ambos bienes generados, recursos fósiles no renovables y recursos renovables, son sustitutos perfectos. Cuando se agota el combustible fósil, los productores inician la producción del bien sustituto.
- b. La energía extraída es la misma usada para la producción de bienes de consumo.
- c. La tasa de extracción se encuentra ajustada por el nivel de sostenibilidad exergética del recurso.
- d. Hay una sostenibilidad del consumo del recurso no renovable en el sentido de la exergía.
- e. La exergía es una variable exógena y, por tanto, obedece a fuerzas que no pretende explicar el modelo.

La Exergía en el proceso productivo

De acuerdo a Connelly, y Koshland, C (1997), la eficiencia con respecto a la exergía de un proceso productivo de consumo de combustibles fósiles, debe considerar tanto la exergía que entra en el proceso como la que es destruida. De esta forma se define la tasa de agotamiento en el consumo del recurso mediante la expresión [2]

$$D_p = \frac{E_{xd}}{E_{in}} [2]$$

Donde E_{xd} indica la Exergía destruida en el proceso y E_{in} representa la exergía que es insumo. La eficiencia en términos de exergía se establece en relación con este nivel de agotamiento como en [3]

$$\varphi = 1 - D_p [3]$$

Resulta importante considerar así la sostenibilidad del recurso en términos de exergía, como se presenta en la ecuación [4].

$$SI = \frac{1}{D_p} [4]$$

Tomando la ecuación (3) en términos de la eficiencia exergética se tiene la ecuación [5] para el nivel de sostenibilidad del consumo del recurso,

$$SI = \frac{1}{1-\varphi} [5]$$

De manera tal que aumentos en el nivel de exergía generan una mayor sostenibilidad del recurso energético utilizado, en este caso como combustible fósil.

El uso de la energía y la Exergía en el modelo

Sea S el stock del combustible fósil y E la tasa de extracción de dicho combustible así como también el nivel de uso de dicho recurso energético. De esta manera, dado que el combustible es agotable, se tiene que

$$\dot{S} = -\frac{E}{SI} = -(1 - \varphi)E ; 0 < \varphi < 1 \quad [6]$$

La ecuación (5) plantea que el cambio en el stock de combustible depende de manera inversa de la tasa de Extracción *ajustada* por el nivel de sostenibilidad del consumo del recurso. Si la exergía en el consumo de la energía crece, se espera que la sostenibilidad del recurso sea mayor y, con ello, la tasa de cambio del stock se reduzca, (Connelly, y Koshland, C 1997). Hay un aspecto interesante en la ecuación (5), si el nivel de exergía es del 100%, el nivel de sostenibilidad del recurso será tan alto que la tasa de cambio del stock del combustible será nula; por otro lado, si la exergía es nula, la tasa de cambio responderá de manera completa a la tasa de extracción del recurso sin ajuste exergético, siendo igual al modelo propuesto por Forester (1980).

La energía es utilizada para la producción de bienes y servicios que generan un nivel de utilidad, pero también estos generan un nivel de polución que genera por su parte una pérdida de utilidad en el agente consumidor. De esta manera se tienen las siguientes condiciones de partida,

$$C = C(\varphi E) ; \quad (C' > 0 \text{ y } C'' < 0) \quad [7]$$

$$P = P((1 - \varphi)E) ; \quad (P' > 0 \text{ y } PP'' > 0) [8]$$

De esta manera, la función de utilidad se expresa como

$$U = U(C, P) \quad ; \quad (U_C > 0, U_P < 0, U_{PP} < 0, U_{PC} = 0) [9]$$

El Problema

El problema será representado como

$$\max \int_0^T U[C(\varphi E), P((1 - \varphi)E)] \quad \text{s. a } \dot{S} = -(1 - \varphi)E, \quad S(0) = S_0 \quad \text{y } S(T) \geq 0 \quad ^3$$

El hamiltoniano asociado a este problema tendrá la forma

$$H = U[C(\varphi E), P((1 - \varphi)E)] - (1 - \varphi)\lambda E \quad [10]$$

Al proceder a maximizar el hamiltoniano con respecto a E como la variable de control elegida, se tiene que

$$\frac{\partial H}{\partial E} = U_C \varphi C'(E) + U_P (1 - \varphi) P'(E) - (1 - \varphi)\lambda = 0 \quad [11]$$

$$0 \quad \varphi U_C C'(E) + (1 - \varphi) U_P P'(E) - (1 - \varphi)\lambda = 0$$

A menos que $\varphi > 1$, en razón de las condiciones [7] [8] y [9] la derivada segunda del hamiltoniano indica que E maximiza el problema planteado.

Trayectorias Óptimas de Tiempo de las Variables

Puede notarse que de la ecuación [11], E se encuentra en función de λ , de manera que se necesita la condición de transversalidad y el Principio del Máximo, para generar el patrón de λ . De esta manera se tiene que,

$$\dot{\lambda} = -\frac{\partial H}{\partial S} = 0 \quad (\text{por lo que } \lambda(t) = c, \text{ una constante arbitraria})$$

Así, la condición de transversalidad, plantea que debe cumplirse

$$\lambda(T) \geq 0 \quad S(T) \geq 0 \quad \lambda(T)S(T) = 0 \quad [12]$$

De acuerdo a Chang (1998), debe empezarse por solucionar para $\lambda(T) = 0$, de manera que se tienen las siguientes condición,

$$\text{Si } \lambda(T) = 0 \quad \text{y } \lambda(t) = c \rightarrow \lambda(t) = 0 \quad \text{dado que } c = 0 \quad [13]$$

Reemplazando la condición [11] en [12], se tiene

$$\varphi U_C C'(E) + (1 - \varphi) U_P P'(E) = 0 \quad [14]$$

³ La literatura sobre la paradoja verde normalmente considera horizontes de tiempo infinito. En este trabajo, por el contrario, se toma un horizonte de tiempo finito, T, para reflejar el hecho que la planificación de la extracción con base en la exergía exige consideraciones temporales de sostenibilidad del recurso.

La cual tiene en principio solución para la trayectoria de tiempo de E. Dado que E^* es independiente del tiempo, de acuerdo a Forester (1980), este se toma constante⁴ y, de esta manera, se tiene que

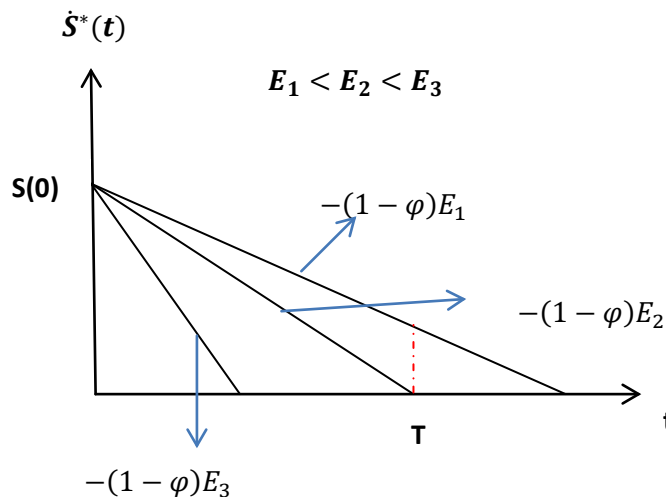
$$E^*(t) = (1 - \varphi)E^* \quad [15]$$

Integrando directamente y reemplazando la condición terminal de la trayectoria ($S(T)=k$) se tiene la ecuación [16], la cual puede ser analizada de una manera cualitativa mediante la figura (1).

$$\text{Así, } \dot{S} = -(1 - \varphi)E \Rightarrow S^*(t) = S_0 - (1 - \varphi)E^*t \quad [16]$$

En dicha figura se asumen tres niveles distintos de tasas de extracción de combustibles. A un nivel de $(1 - \varphi)E_3$ resulta posible que la condición de $S(T) \geq 0$ para el periodo de tiempo estipulado no se cumpla y sea, incluso, negativo. Al nivel $-(1 - \varphi)E_2$, por su parte, el recurso es agotado completamente para el periodo de planificación; para el nivel $-(1 - \varphi)E_1$, una parte del stock del combustible fósil se conserva para el periodo de planificación.

Figura (3): Tasas de Extracción Óptimas



El anterior análisis de la figura (3) muestra un hecho importante derivado de la inclusión de la exergía: existe un nivel de exergía φ para el cual la trayectoria del stock de combustible permanece una vez termina el proceso de planificación de la extracción. La exergía, por tanto, manteniendo fijo el nivel de consumo energético E , puede hacer que el recurso no se agote en un periodo determinado de planificación, además que puede reducir la tasa de extracción del combustible. Esta misma grafica puede para niveles distintos de eficiencia en exergía φ dejando

⁴ Se asume de esta manera pues para el planteamiento del problema no es considerada tasa de descuento alguna. Sin embargo puede reformularse para tal propósito.

constante la tasa de extracción E ; para dicha tasa entonces el análisis sigue siendo el mismo, existirá un nivel de eficiencia para el que el nivel de recurso no se agote completamente.

Si, por otro lado, se pretende un agotamiento completo del recurso durante el periodo de planificación, la tasa óptima de extracción tendrá la siguiente forma, a partir de la ecuación [16]. Al incrementarse la exergía del sistema productivo, el nivel de sostenibilidad del consumo de la energía se incrementa y, por lo tanto, la tasa de extracción puede ser más elevada para poder agotar más rápidamente el recurso dado el nivel de eficiencia exergetica.

$$E^* = \left(\frac{1}{1-\varphi}\right) \frac{S_0}{T} [17]$$

Si el nivel de exergía es tal que puede generarse un remanente en el stock de combustible, ¿cómo afecta esta condición la Paradoja Verde? ¿La exergía estimularía más fácilmente el cambio hacia tecnologías renovables, bajo consideraciones de costos, y en esa medida se agravaría o no el efecto nocivo sobre el medio ambiente que sugiere la paradoja?

Se pueden establecer, por lo menos, las siguientes consideraciones

- Existe un nivel de eficiencia Exergetica φ para el que la trayectoria óptima de extracción del combustible fósil no redunde en su completo agotamiento.
- Si este nivel de eficiencia es comparado con algunas de las variables que pueden mediar en la decisión de los productores de combustibles fosiles, como precios y costos, la exergia se torna entonces en un criterio para las decisiones de extracción y, por lo tanto, de traspaso a la producción de otro tipo de bienes.
- En línea con la exergia como criterio, según la ecuación [17], si los productores de combustibles fósiles anticipan las tendencias verdes de la economía mundial, para pretender aumentar completamente el recurso tendrían, en principio dado el periodo de planificación, que aumentar sus niveles de eficiencia exergéica lo cual desde luego comporta consideraciones de costos. De esta manera, en un panorama de eficiencia exergetica, la anticipación que es clave para la Paradoja Verde no es tan expedita y tan fácil de llevar a cabo.

Replanteamiento de la paradoja Verde

De acuerdo a los planteamientos teóricos de Ploeg y Withagen (2012) para el problema de la paradoja verde, y asumiendo las mismas ecuaciones anteriores para la eficiencia en términos de exergia, el planteamiento del problema de la demostración de las condiciones de cumplimiento de la paradoja verde puede ahora ser reformulada mediante la siguiente ecuación, de planificación de bienestar social.

$$\int_0^{\infty} e^{-\rho t} [u(\varphi q(t) + x(t)) - G(s(t))q(t) - bx(t) - D\left(E_0 + S_0 - \left(\frac{1}{1-\varphi}\right)s(t)\right)] dt^5$$

[18]

En esta ecuación, la exergía entra en la función de daño ambiental de una manera distinta, en razón a que la variable $s(t)$ representa para los autores el stock remanente del combustible fósil en la tierra. Los términos $q(t)$ y $x(t)$ representarían las tasas de extracción del combustible fósil y del bio-combustible, respectivamente. D , representa la función de daño ambiental con las emisiones y el stock de combustible como argumentos principales. El hamiltoniano asociado corresponderá a

$$H(q, x, s, n) \equiv u(\varphi q + x) - G(s)q - bx - D\left(E_0 + S_0 - \left(\frac{1}{1-\varphi}\right)s\right) - nq \quad [19]$$

De esta manera, una exploración de las condiciones de primer orden y la determinación de las trayectorias óptimas de tiempo de las variables conducirían a establecer las condiciones de cumplimiento o no de la paradoja verde en términos de la exergía asociada al proceso económico.

4. Conclusiones y preguntas por responder.

En el anterior trabajo se desarrolló un modelo teórico de uso de energía con polución para, vinculando variables de eficiencia de Exergía, determinar la tasa de extracción óptima de combustible fósil. Se estableció que existe un nivel de eficiencia exergetica que genera una tasa de extracción del recurso cuyo agotamiento no es completo, por lo que los productores de combustibles fósiles tienen mayores incentivos a pasar a la producción de no renovables.

De esta manera se establecieron las bases teóricas para definir la siguiente conjetura: “en un mundo con dinámicas productivas acordes con la Exergía, la paradoja verde no tiene lugar”. Así, se generarían las siguientes líneas de investigación, derivadas de una conjunción entre la Economía Ambiental y la Exergo-Economía con las siguientes preguntas.

- ¿Cuál es el efecto de impuestos basados en la exergía sobre el nivel de emisiones?
- ¿Hasta qué punto deben reformularse las teorías de fiscalización con base en la vinculación de este tipo de impuestos basados en la pérdida de exergía?
- ¿Qué ocurre con los subsidios? ¿se cumple o no la paradoja verde en estos casos?

El modelo anteriormente desarrollado, en su versión simplificada, permite reformularse para responder a las anteriores preguntas.

⁵ Para una revisión detallada de este modelo, véase Ploeg y Withagen (2012).

5. Referencias.

A.F. Massardo, M. Santarelli, R. Borchiellini (2003). Carbon exergy tax (CET): its impact on conventional energy system design and its contribution to advanced systems utilization. *Energy*, Energy 28. pp. 607–625

Ayres, R.U., Ayres, L.W., Martinas, K., (1998). Exergy, waste accounting, and life-cycle analysis. *Energy* 23, 355–363.

Borchiellini R, Massardo AF, Santarelli M. An analytical procedure for the carbon tax evaluation. *Energy Conversion and Management Journal* 2000;41:1509–31.

Bryant, J. A Thermodynamic theory of economics (2007). *Int. J. Exergy*, 4, 302-337.

Connelly, L., Koshland, C.P., 1997. Two aspects of consumption: using an exergy-based measure of degradation to advance the theory and implementation of industrial ecology. *Resources, Conservation and Recycling* 19, 199–217.

Cornelissen, R.L., (1997). Thermodynamics and sustainable development. Ph.D. Thesis, University of Twente, The Netherlands.

Corrado Di Maria Ian Lange Edwin van der Werf (2013). Should we be worried about the green paradox? Announcement effects of the Acid Rain Program. *European Economic Review* 18 april 20013.

Frederick van der Ploeg

Frederick van der Ploeg (2011). Economics of sustainability transitions: Second-best climate policy, Green Paradox, and renewables subsidies. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 1. Pp. 130-134.

Frederick van der Ploeg y Cees Withagen (2012). Is there really a green paradox? *Journal of Environmental Economics and Management*. 64. Pp 342-363.

Georgescu-Roegen (1975). Energy and Economic Myths. *Southern Economic Journal* Vol. 41, No. 3, Jan., 1975.

Göran Wall (1986). Exergy – a Useful Concept. *Physical Resource Theory Group*. 3rd edition.

Hans-Werner Sinn (2008). Public policies against global warming: a supply side approach. *Int Tax Public Finance*. Numero 15:pp 360–394

Ibrahim Dincer (2002). The role of exergy in energy policy making. *Energy Policy*, Volume 30, Issue 2, January, pp 137–149.

Marc A. Rosena, Ibrahim Dincer y Mehmet Kanoglu (2008). Role of exergy in increasing efficiency and sustainability and reducing environmental impact. *Energy Policy* 36, pp. 128–137.

R. Quentin Grafton ,Tom Kompas y Ngo Van Long (2010). Biofuels Subsidies and the Green Paradox . *ENERGY AND CLIMATE ECONOMICS*. CESIFO WORKING PAPER NO. 2960.

Richard A. Gaggioli, y William J. Wepfer (1980). Exergy economics: I. Cost accounting applications. *Energy* Volume 5, Issues 8–9, August–September 1980, pp 823–837.

Robert U Ayres, Leslie W Ayres, Benjamin Warr (1998). Exergy, power and work in the US economy, 1900–1998. *Energy*, Volume 28, Issue 3, March 2003, Pages 219–273

Rosen, M.A., Dincer, I., (1997). On exergy and environmental impact. *International Journal of Energy Research* 21, 643–654.

Rosen, M.A., Dincer, I., 2003. Thermo-economic analysis of power plants: an application to a coal-fired electrical generating station. *Energy Conversion and Management* 44, 2743–2761.

Rosen, M.A., Dincer, I., 2003. Thermo-economic analysis of power plants: an application to a coal-fired electrical generating station. *Energy Conversion and Management* 44, 2743–2761.

S.C. Kaushik V. Siva Reddy S.K. Tyagi (2011). Energy and exergy analyses of thermal power plants: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 15, Issue 4, May 2011, pp 1857–1872

Santarelli M (2004). Carbon exergy tax: a thermo-economic method to increase the efficient use of exergy resources. *Energy Policy*. Vol 32 February Pp 413–427

Santarelli M, Borchiellini R, Massardo AF(1999). Carbon tax vs CO₂sequestration effects on environomic analysis of existing power plants. In: Ishida M, Tsatsaronis G, Moran MJ, Katoka H, editors. *ECOS'99*. Tokyo: ECOS;. p. 287–93.

Wepfer, W.J., Gaggioli, R.A., (1980). Reference datums for available energy. In: Gaggioli, R.A. (Ed.), *Thermodynamics: Second Law Analysis*. ACS Symposium Series 122, Washington, DC, pp. 77–92.

Zhang, M., Reistad, G.M., (1998). Analysis of energy conversion systems, including material and global warming aspects. *International Journal of Heating, Ventilating, Air-Conditioning and Refrigerating Research* 1, 45–65.



XIV JORNADAS DE ECONOMÍA CRÍTICA

Perspectivas económicas alternativas

Valladolid, 4 y 5 de septiembre de 2014

*Fractura hidráulica: un
abordaje no convencional para
una extracción muy ortodoxa
Vaca Muerta (Neuquén,
Argentina) en perspectiva de
economía ecológica.*

Sandra Bettina Ferrante, Adriana
Giuliani y Esther Velázquez

Universidad Pablo de Olavide y Universidad Nacional del
Comahue (Argentina).

FRACTURA HIDRÁULICA: UN ABORDAJE NO CONVENCIONAL PARA UNA EXTRACCIÓN MUY ORTODOXA. VACA MUERTA (NEUQUÉN, ARGENTINA) EN PERSPECTIVA DE ECONOMÍA ECOLÓGICA

Ferrante (*), Sandra Bettina, Giuliani (**), Adriana y Velázquez, Esther (*)¹

Resumen

La extracción de hidrocarburos no convencionales (HCNC) mediante fractura hidráulica, se expande en un contexto de crisis multidimensional global. Desde el punto de vista ortodoxo, el *fracking* resulta viable en función de la rentabilidad monetaria y facilitaría contar con más energía para sostener el crecimiento económico. Sin embargo, promoviendo su expansión, no sólo se posterga la resolución de los problemas asociados con la dependencia respecto de los combustibles fósiles, sino que éstos podrían amplificarse. Ante la situación mencionada cabe considerar análisis alternativos para estudiar la extracción de HCNC. En este caso, se parte del marco de la economía ecológica, para estudiar la problemática asociada con la fractura hidráulica en la provincia de Neuquén (Argentina). Para cumplir con ese objetivo, i) se analiza el contexto de la explotación de hidrocarburos a escala provincial y nacional y ii) se estudian los principales flujos biofísicos, focalizando en el binomio agua y energía. Este trabajo es parte de una investigación en curso e implica un avance en el abordaje de la problemática del *fracking* desde una perspectiva transdisciplinar, capaz de trascender el reduccionismo monetario.

Palabras clave: fractura hidráulica, binomio agua-energía, Vaca Muerta

¹ (*) Universidad Pablo de Olavide (España), (**) Universidad Nacional del Comahue (Argentina).

1- Introducción

La extracción de hidrocarburos no convencionales (HCNC) mediante fractura hidráulica, se expande en un contexto de crisis multidimensional global. Un aspecto central del contexto mencionado, corresponde a la llamada “tercera crisis del petróleo” y las restricciones al crecimiento económico continuo que supondría un declive generalizado en el suministro energético (Durán, 2008, 40). En ese marco, los combustibles fósiles no convencionales, lejos de resolver los problemas asociados con la extrema dependencia de fuentes energéticas no renovables, se presentan como una oportunidad para postergarlos o incluso como alternativa de transición hacia energías “limpias” o renovables (Stephenson, Shaw, 2011).

Para la economía ortodoxa, el *fracking* resulta viable no sólo por los desarrollos tecnológicos que supondría sino principalmente en función de su rentabilidad monetaria (Friedmann, 2013). Al mismo tiempo, los HCNC facilitarían disponer de más energía para sostener el crecimiento económico (con independencia de los fines de acumulación o redistribución). En diferentes países del mundo, su extracción se promueve como promesa para alcanzar autoabastecimiento energético y trascender eventuales déficit en la balanza comercial relacionados con la importación de hidrocarburos.

En relación con la rentabilidad monetaria, cabe mencionar dos aspectos. Por un lado que tanto los precios de la energía como los aumentos recientes y su volatilidad, resultan de la especulación y la financiarización económica (Conferencia para las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo [CNUCD], 2013). Por otro, recordar que la extracción de hidrocarburos ha tenido y tiene costos muy altos, que lejos de internalizarse (tal como propone la economía ambiental y neoclásica), “han sido socializados o directamente transferidos hacia los grupos más débiles o a la sociedad en su conjunto” (Falconi, 2013, 88). Ambos aspectos admiten cuestionar ¿qué quedaría de la alta rentabilidad sin eventuales burbujas financieras ni externalización de costos ambientales y sociales (Kapp, 1950)?

Como se menciona en párrafos anteriores, ante la crisis energética y los análisis que pronostican un cercano *peak oil* (Hubbert, 1956 en Bretcha, 2013), la extracción de HCNC permitiría alejar los fantasmas del agotamiento del petróleo y de la finitud de los recursos terrestres. En efecto, desde organismos como el Fondo Monetario Internacional, se habla de “la revolución no convencional” (Helbling, 2013). Tal revolución energética, no sólo estaría en marcha en EEUU, también podría incluir a países como Argentina, cuyos yacimientos no convencionales se ubican entre los primeros a nivel mundial (IEA, 2011).

En Argentina, la matriz energética es altamente dependiente de combustibles fósiles lo cuál ha contribuido en generar, especialmente en años recientes, un déficit creciente en balanza comercial (Giuliani, 2013). En función de ello, la extracción de HCNC es presentada como solución a la problemática mencionada y promesa de tránsito hacia el autoabastecimiento energético. Un aspecto que no suele estar presente en tales propuestas de solución es que si bien los flujos monetarios podrían ser útiles para cubrir el déficit de balanza comercial,

no necesariamente lo son para sustituir flujos biofísicos, como los que corresponden con la matriz energética de la economía. Esa incapacidad para dar visibilidad y procesar información más allá de lo crematística, caracteriza el enfoque de la economía neoclásica. A su vez, tal reduccionismo, muestra que esa perspectiva resulta incapaz, no sólo para atender la complejidad de la actual crisis, sino para evaluar en forma sistémica las consecuencias que en relación con ella tendrían la expansión de actividades como el *fracking*.

De lo anterior se desprende la pertinencia de considerar análisis alternativos para estudiar la extracción de HCNC. En este trabajo, se parte del marco de la economía ecológica y se estudia la problemática asociada con la fractura hidráulica en la provincia de Neuquén (Argentina). Para cumplir con ese objetivo, se analizan: i) el contexto de la explotación de hidrocarburos a escala provincial y nacional y ii) los principales flujos biofísicos, focalizando en el binomio agua y energía. La elección de Neuquén para el estudio de caso se fundamenta en los siguientes aspectos: a) allí se localizan las formaciones geológicas Vaca Muerta y Los Molles, de gran relevancia en términos de la magnitud de los yacimientos de HCNC, b) en esa provincia, el sector extractivo ocupa un lugar central, en términos de producto bruto geográfico (Giuliani, 2013), c) podría tratarse de la primera explotación, luego de las estadounidenses, donde se extienda masivamente la extracción de gas de lutitas o *shale gas*².

Luego de esta introducción el trabajo consta de cinco secciones más. En la primera de ellas, se presentan breves referencias sobre los HCNC y la fracturación hidráulica. La siguiente sección incluye referencias conceptuales y metodológicas que corresponden con el abordaje desde el enfoque de la economía ecológica. Luego, se presenta el análisis del contexto nacional y provincial en torno al fracking en Neuquén. A continuación, se estudian los principales flujos biofísicos, focalizando en el binomio agua-energía según sus características en el contexto mencionado. Finalmente, se presentan las reflexiones generales que se desprenden del presente trabajo.

2- Los HCNC y la fractura hidráulica

En los párrafos que siguen se explicita brevemente a qué se refiere el conjunto heterogéneo de HCNC, para luego indicar cuáles de ellos son susceptibles de ser extraídos mediante la fracturación hidráulica. Responder claramente estos interrogantes es de utilidad para posteriormente definir el sistema socioecológico a estudiar. Además proporciona elementos clave para analizar los diferentes materiales que actualmente comienzan a proliferar sobre esta temática. Qué se nombra y qué se invisibiliza, o no, es una cuestión política (que también atraviesa el fracking) y conlleva consecuencias sobre los resultados de las investigaciones y las recomendaciones que, eventualmente, derivan de ellos. La polémica sobre las consecuencias de la fractura hidráulica, incluye en parte, estrategias sistemáticas de ocultamiento de información y tergiversación de la realidad. Tal es así que en algunas controversias actuales hay quien sos-

² Este gas ha pasado del 2 al 40% de la “producción” en EEUU y uno de los yacimientos más productivos allí, el de Haynesville, se suele comparar al de Vaca Muerta.

tiene que “la solución depende de a qué definición de ‘fractura hidráulica’ de-seemos³ acogernos” (Mooney, 2011, 84,).

2.1 ¿Qué se entiende por HCNC?

Cuando se considera la condición de “no convencional” en relación con el petróleo y el gas natural, es importante distinguir dos aspectos interrelacionados. El primero refiere que la localización física de los hidrocarburos (HC) es menos accesible que la habitual para yacimientos convencionales (aquellos explotados mayoritariamente hasta el presente). Esta menor accesibilidad puede denotar: mayor profundidad terrestre u oceánica, zonas lejanas de los centros urbanos o industriales (como el ártico), ubicación en rocas menos permeables o porosas. Adicionalmente el petróleo no convencional incluye diferencias en composición derivadas de las proporciones de las diferentes fracciones, sus pesos específicos, presencia de compuestos sulfurados, etc. (Portero, 2012). Para el gas NC, en cambio, la mezcla gaseosa es menos variable.

Tanto la localización física como las diferencias en composición, inciden directamente en dos características adicionales a considerar: el rendimiento energético de los HCNC es muy inferior al de los convencionales (Gupta, Hall, 2011) y el impacto territorial, es muy superior (Fernández Durán, 2008; Jackson et al, 2013, Howarth, Santoro, Ingraffea, 2011). Además de los distintos tipos de contaminación asociados con la extracción de HCNC, la ocupación territorial que implican es muy superior a la “convencional”. Aunque las superficies varían, en el estado de Nueva York, el tamaño medio de las plataformas alcanza las 2 hectáreas y cada una de ellas suele contar con entre 6 y 8 pozos que se perforan sucesivamente (Ramos, 2012).

Para el caso de la provincia de Neuquén, los reservorios no convencionales “son formaciones de baja a muy baja permeabilidad, tales como areniscas compactas, carbonatos, carbón, arcilla (*shale*) u otras litologías que producen gas y/o petróleo” y que se asocian con pozos o perforaciones tanto verticales como horizontales, dónde la estimulación hidráulica tiene por objeto “mejorar la permeabilidad y transmisibilidad de los fluidos” (Decreto 1483/12, Anexo XVI, página 5).

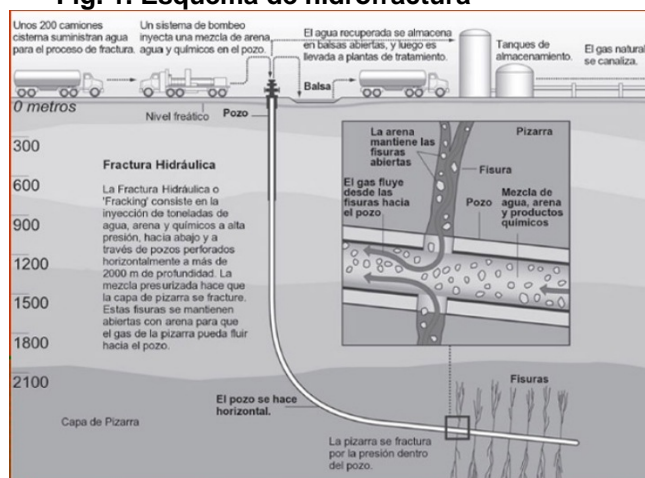
2.2 La fractura hidráulica

La fractura hidráulica o *fracking* integra un conjunto de técnicas empleadas con el objetivo de extraer HCNC, tanto petróleo como gas (Manuel, 2010). Ese conjunto de técnicas incluyen: perforación vertical (desde la superficie terrestre hasta unos 2 ó 3 kms. de profundidad) y horizontal (perpendicular a la anterior con una extensión de varios cientos de metros), empleo de cantidades de agua alrededor de dos órdenes de magnitud superiores a las de los hidrocarburos convencionales (Howarth, Ingraffea, Engelder, 2011). Aunque se trata de una actividad conocida desde hace décadas, su expansión es reciente y exponencial. Actualmente en EEUU se explotan más de 35.000 pozos por año (Schmidt, 2011). En la cuenca neuquina (Argentina), se prevé la perforación y

³ El subrayado no aparece en el original.

fractura de unos 2500 nuevos pozos en los próximos cinco años (Decreto 1483/12).

Fig. 1. Esquema de hidrofractura



Fuente: Propublica (<http://www.propublica.org/special/hydraulic-fracturing-national>)

Una característica del *fracking* es la utilización de mayores cantidades de agua que las que involucra la extracción convencional de hidrocarburos. El agua se utiliza tanto para lubricar las perforaciones como para “estimular” los pozos y crear fracturas en las rocas que contienen los HC. Las perforaciones no convencionales suelen incluir una componente horizontal que se suma a la excavación vertical (Ramos, 2012). En las perforaciones habituales, el agua se utiliza junto con lodos que ayudan a enfriar motores, facilitan el uso de herramientas de navegación y proporcionan estabilidad al pozo (Ramos, 2012). En cambio, para la fracturación el agua se mezcla con productos químicos y arena. Según datos de EEUU, se emplean hasta 225.000 litros de aditivos de síntesis por cada pozo explotado (Money, 2012). La lista de aditivos es amplia (algunas investigaciones reportan más de 700 productos que obviamente no se emplean simultáneamente); se emplean para disolver minerales, mantener la viscosidad del fluido, prevenir la corrosión de los equipos, minimizar la fricción, etc. (Rahm *et al* 2013).

Tanto las cantidades como las calidades de la mezcla de fracturación dependen de las características del sistema extractivo. De igual manera, es variable la proporción de fluido que retorna a la superficie (entre un 10 y un 85%) y las cantidades que se desechan o reutilizan en el proceso. Luego de la fractura, el fluido puede incluir sustancias adicionales incorporadas durante el proceso, entre ellas elementos radioactivos o metano (Wood *et al*, 2011).

3- Enfocando desde la economía ecológica

En esta sección se presentan, breve y esquemáticamente, algunas limitaciones del enfoque neoclásico para abordar la problemática de la extracción de HCNC. Luego de ello se indican cuáles son los elementos conceptuales y metodológicos que se propone integrar en el abordaje de la economía ecológica.

Las principales limitaciones del enfoque económico ortodoxo para abordar la problemática del *fracking* se pueden sintetizar en las siguientes cuestiones: a) el objeto de estudio (sistema económico) se considera aislado y reducido a la cuantificación monetaria, b) la modelización de los procesos económicos es inadecuada (características como reversibilidad, sustitución de factores, infinitud de recursos y sumideros, etc., no se ajustan a la realidad empírica), c) la invisibilización de los conflictos socio-ambientales (o el supuesto de que pueden resolverse sólo con redistribución monetaria) y d) el determinismo tecnológico (Capra, 1992) asociado con la idea de lo ineludible del crecimiento sostenido.

Si se considera que el sistema económico se encuentra aislado de la biosfera, se evade el análisis del deterioro del entorno biofísico o se lo supone excepcional, antes que inherente al funcionamiento de la economía (Naredo, 2006). La excepcionalidad en los daños se recoge eventualmente desde la economía ambiental y la valoración monetaria de las externalidades. En cambio, desde la economía ecológica, se sostiene que las valoraciones deben realizarse con metodologías multicriterio ya que no es posible medir todos los daños y beneficios con la única medida que proporciona la moneda.

Adicionalmente, al contemplar sólo la valoración monetaria, la consideración de eficiencia queda sujeta y reducida a la rentabilidad. Lo cuál oculta dos aspectos fundamentales en el análisis de la extracción de HCNC. Por un lado, la posibilidad de que se estuviera inflando una burbuja energética (Carbonell, 2013; Urresti, Marcillesi, 2012). Por otro, el declive en la eficiencia energética o “ganancia” neta de energía de la extracción no convencional (Gupta, Hall, 2011). Esa pérdida de eficiencia en la obtención de energía podría ser una de las causas para los actuales problemas económicos (Hall, 2011).

En relación con la modelización, la propuesta de la economía ecológica es analizar el sistema socio-ecológico (partiendo de los desarrollos de Berkes y Folke, 1998) y analizar el sistema económico como un subsistema de la biosfera (Ramos, 2011). Ello permite focalizar en los aspectos materiales de la economía (la base biofísica y el metabolismo socio-ecológico) y hacer visibles los conflictos ecológicos distributivos y los diferentes lenguajes de valoración (Martínez-Alier, 2005). En esa dirección, la consideración de que la tecnología es una respuesta entre otras tantas, se asocia con las reflexiones enmarcadas en la crítica post-normal a la ciencia, particularmente cuando hay incertidumbre, confrontación de valores, mucho en juego y urgencia en las decisiones (Funtowicz y Ravetz 1991).

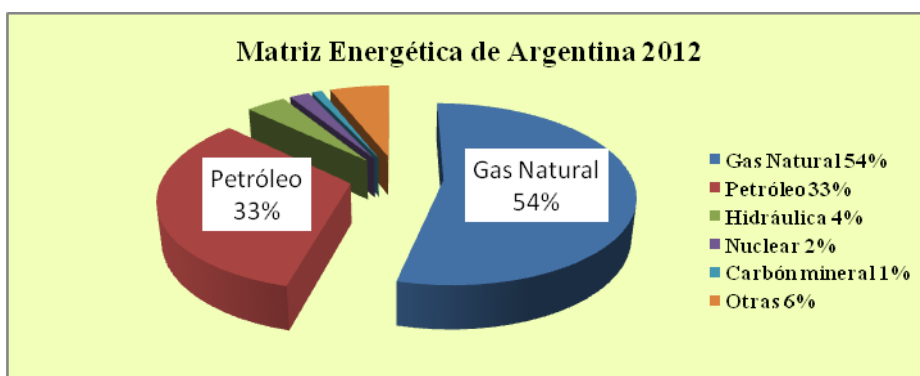
En contraste con la economía convencional, los desarrollos de economía ecológica consideran formas alternativas de comprender la realidad desde el ámbito científico. Lo que distingue el campo transdisciplinar de la economía ecológica son sus fundamentos, que en forma resumida incluyen: i) comprensión del sistema económico en términos abiertos y en función de su inserción en la biosfera, ii) enfoque eco-integrador y análisis sistémico -coevolutivo, iii) estudio de dimensiones físicas a través de variables cualitativas y cuantitativas,

iv) integración de los desarrollos conceptuales con la ecología política⁴. Desde ese enfoque, complejo y en construcción, un aspecto central del análisis de los procesos económicos es la consideración de los flujos de energía y materia (Ramos, 2003). En este trabajo, reflejando el estado de la investigación en curso, se presenta un estudio preliminar sobre ambos. Previo a ello se contextualiza la extracción de energía fósil, mediante referencias a escala nacional y provincial.

4. La explotación de hidrocarburos en Argentina

En Argentina, los hidrocarburos son los principales generadores de energía, con una incidencia altamente significativa en la oferta interna, cercana al 90%, como puede observarse en el siguiente gráfico que representa la matriz energética correspondiente al año 2012.

Gráfico 1

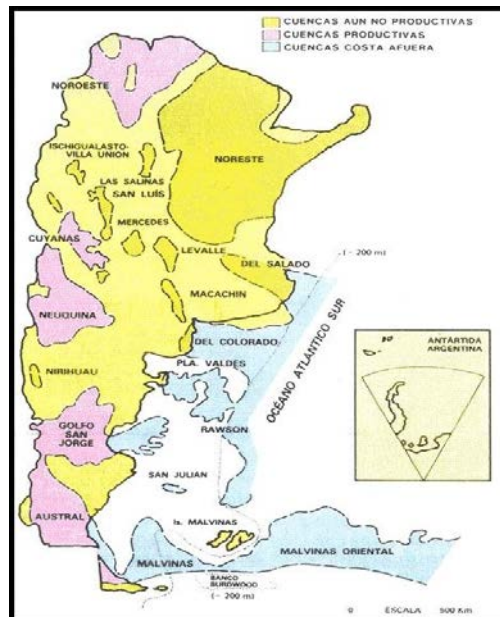


Fuente: Secretaría de Energía de la Nación

De allí que la explotación de HC constituye un eje central en la política energética nacional, convirtiendo al petróleo y al gas en recursos estratégicos cuyo manejo ha de ser prioritario, teniendo en cuenta además su futuro agotamiento. Se han identificado 19 cuencas sedimentarias en el país, 5 de las cuales se encuentran en producción en la plataforma continental: Golfo San Jorge, Neuquina, Cuyana, Noroeste y Austral (Mapa N° 1).

Mapa N° 1: Cuencas sedimentarias de Argentina

⁴ Principios básicos de la economía ecológica según la Asociación de Economía Ecológica en España (acceso a través de <http://www.ecoeco.es/principios-de-la-ee/> en junio de 2012).



Fuente: Secretaría de Energía de la Nación

Hasta 1989 la explotación estuvo caracterizada por la presencia estatal a través de Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF) y Gas del Estado, empresas encargadas de materializar las políticas de Estado diseñadas para el sector. Al ser el autoabastecimiento uno de los objetivos específicos, en algunos períodos estuvo prohibida la exportación de crudo sin elaboración y se incentivó la exploración. La definición de los precios respondía a lineamientos generales, como puede observarse en el caso del gas, cuyos valores en este período estuvieron vinculados a las necesidades del proceso de industrialización.

También la reducción de las tarifas residenciales y la consecuente expansión del uso del gas natural estuvieron relacionadas con la ampliación del horizonte de reservas gasíferas tras la apertura de Loma de la Lata, en la cuenca Neuquina, en 1977.

Al asumir Carlos Menem la presidencia de la Nación en 1989, se instrumentó el cuerpo normativo que configuró la desregulación del sector energético, enmarcado en un profundo programa neoliberal. En particular, los decretos 1055/89, 1212/89 y 1589/89 explícitamente reflejaban la decisión de alejar al Estado de las decisiones inherentes a la actividad, a la vez que se concedió la libre disponibilidad de los volúmenes extraídos a las empresas concesionarias, admitiendo su comercialización tanto en el mercado interno como en el externo sin restricciones, con la posibilidad de disponer hasta el 70% de las divisas obtenidas en el comercio internacional. Paralelamente, se desreguló la instalación de refinерías y bocas de expendio, se liberaron los precios de todos los productos y se redujo el rol del Estado a tareas de fiscalización y control. En este contexto, se licitaron las áreas operadas por YPF, argumentando baja efectividad: las marginales por un plazo de 20 años y las centrales por 25 años, con la opción en ambos casos de prorrogar por 10 años más, que quedaron en manos de empresas concesionarias.

El proceso de privatización de YPF comenzó con su reestructuración en Sociedad Anónima mixta, a partir del Decreto 2778/90, ratificado por la Ley 24.145 de Federalización de Hidrocarburos, sancionada en 1992. Durante la presidencia de José Estensoro (1990-1995), designado por el Poder Ejecutivo, se ven-

dieron refinerías, equipos, otros activos considerados “no estratégicos” y se redujo drásticamente la plantilla de personal, ocasionando delicadas situaciones sociales en las regiones en las que la empresa tenía gran influencia. A través de diversas modalidades como retiros voluntarios, jubilaciones anticipadas y despidos propiamente dichos, entre 1989 y 1994 se produjo la desvinculación de 31.207 trabajadores (de 37.046 a 5.839). En la provincia de Neuquén, la denominada “comarca petrolera” conformada por las localidades de Cutral C6 y Plaza Huincul fue especialmente afectada: de acuerdo a la Encuesta Permanente de Hogares de octubre de 1996, entre estas dos ciudades había 7.900 desocupados (el 35,7% de la Población Econ6micamente Activa) y 23.500 personas vivían debajo de la línea de pobreza.⁵

A lo largo de la década de 1990 el Estado se fue deshaciendo de las acciones hasta que en 1999 el grupo español Repsol adquirió el 98,23% del capital social, lo que le valió la posibilidad de asumir el control total de la compañía. Con la venta de Gas del Estado que había tenido lugar en 1992, la explotación de HC, recursos estratégicos para el país, pasó a regirse por la lógica de maximización de ganancias propia de inversores privados.

A partir de 2003, durante las respectivas presidencias de Néstor Kirchner (2003-2007) y Cristina Fernández de Kirchner (continúa actualmente en funciones desde 2007) se pusieron en práctica disposiciones que incidieron en el funcionamiento del sector, aunque no produjeron modificaciones de fondo. Entre ellas, se destacan las retenciones a las exportaciones, cuyo actual sistema de cálculo fue establecido por la Resolución 394 de 2007; además del fin recaudatorio, el espíritu del gravamen es la separación del precio interno del internacional y la posibilidad de captación de una mayor porción de la renta por parte del Estado Nacional.

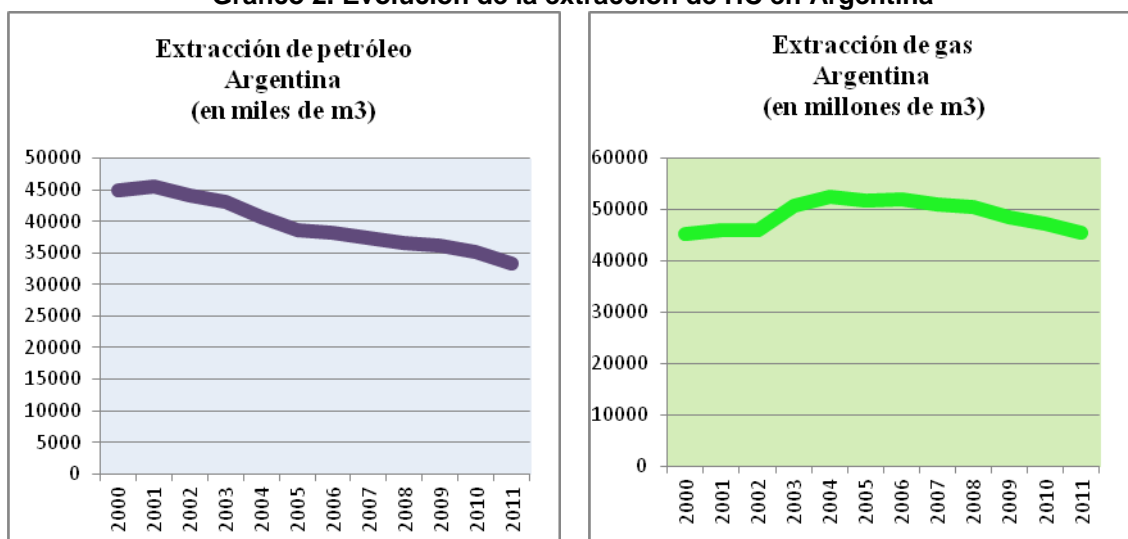
En 2006 se sancionó la Ley 26.197, denominada “Ley Corta” porque sólo reformó el artículo 1º de la Ley madre del sector, la 17.319/67, a fin de reglamentar la provincialización de los recursos del subsuelo dispuesta por la reforma constitucional de 1994. Otorgó a las provincias la potestad para actuar independientemente del poder central y de otros estados provinciales, circunstancia que fue determinante en la negociación de las prórrogas de los contratos de concesiones, al prevalecer los ahogos fiscales u otros condicionamientos. Entre ellas, la extensión en 2007 de la concesión de Cerro Dragón a Pan American, en la Cuenca del Golfo San Jorge, que es el yacimiento más importante del país en términos de petróleo. En la Cuenca Neuquina, durante 2008 y 2009 también se prorrogaron los contratos a las operadoras en el marco de la Ley provincial 2615, que fue aprobada para el caso de YPF y luego se aplicó al resto de los acuerdos. Las concesiones fueron renovadas con gran anticipación, teniendo en cuenta que vencían en 2016 – 2017.

La creación de Enarsa (Empresa de Energía Argentina S.A.) en 2004, bajo la figura de sociedad anónima con participación mayoritaria del Estado Nacional no logró los objetivos anunciados originalmente, como tampoco el accionar de organismos provinciales significaron un mejor posicionamiento estatal. El ingre-

⁵ En los primeros años luego de la privatización, muchos de los “ex ypefeanos” se convirtieron en cuenta-propistas incursionando en diversos rubros; al poco tiempo las experiencias fueron fracasando y las verdaderas consecuencias salieron a la luz; las recordadas “puebladas” de 1996-1997 fueron el reflejo de la decisión oficial de desprenderse de la empresa estatal.

so a la compañía del Grupo Petersen a partir de 2007 no cumplió con las expectativas del Poder Ejecutivo Nacional, que propició las negociaciones. En definitiva, el abanico de instrumentos implementados en esta etapa no generó un verdadero cambio de rumbo en materia energética. El resultado fue la sobre-explotación de los yacimientos, declinación de la extracción, disminución de las inversiones en exploración y pérdida de reservas, como se observa en los gráficos siguientes:

Gráfico 2. Evolución de la extracción de HC en Argentina

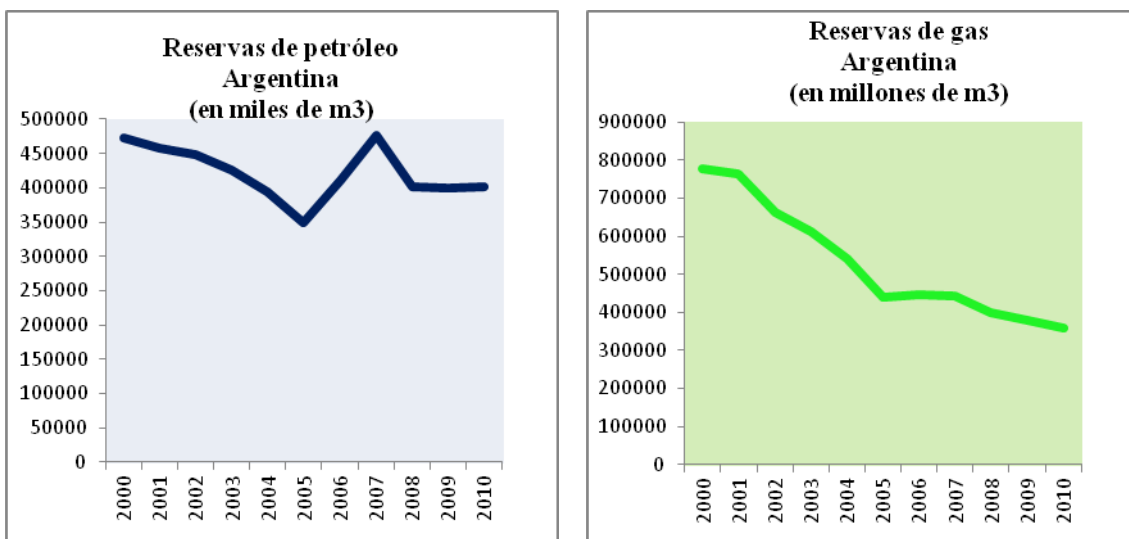


Fuente: Secretaría de Energía de Nación

La creciente demanda de una economía con altos índices de crecimiento⁶ desembocó en la necesidad de importación de combustibles, que en 2011 alcanzó un valor superior a los 9.300 millones de dólares, provocando una inédita situación de déficit en el saldo comercial de tales bienes. Esta circunstancia derivó en la decisión de expropiar el 51% de las acciones de YPF, que pasaron a ser compartidas por el Estado Nacional y las provincias productoras, nucleadas en la Organización Federal de Estados Productores de Hidrocarburos (OFEPHI).

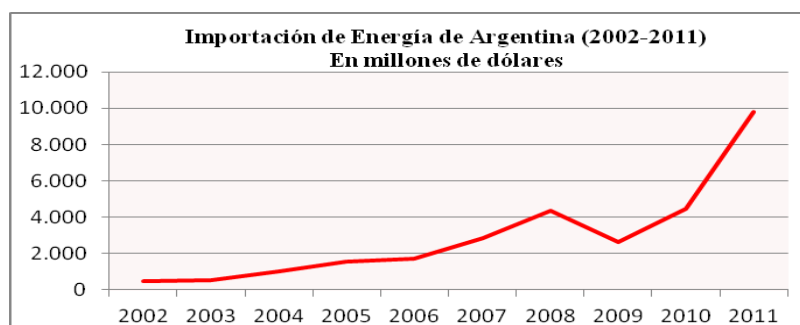
Gráfico 3. Evolución de las reservas de HC en Argentina

⁶ Luego de la crisis del denominado modelo de “convertibilidad” en el año 2001, con la fuerte devaluación y declaración del “default” de la deuda pública, se da un período de fuerte crecimiento del Producto Bruto de Argentina. El período 2003-2010 se caracteriza por tasas de crecimiento en torno al 9% anual, salvo en el año 2009 debido a las consecuencias de la crisis internacional (López - Sevilla, 2010).



Fuente: Secretaría de Energía de Nación

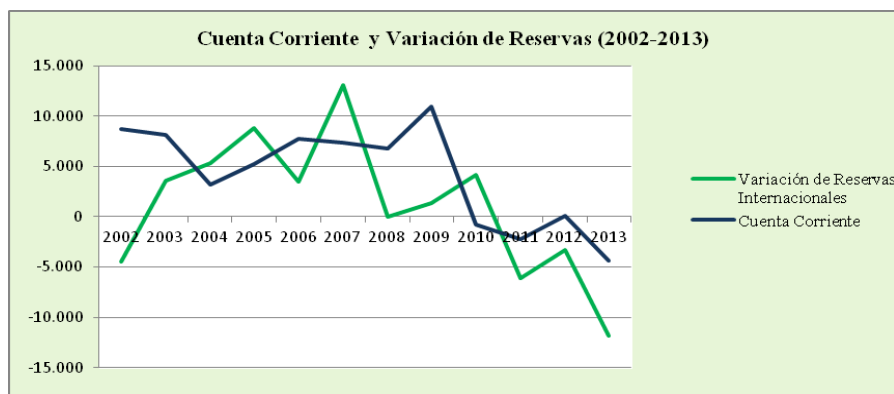
Gráfico 4. Evolución de la importación de energía en Argentina



Fuente: INDEC

En la actualidad, a dos años de la expropiación, el déficit energético se mantiene. En 2012 y 2013, las compras de energía al exterior ascendieron a 9.267 y 11.415 millones de dólares, respectivamente, con el consecuente impacto en la Balanza de Pagos del país.

Gráfico 5



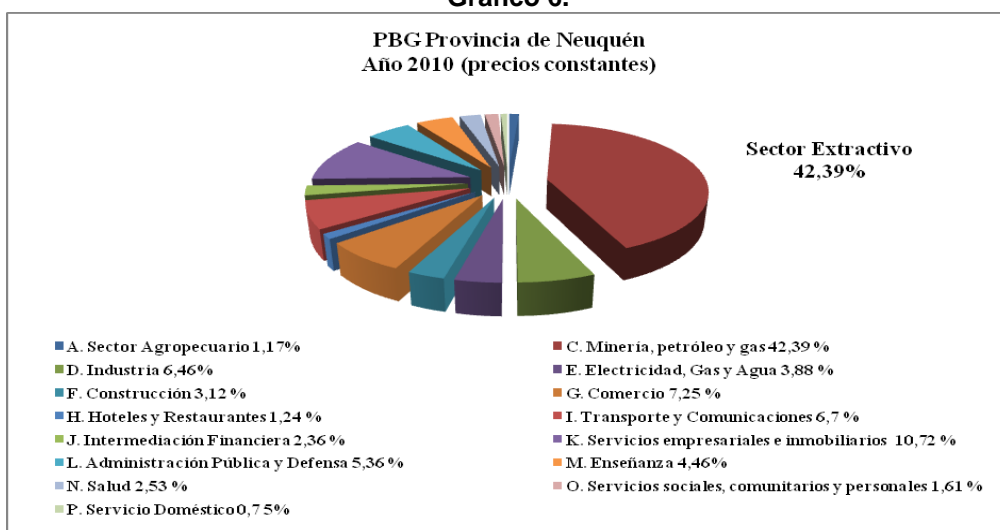
Fuente: INDEC

5.1 Impactos en Neuquén

La provincia de Neuquén forma parte de la Cuenca Neuquina, una de las más importantes del país desde el punto de vista de su actividad hidrocarburífera. La integran además, parte de las provincias de La Pampa, Río Negro y Mendoza. Es la primera en cuanto a generación de gas y segunda en cuanto al petróleo, luego de la Cuenca del Golfo de San Jorge, emplazada en Chubut y Santa Cruz.

Si bien en 1918 se descubrió petróleo en el actual territorio neuquino, la actividad en la provincia cobró intensidad con la apertura del yacimiento Puesto Hernández en 1967 y con el descubrimiento de Loma de la Lata en 1977. A partir de entonces, se fue delineando el perfil económico en torno a las actividades relacionadas con la explotación de HC, hasta alcanzar una estrecha vinculación: como se observa en el gráfico, de acuerdo a los últimos datos oficiales disponibles sobre la composición del Producto Bruto Geográfico, la participación del sector extractivo alcanza el 42,39%:

Gráfico 6.



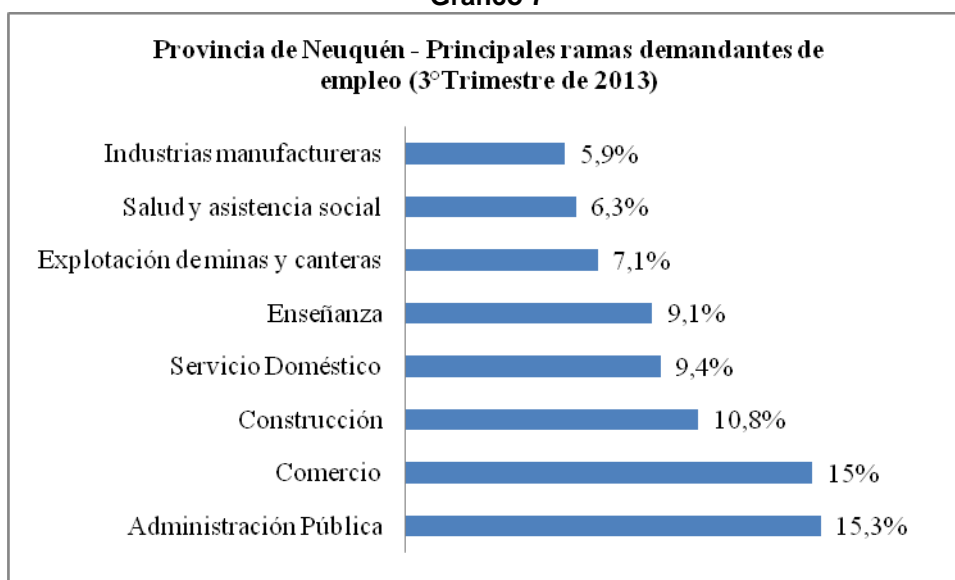
Fuente: Elaboración propia en base a datos de la DPEyC.

En la Cuenca Neuquina, al igual que en el resto del país, las actividades en el sector extractivo se desarrollan bajo la modalidad de enclave, que implica que

los vínculos económicos con otros sectores son mínimos, la demanda de empleo es escasa y los beneficios son altos, aunque fluyen fuera de la región, de acuerdo a la lógica de las concesionarias multinacionales.

El siguiente cuadro refleja un relevamiento de la Dirección Provincial de Estadística y Censos que describe la estructura de empleo de la provincia. Puede observarse que el sector de Minas y Canteras –que incluye básicamente a la Explotación de Hidrocarburos- ocupa el sexto lugar de la lista, con el 7,1% de los trabajadores de Neuquén. La principal fuente de empleo es la Administración Pública con el 15,3%, porcentaje que se acrecienta si se adicionan los empleos generados por los respectivos servicios públicos de salud y educación, reflejados por separado en este estudio. Puede percibirse la relevancia del empleo público en estos guarismos y la escasa relevancia de la actividad extractiva (7,1%), en relación a su participación en el PBG (42,39%).

Gráfico 7



Fuente: Dirección Provincial de Estadística y Censos – Provincia de Neuquén

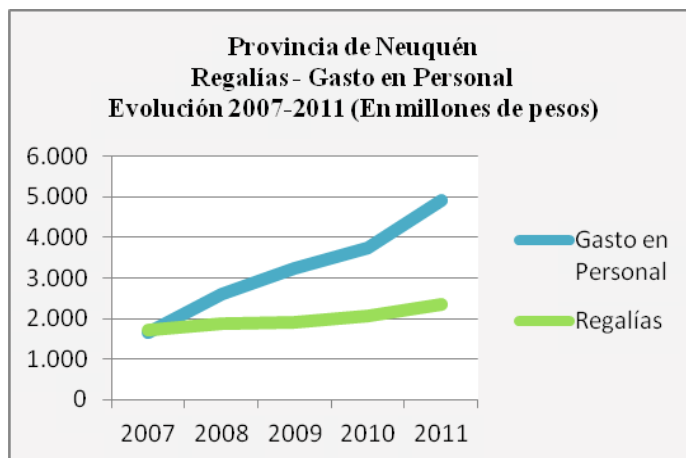
La necesidad de dar respuestas en un mercado laboral con insuficiente demanda y las recomposiciones del poder adquisitivo en etapas inflacionarias impulsan persistentemente la masa salarial, que paulatinamente se ha convertido en el principal componente del Gasto del Estado Neuquino.

Los ingresos presupuestarios con los que el Estado Provincial cuenta para hacer frente a sus compromisos se desagregan en Impuestos Nacionales que percibe a través de la Coparticipación Federal, Impuestos Provinciales, Regalías y otras fuentes agrupadas en la categoría Otros Ingresos. Las Regalías constituyen la contraprestación obtenida por la explotación del petróleo y el gas y representan el 12% del valor de los HC extraídos (sólo en el caso de las áreas renegociadas en la última ronda de tratativas, la provincia recibe un 3% extra en concepto de “canon extraordinario de producción”).

La declinación de la extracción afectó al conjunto de Cuencas hidrocarburíferas de Argentina y de manera especial a la Cuenca Neuquina, con YPF -controlada por Repsol hasta 2012- como principal operadora. Las regalías en Neuquén pasaron de representar el 46% de los ingresos corrientes en 2007 a menos del

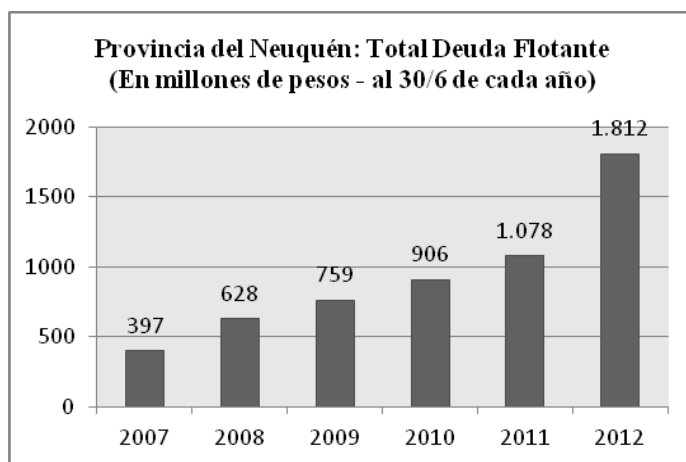
25% en la actualidad, circunstancia que impactó en las finanzas públicas ocasionando serias dificultades para cumplir con los compromisos del Estado y confluyó en la profundización del endeudamiento, que a esta altura se ha convertido en otra de las variables inherentes al modelo.

Gráfico 8



Fuente: Elaboración Propia en base a datos del Ministerio de Economía y Obras Públicas de Neuquén

Gráfico 9



Fuente: Elaboración Propia en base a datos del Ministerio de Economía y Obras Públicas de Neuquén

5.2 Perspectivas

La dirigencia política de Neuquén ha reconocido la necesidad de instrumentar un proceso de reconversión y ha anunciado proyectos de diversificación productiva, aunque en general en etapas pre-electorales o en períodos de bajos precios del petróleo. Algunos ejemplos son “Estrategias para el Desarrollo” (1991), “Neuquén 2020” (1996), el Plan Productivo Provincial (2009-2018). También se han creado instituciones que enunciaban el objetivo de la diversificación productiva, como el IADEP (Instituto Autárquico de Desarrollo Productivo), el Cepyme (Centro de Promoción y Desarrollo para la Pequeña y Mediana Empresa) o el propio Banco Provincia del Neuquén. Ninguna de estas propuestas ha logrado el objetivo enunciado, teniendo en cuenta la actual composición del PBG neuquino y la estrategia del gobierno, ejercido por el Movimiento Popular Neuquino desde hace más de 50 años, apunta a aumentar los ingresos por regalías, a partir de la explotación de los denominados HCNC, entrampados en el interior de las formaciones geológicas Vaca muerta y Los Molles, en la Cuenca Neuquina. No se trata de recursos nuevos; la existencia de los HCNC es ampliamente conocida aunque su extracción era inaccesible hasta que el avance tecnológico hizo posible la combinación de los métodos de fractura hidráulica y perforación horizontal.

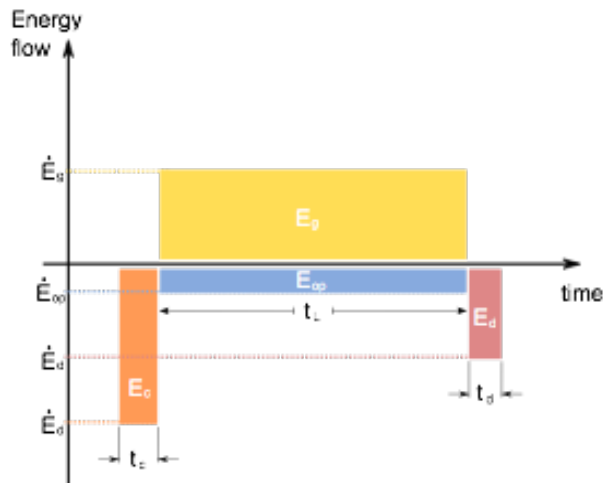
5. Flujos biofísicos principales

5.1 Energía

La idea generalmente aceptada de que la eficiencia es una relación entre "salidas" ("output") y "entradas" ("input") puede aplicarse tanto a procesos de extracción como de utilización energética (Fig. 2). Para analizar esa relación considerando la "ganancia" neta de energía desde el primero de estos puntos de vista, se han desarrollado un conjunto de índices (Murphy, Hall, 2010). Entre ellos, el más difundido es la Tasa de Retorno Energético (TRE) o EROI (por la sigla en inglés de “Energy Return on Energy Investment”). El EROI se define como la cantidad de energía obtenida en un determinado proceso de extracción, o “producción” de energía, en relación con cuanta energía fue empleada para ello y, tal definición, engloba varias posibilidades metodológicas cuyo desarrollo aun se está profundizando (Murphy, Hall, 2010; Murphy et al, 2011).

A comienzos del siglo pasado, la TRE del petróleo estadounidense se estimaba en una relación de 100:1; en cambio, actualmente, ronda el 10% de ese valor (Gupta, Hall, 2011). Para el petróleo no convencional, las estimaciones de TRE se aproximan a 2:1 (Cleveland, O’Connor, 2011). Para los casos mencionados, esas relaciones de retorno energético indican que mientras que en los primeros emprendimientos extractivos se utilizaba un barril de petróleo para obtener 100 barriles, en algunos yacimientos no convencionales se estaría empleando la energía equivalente a un barril para obtener apenas el doble de esa cantidad.

Figura 2. Flujos energéticos



Fuente: Murphy *et al* 2011. E_c (energía empleada en construcción de infraestructuras para la extracción), E_{op} (energía asociada con la operación de los equipos tanto de extracción como de procesamiento), E_d (energía de distribución), E_g (energía "producida"); en el esquema se suponen flujos constantes.

De ser así, para extraer una misma cantidad de energía, se utilizaría una cantidad cinco veces mayor de combustible fósil, lo cual multiplicaría los impactos sobre la biosfera sin que ello represente una mayor disponibilidad de energía (de hecho, si se considerara generar algún posible empleo o tecnología de remediación, el sistema requeriría aumentar aún más el consumo de energía).

Un aspecto a considerar en relación con las estimaciones de rendimiento energético es que el EROI o la TRE son índices que agregan información, en referencia a un determinado sistema energético. Para cada sistema energético, independientemente de que la producción corresponda a uno o más tipos de energía, se emplea una combinación de cantidades y calidades de energía que para agregarse deben expresarse en una unidad común (Cleveland, 2005). Conocer en detalle cómo se compone la inversión energética, además de proveer información sobre eficiencia y sustentabilidad (Hall, Balogh, Murphy, 2009), permite evaluar en mejores condiciones las estimaciones de reservas y las posibilidades reales de desacoplamiento de los diferentes tipos de energía.

Para poder analizar los flujos de energía asociados con la extracción de HCNC en Neuquén, el paso previo es definir claramente cuál es el sistema a estudiar y en qué horizonte temporal se estudiará. En relación con la definición del sistema, un primer paso es identificar cada componente de la cadena energética. La obtención de HC incluye varios pasos que integran los procesos de *upstream* (trabajos de prospección y extracción) y *downstream* (integra actividades de transporte, elaboración, distribución y comercialización) (Giuliani, 2013). Luego de contabilizar los flujos de energía utilizados en cada paso, se estimaría la cantidad de energía obtenida en determinado horizonte temporal. Para esto último se podrían utilizar curvas de producción simuladas en función de diferentes parámetros (Clarkson, 2013). Una dificultad para el análisis energético deriva de que la información suele estar dispersa e incompleta y se presenta a di-

ferentes escalas. Aquí se presenta un ejemplo de estimación para el *upstream*, considerando sólo el combustible líquido que eventualmente se emplearía.

Consideremos un pozo no convencional en Loma de la Lata⁷ (Neuquen). En ese caso la perforación completa toma entre 30 y 45 días, la roca generadora puede alcanzar unos 520 metros de espesor (Chiapussi, 2014). Para estimar la cantidad de energía empleada en la perforación cabe considerar dos flujos. Por un lado, y más fácil de calcular, está el “consumo” directo derivado de la construcción de la plataforma y la operación de los equipos de excavación vertical y perforación horizontal, lo cuál incluiría también la energía empleada para trasladar cada uno de los componentes de la estructura, máquinas, operarios e insumos a utilizar.

Entre los insumos más utilizados se destacan alrededor de mil metros cúbicos de agua para lodos de perforación y según el Decreto 1483/12 unos quince mil metros cúbicos de agua para la fracturación. Si se considera que la utilización de agua subterránea apta para uso domestico o irrigación, se prohíbe mediante el Decreto mencionado la energía directa que se asocia con este insumo corresponde con el combustible empleado para captar desde aguas superficiales y trasladar el agua hasta el sitio de utilización.

Por otra parte, cabría contabilizar la cantidad de energía indirecta que podría asociarse con la perforación de ese pozo. Ejemplo de ella, serían: la energía del trabajo humano, la energía utilizada para fabricar cada una de las máquinas necesarias para construir y hacer funcionar la plataforma. En un nivel previo, se contabilizarían: los alimentos consumidos por los operarios, la energía usada para producir cada una de las piezas integradas en los equipo e incluso la que correspondiera a la extracción y transformación de los materiales necesarios para ello. Claro está que en cada caso corresponde ponderar en función de la vida útil y actividad total de la maquinaria (los equipos de perforación se trasladan de pozo en pozo).

De igual manera que para las fases mencionadas, se continuaría con i) la instalación de los revestimientos (entubado o casing), cementación y válvula de cierre, ii) el “punzado” (cañón con cargas y luego con cuñas-tapón, equipo para descenso y ascenso de ambos, cinco veces), iii) captación, traslado y disposición de agua, iv) traslado y disposición de unas 40 piletas de unos 80 m³ de capacidad, v) traslado de aditivos químicos y arenas (unos 750 m³, alrededor de 50 camiones⁸), vi) dos tambores para mezcla de aditivos, vii) diez equipos de bombeo trabajando simultáneamente, cada línea bombeando unos 20 barriles por minuto (Chiapussi, 2013) durante unas tres a cinco horas (Ramos, 2012). Los pasos ii a vii podrían repetirse al cabo de unos cinco años (Chiapussi, 2013).

⁷ El desarrollo del área de Loma de La Lata norte-Loma Campana (formación Vaca Muerta, Neuquén), lleva perforados más de 100 pozos y prevé alcanzar 200 en unos 20 km². Esto completaría una fase inicial con vistas a perforar un área mayor de 395 km con unos 1500-2500 pozos. YPF tiene un área asignada en esa formación de 12.075 km² si se perforara con la intensidad del área piloto, ello supondría más de 45.000 pozos. Cifra de similar orden de magnitud que la que se perfora actualmente en EEUU.

⁸ Suplemento de Energía, La mañana de Río Negro, 16/11/2013.

En cuanto a la metodología adecuada para realizar tales estimaciones, el trabajo de Murphy *et al* (2011) constituye una propuesta para unificar la cuantificación con vistas a poder comparar análisis y recomendaciones. Un interrogante clave (aún no contemplado en la presente investigación) corresponde con la conversión de unidades de energía para una adecuada homogeneización que permita su contabilidad. Ello no sólo arrojaría luz sobre la energía neta obtenida sino que facilitaría identificar eventuales desajustes en la sustitución.

Como primer esbozo del flujo de energía (E_c y E_{op} parciales) para el caso de Neuquén consideremos ¿cuánto gasoil se requeriría para extraer gas natural no convencional? Según una investigación reciente, la cantidad de combustible diesel empleada en la perforación de pozos de *shale gas* se aproximaría a los 2046 litros/día (Sell, Murphy, Hall, 2011). Si se tiene en cuenta que la cantidad de días empleados en esa etapa en Loma de La Lata es de unos 30 a 45 días (Chiapussi, 2013), el consumo de gasoil durante esa fase podría alcanzar entre 61.380 y 92.070 litros sólo para la perforación de cada pozo. Si el transporte de equipos fuera similar al estimado para Marcellus (Aucott, Melillo, 2013), podría suponer unos 22.304 litros de gasoil adicionales por cada pozo.

A ello se sumaría la cantidad de gasoil necesaria para transportar los 15.000 metros cúbicos de agua a través de 50 km, empleando camiones cisterna de 40 toneladas. Considerando 375 viajes y un consumo de combustible de 32 litros por cada 100 km (Marchese, Golato, 2011). Así, se agregarían unos 6000 litros de gasoil para el traslado de agua. Si se agrega el combustible líquido que se requiere para trasladar unas 750 toneladas de arena y aditivos de fractura mediante 50 camiones desde el puerto de Buenos Aires⁹. Lo mismo cabría hacer para las piletas, cañones de punzado y otros equipos que actualmente se importan¹⁰. En principio el transporte terrestre parecería ser el que incide en mayor medida, cabe verificar si ello es así dado que la actividad involucraría también el traslado de miles de toneladas de materiales desde sitios distantes a varias decenas de miles e kilómetros.

Consideremos tres escenarios. Uno de ellos surge del análisis realizado por Di Sbroiavacca (2013) y propone que para alcanzar el autoabastecimiento energético en Argentina (AEA1), habría que perforar unos 1500 pozos no convencionales por año. De esa manera se podría abastecer un consumo de gas natural que crecería desde casi 50 mil millones de metros cúbicos en 2012 hasta 126 mil millones de metros cúbicos en 2050 (tasa de crecimiento anual de 2,4%, Di Sbroiavacca, 2013). El otro escenario, considera que para el año 2010 el consumo anual en EEUU era de alrededor de 650 mil millones de metros cúbicos de gas y que para obtener el 40% de esa cantidad (260 mil millones de m³) se perforaban unos 35.000 pozos por año (EPA, 2011). En función de ello, un consumo de gas como el que actualmente se verifica en Argentina podría obtenerse perforando unos 6.730 pozos no convencionales (AEA2). Esa cifra

⁹ Actualmente, la arena utilizada proviene de Brasil, China y EEUU; no sólo es un insumo clave sino que representaría un 30% de los costos monetarios de la hidrofractura (http://www.rionegro.com.ar/diario/en-busca-de-arena-con-sello-nacional-2010117-10948-notas_energia.aspx). Sólo el trayecto desde Buenos Aires hasta Añelo implica una distancia en ruta de 1200 km.

¹⁰ <http://www.neuquen.com.ar/energia/13840-el-sector-petrolero-podria-sustituir-importaciones-por-us-475-millones.html>

ascendería a 15.000 (AEA3) en 2.050 (usando la misma tasa de crecimiento en el consumo interanual argentino). En la Tabla 1 se estima el consumo correspondiente a cada escenario.

Los motivos para la magnitud de la divergencia en las estimaciones son numerosos. Tal como señala Di Sbroiavacca (2013), sólo se conoce cuánto hidrocarburo se puede extraer en el momento de abandonar un pozo. El escenario de AEA1 se corresponde con una estimación de tasas de recuperación y declive que combinan datos de pozos verticales y horizontales en Vaca Muerta y los cotejan con el desempeño de esos parámetros en otros pozos de EEUU. En cambio, para los AEA2 y 3 se asume que el desempeño de la extracción no convencional en Neuquén sería similar al promedio norteamericano. En el primer caso se destaca que el número de pozos evaluados es mínimo en comparación con la población que se proyecta perforar. En cambio en relación con el segundo y tercero, cabe mencionar que las características de los pozos no son homogéneas ni coinciden en su totalidad con las formaciones de *shale* argentinas. De hecho si se considera la profundidad de los yacimientos, la mayor accesibilidad en EEUU sugiere que la inversión energética sería menor para obtener el mismo retorno. Adicionalmente, la relación entre pozos perforados y consumo total podría resultar más acertada para considerar en forma indiscriminada parte del retorno energético¹¹.

Cuadro 1. Cantidad de litros de gasoil utilizados en la extracción de HCNC.

	Litros/pozo	AEA1 (1500pozos)	AEA2 (6730 pozos)	AEA3 (15.000pozos)
Perforación t30	61380	92070000	413087400	920700000
Perforación t45	92070	138105000	619631100	1381050000
Transporte equipos	22304	33456000	150105920	334560000
Transporte insumos	61380	92070000	413087400	920700000
Total t30	145064	217596000	976280720	2175960000
Total t45	175754	263631000	1182824420	2636310000

Fuente: elaboración propia

Considerando que el precio del gasoil en Argentina es de 1,44 dólares por litro (GlobalPetrolPrices.com, 2014), el escenario intermedio supondría un costo monetario de más de 1.400 millones de dólares. Si se tiene en cuenta que el país no se auto abastece de gasoil y que el déficit energético se aproximó a los u\$s 6.000 millones durante 2013, las importaciones previstas podrían agravar la situación, al menos hasta que la balanza se compense debido a las menores

¹¹ Estudios recientes evidencian que cerca del 10% del gas natural extraído se utiliza *in-situ* sólo en el acondicionamiento del gas. Adicionalmente, las curvas de recuperación teóricas sobreestiman el rendimiento del pozo en función de las tasas de declive.

importaciones de gas natural. Perforar los 2500 pozos previstos en el acuerdo entre YPF y Chevron, podrían implicar que en el corto plazo el desbalance aumente un 10% adicional.

5.2 Agua

Para la extracción de petróleo no convencional en EEUU se utilizan, sólo en forma directa, entre uno y tres barriles de agua por cada barril de HC (Cleveland, O'Connor, 2011). En el Cuadro 2, además de presentar algunas características de los reservorios NC actualmente en explotación, se indican las cantidades de agua de fractura empleadas en cada caso. Para la extracción de HCNC en Neuquén, el Decreto 1483/12 prevé la utilización de 15.000 m³ por pozo fracturado. Ese volumen llama la atención por su precisión y por el límite que implica, ya que en experiencias previas, como la del pozo 570 de Loma de la Lata se habrían empleado 20.000 m³ en una multifractura y en una publicación reciente se indica que es previsible que los pozos de Vaca Muerta se fracturen una segunda vez al cabo de cinco años de producción (Chiapussi, 2013). En ese caso se utilizarían 30 millones de litros de agua, el doble de lo previsto en el Decreto pero la misma cantidad que ha usado Apache en el ACO.xp-2001h a 20 km de Zapala (Neuquén) (Scandizzo, 2013).

Cuadro 2. Características de diferentes reservorios de HCNC y agua utilizada en cada caso

	Barnett	Marcellus	Haynesville	Eagle Ford	Vaca Muerta
Superficie (km²)	13.000	250.000	23.000	5.000	30.000
Profundidad (km)	2,0-2,6	1,2-2,6	3,2-4,2	1,2-4,2	2,0-3,5
Porosidad (%)	4,0-5,0	10,0-11,0	8,0-9,0	4,0-15	4,0-12,0
Espesor (m)	60-90	30-120	60-90	20-150	30-550
Agua para fracturación (m³)	10.456	17.275	12.275	¿?	¿15.000?

Fuente: Elaboración propia en base a datos publicados por Askenazi (2013) y EPA (2011).

En una investigación reciente (Scatizza *et al*, 2013), se indica que la cantidad mencionada en el Decreto incluiría requerimientos para perforación y fracturación pero no se justifica la afirmación. En base a ello, el escenario AEA1, implicaría el uso directo de unos 22.500.000 m³/año (22,5 hm³ anuales) y un requerimiento de 0,71 m³/s. En el Cuadro 3, se presentan las estimaciones correspondientes a los tres escenarios mencionados anteriormente y se comparan con los caudales de los ríos Limay, Neuquén y Colorado en función de la información presentada por Scatizza *et al* (2013).

Cuadro 3. Caudales versus requerimiento hídrico directo para posibles escenarios de autoabastecimiento energético.

	Limay	Neuquén	Colorado
Módulo anual (m3/s)	650	280	140
Volumen anual (hm3)	20.498	8.830	4.415
Volumen diario (hm3)	56,1	24,1	12
% respecto a una requerimiento del AEA1	0,11	0,26	0,51
% respecto a una requerimiento del AEA2	0,49	1,14	2,29
% respecto a una requerimiento del AEA3	1,1	2,6	5,1

Fuente: elaboración propia en base a datos publicados por (Scatizza, 2013)

Si se suman los caudales de los tres ríos mencionados, se alcanzarían anualmente unos 33.743 hm³. Al estimar los requerimientos hídricos directos en función de ese caudal conjunto, el porcentaje afectado sería del 0.067% para el AEA1. Es llamativo que esa cifra coincida con la que se indica en el Decreto 1483/12 para la estimación del requerimiento de perforación, dado que en ese caso se consideran 2500 pozos en cinco años.

De todas maneras, las estimaciones de los requerimientos en función de caudales medios pueden considerarse en términos muy preliminares ya que se trata de aguas superficiales con importante variabilidad estacional. Ello se evidencia, por ejemplo, para el río Neuquén y los caudales medidos en la localidad de Paso de Indios (cercana a Añelo y los pozos no convencionales). En ese caso la media anual, se establece en 314 m³/s, cifra algo superior a la mencionada en el trabajo de Scatizza (2013) pero con una desviación típica de 296 m³/s para la serie 1969-2006 (Giovanardi, 2010). Con lo cuál extracciones de agua que representan muy bajos porcentajes en el total anual podrían constituir proporciones significativas cuando el río alcanza caudales mínimos.

Para contabilizar los flujos hídricos indirectos, podrían emplearse los indicadores de Agua Virtual (AV) y Huella Hídrica (HH). El concepto de AV (Allan, 1993) estima la cantidad de agua contenida en cualquier producto o servicio, incluyendo aquella utilizada en producirlo. La metodología de cuantificación para el AV fue desarrollada por Hoekstra (2003) y suele asimilarse con la de HH (aunque ésta última se supone integra el requerimiento hídrico de transporte de bienes). El presente trabajo excede contabilizar el AV o la HH de la extracción de HCNC pero es de interés mencionar que en investigaciones posteriores ello podría estimarse en función del conocimiento de las cantidades de agua requere-

ridas tanto en *upstream* (para la construcción de todos los equipos e infraestructuras utilizadas en la perforación, fractura, disposición, tratamiento, inyección, reutilización, etc.) como en *downstream* (materiales y equipos de acondicionamiento/transporte, disposición, etc.).

Adicionalmente, el conocimiento de la tasa de retorno energético de la extracción no convencional también permitiría considerar la cantidad de agua tanto en relación con la energía obtenida como considerando los volúmenes necesarios para extraer la energía empleada para ello. Huelga mencionar que tales estimaciones no se tienen en cuenta actualmente y que considerando los eventuales bajos EROI asociados con los HCNC ello supondría requerimientos hídricos muy superiores a los que se están difundiendo. En función de anterior, para un EROI de 2:1, los flujos hídricos directos se incrementarían un 50%. En ese caso, también es posible que ocurran “trasvases virtuales” entre cuencas eventualmente distantes.

En Neuquén, el agua se considera “un insumo barato” para las petroleras, ya que éstas pagarían un peso por cada 1000 litros utilizados¹². Para los 15.000 m³ de agua, utilizados en cada pozo, se pagarían unos 15000 pesos argentinos. Actualmente, la captación de agua estaría localizada a unos 50-60 km de la zona dónde se está perforando. Sólo considerando el costo de los 6.000 litros de gasoil necesarios para trasladar el agua en camiones se gastarían alrededor de 60.000 pesos, cifra cuatro veces superior a la eventualmente pagada por el agua utilizada.

6- Reflexiones finales

La extracción de HCNC no es una alternativa para resolver la dependencia de fuentes energéticas no renovables. Lejos de constituir parte de una estrategia de transición energética podría agravar los problemas de contaminación, especialmente en relación con los recursos hídricos. Este aspecto, se suma a la magnitud de la inversión energética asociada con la actividad. Cabe mencionar que la energía así utilizada queda indisponible tanto para realizar las actividades que requiere la ineludible transición hacia fuentes renovables como para poner en marcha acciones de mitigación de daños sociales y ambientales. Así, actividades como depuración de aguas, remediación de contaminación y restricción de emisiones, quedarían sujetas tanto a los límites ortodoxos en función de costos y rentabilidad, como a límites físicos en términos de energía neta disponible.

Para el caso de Argentina, cabe profundizar el análisis a diferentes escalas e incluyendo expresamente aquellos componentes de los flujos que aquí se omitieron y mejorando las estimaciones en función de información más ajustada al contexto. Aún así, nuestro trabajo muestra con claridad la importancia de abordar el *fracking* desde una perspectiva sistémica ya que la problemática que la

¹² http://www.rionegro.com.ar/diario/un-insumo-barato-para-las-petroleras-1399200-10948-notas_energia.aspx

aplicación tecnológica pretende solucionar no se circunscribe a una única dimensión. Quizás de forma más notoria que en otros ámbitos económicos, las cuestiones de soberanía energética permiten dar visibilidad a las interconexiones entre los flujos monetarios y sus equivalentes energéticos-materiales.

7- Referencias bibliográficas.

- Aguilera F, Alcántara V. (Comp.). 1994. "De la economía ambiental a la economía ecológica". Madrid: Icaria-Fuhem.
- Askenazi, A, Biscayart, P, Cáneva, M, Montenegro, S, Moreno, M. 2013. Analogía entre la Formación Vaca Muerta y Shale Gas/Oil Plays de EEUU.
- Aucott, M, Melillo, J. 2013. A preliminary energy return on investment analysis of natural gas from the Marcellus shale. *Journal of Industrial Ecology*. 1-12.
- Berkes, F., & Folke, C. 1998. Linking social and ecological systems for resilience and sustainability. *Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience*, 1-25.
- Brantley, S, Yoxheimer, D, Arjmand, S, Grieve, P, Vidic, R, Pollack, J, Llewellyn, G, Abad, J, Simon, C. 2014. Water Resource Impacts during Unconventional Shale Gas Development: the Pennsylvania Experience, *International Journal of Coal Geology*, doi: 10.1016/j.coal.2013.12.017
- Capra, F. 1992. El punto crucial: ciencia, sociedad y cultura naciente. Editorial Pax México.
- Carbonell, E. M. 2012. Marco jurídico de la extracción de hidrocarburos mediante fractura hidráulica (Fracking). *Revista Catalana de Dret Ambiental*, 3(2): 1-43.
- Clarkson, C. 2013. Production data analysis of unconventional gas wells: Review of theory and best practices. *International Journal of Coal Geology* 109-110: 101-146.
- Cleveland, C.J. 2005. Net energy from the extraction of oil and gas in the United States. *Energy*, 2005, vol. 30, no 5, p. 769-782.
- Cleveland, C. J., O'Connor, P. A. 2011. Energy return on investment (EROI) of oil shale. *Sustainability*, 3(11), 2307-2322.
- Conferencia para las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (CNUCD). 2013. Don't blame the physical markets: Financialization is the root cause of oil and commodity price volatility. *Policy Brief Nro. 25*.
- Cotarelo, P (Coord). 2012. *Agrietando el futuro. La amenaza de la fractura hidráulica en la era del cambio climático*. Libros en Acción. Madrid.
- Decreto 1483/12 (Neuquén, Argentina). Disponible en: http://fracking.cedha.net/wp-content/uploads/2013/09/D1483-12_uso-agua-yac.-no-conv..pdf (Acceso 16/06/2014)
- Durán, R. F. 2008. *El crepúsculo de la era trágica del petróleo: pico de oro negro y colapso financiero (y ecológico) mundial*. Virus Editorial. Madrid.
- Friedmann, J. 2013. *Fracking: Formulation of Appropriate State Regulation Of Waste Disposal*. Thesis Master of Science in Geology, department of Earth and Environmental Sciences, The University of Michigan. Disponible en: http://pocarisweat.umdl.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/97755/Friedmann_Joey_MS_2013.pdf?sequence=1 Acceso el 22 de marzo de 2014.
- Funtowicz, S, Ravetz, J. 1991. "A new scientific methodology for global environmental issues". In: R. Costanza (Ed), *Ecological Economics: the Science and Management of Sustainability*. New York: Columbia University Press.

Giovanardi, F. 2010. Caudal ecológico del río Neuquén: un enfoque hidrológico. VI Congreso argentino de presas y aprovechamientos hidroeléctricos. Neuquén, 3 al 6 de noviembre de 2010.

Giuliani Adriana. 2013. Gas y Petróleo en la economía neuquina, Educo, Neuquén.

Gupta, A., Hall, C. 2011. A review of the past and current state of EROI data. *Sustainability*, 3(10), 1796-1809.

International Energy Agency (IEA). 2011. Are we entering a golden age of gas? World Energy Outlook 2011 | Special Report.
http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2011/WEO2011_GoldenAgeofGasReport.pdf

Helbling, T. 2013. En alza: los altos precios y las nuevas tecnologías han propiciado un fuerte aumento de la producción de petróleo y gas en Estados Unidos que podría cambiar radicalmente los mercados energéticos mundiales. *Finanzas y desarrollo: publicación trimestral del Fondo Monetario Internacional y del Banco Mundial*, 50(1), 34-37.

Howarth, R. W., Ingraffea, A., Engelder, T. 2011a. Natural gas: Should fracking stop? *Nature*, 477(7364), 271-275.

Howarth, R. W., Santoro, R., Ingraffea, A. 2011b. Methane and the greenhouse-gas footprint of natural gas from shale formations. *Climatic Change*, 106(4), 679-690.

Hubbert, M.K. 1956. Nuclear Energy and the Fossil Fuels; Presented at the American Petroleum Institute, Spring meeting of the Southern District, Division of Production; Shell Development Co.: San Antonio, TX, USA, en: Brecha, R. J. (2013). Ten Reasons to Take Peak Oil Seriously. *Sustainability*, 5(2), 664-694.

Jackson, R. B., Vengosh, A., Darrah, T. H., Warner, N. R., Down, A., Poreda, R. J., Karr, J. D. 2013. Increased stray gas abundance in a subset of drinking water wells near Marcellus shale gas extraction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(28), 11250-11255.

Kapp, K.W. 1950. Los costes sociales de la empresa privada (antología). Los libros de la catarata, Madrid (Ed. 2006).

López R, Sevilla E. 2010. "Los desafíos para sostener el crecimiento: el balance de pagos a través de los enfoques de restricción externa", Documento de trabajo N°32, Centro de Economía y Finanzas para el Desarrollo de Argentina (CEFIDAR), Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Mansilla D, Perrone G. 2010 *Energía en Argentina, Evolución reciente, actualidad y perspectivas*, Documento Técnico N° 1, Centro de Estudios Económicos y Monitoreo de las Políticas Públicas, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Marchese, R, Golato, M. 2011. "El consumo de combustible y energía en el transporte". Extensión 33. *Revista de la Fac. de Cs. Exactas y Tecnología*, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina. Acceso el 30/5/2014:
<http://www.herrera.unt.edu.ar/revistacet/ultimonro/nro33/pdf/n33ext02.pdf>

Martínez-Alier, J. 2005. "El ecologismo de los pobres. Conflictos ambientales y lenguajes de valoración". Barcelona: Icaria.

Mooney, C. 2011. The truth about fracking. *Scientific American*, 305(5), 80-85.

Murphy, D, Hall, Ch, Dale, M, Cleveland, C. 2011. Order from Chaos: A preliminary protocol for determining the EROI of fuels. *Sustainability*, 3(11), 1888-1907.

Naredo, J. M. 2006. Raíces económicas del deterioro ecológico y social: más allá de los dogmas. Siglo XXI de España Editores.

Portero, J. G. 2012. Hidrocarburos no convencionales (I): Conceptos básicos, historia, potencialidad y situación actual. Tierra y tecnología: revista de información geológica, (41), 28-32.

Ramos, P. 2012. En qué consiste la Fractura hidráulica. En Cotarelo (2012).

Rahm, B, Bates, J, Bertoia, L, Galford, A, Yoxtheimer, D, Riha, S. 2013. Wastewater management and Marcellus shale gas Development: Trenes, drivers and planning implications. Journal of Environmental Management 120: 105-113.

Ramos, J. 2003 "La perspectiva biofísica del proceso económico: Economía Ecológica" en F Falconi, M. Hercowitz, R. Muradian (Eds.) (2004): Globalización y Desarrollo en América Latina. FLACSO, Quito, Ecuador, pp. 19/47.

Scandizzo, H. 2013. Fracking para el modelo. Fractura expuesta 2: Invasión fracking. Observatorio Petrolero Sur, Buenos Aires. 44 p.

Stephenson, E, Shaw, K. 2013. A dilemma of abundance: governance challenges of reconciling shale gas development and climate change mitigation. Sustainability, (5), 2210-2232.

Urresti, A., Marcellesi, F. 2012. Fracking: una fractura que pasará factura. Ecología Política, nº43.

•

8- Sitios web

Sitio oficial de la Dirección de Estadísticas y Censos de Neuquén: www.estadisticaneuquen.gob.ar

Sitio oficial del Ministerio de Economía y Obras Públicas de Neuquén: <http://w2.neuquen.gov.ar>

Sitio oficial de la Provincia de Neuquén: www.neuquen.gov.ar/

Sitio oficial de la Secretaría de Energía de la Nación: www.energia.gov.ar/

Sitio oficial del Instituto Nacional de Estadísticas y censos

c): <http://www.indec.mecon.ar/>