



---

**Universidad de Valladolid**

**Facultad de Ciencias Económicas y  
Empresariales**

**Máster en Desarrollo Económico  
Regional y Local y Gestión del  
Territorio**

**Transiciones socioeconómicas hacia  
modelos no dependientes del  
petróleo**

Presentado por:

***Jaime Nieto Vega***

Tutelado por:

***Óscar Carpintero Redondo***

*Valladolid, 1 de julio de 2014*

<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>6</b>
<b>2. LAS TRANSICIONES COMO OBJETO DE ESTUDIO</b>	<b>12</b>
<b>2.1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>12</b>
<b>2.2. DEFINICIÓN Y ENFOQUES ANALÍTICOS DE LAS TRANSICIONES</b>	<b>14</b>
2.2.1. LA PERSPECTIVA MULTI-NIVEL	15
2.2.2. GESTIÓN DE NICHOS ESTRATÉGICOS, GESTIÓN DE TRANSICIONES, SISTEMAS DE INNOVACIÓN Y PARADIGMA TECNOECONÓMICO.	19
2.2.3. EL ENFOQUE SOCIOMETABÓLICO	21
<b>2.3. LAS TRANSICIONES SOCIOMETABÓLICAS</b>	<b>25</b>
<b>3. EL TECHO DEL PETRÓLEO.</b>	<b>35</b>
<b>3.1 DEMANDA</b>	<b>36</b>
3.1.1. USOS DEL PETRÓLEO	36
3.1.2. ESTRUCTURA DE LA DEMANDA	38
<b>3.2. OFERTA</b>	<b>40</b>
3.2.1. ESTRUCTURA DE LA OFERTA	40
3.2.2. EVOLUCIÓN TEÓRICA (CURVA DE HUBBERT)	42
3.2.3. CARACTERÍSTICAS DEL DECLIVE	43
<b>4. ESTUDIO DE LAS TRANSICIONES</b>	<b>50</b>
<b>4.1. ANÁLISIS DE LAS EXPERIENCIAS DE TRANSICIONES POST-PETRÓLEO.</b>	<b>50</b>
<b>4.2. MARCO DE ESTUDIO</b>	<b>56</b>
<b>4.3. ANÁLISIS DE LOS INFORMES Y CLASIFICACIÓN.</b>	<b>59</b>
4.3.1. INTENSIDAD DEL CAMBIO DE MODELO.	60
4.3.2. DISTRIBUCIÓN DE LOS COSTES DURANTE LA TRANSICIÓN	65
4.3.3. OPTIMISMO TECNOLÓGICO	70
4.3.4. ENFOQUE DE GESTIÓN ENERGÉTICA	76
4.3.5. SUSTITUCIÓN DE LAS ENERGÍAS NO RENOVABLES	78
4.3.6. URGENCIA DE LA TRANSICIÓN	83
<b>5. RECAPITULACIÓN Y SÍNTESIS</b>	<b>87</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>90</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>94</b>

**ÍNDICE DE CUADROS**

<b>CUADRO 1. Síntesis del enfoque socio-metabólico</b>	<b>23</b>
<b>CUADRO 2. Principales características de los enfoques sobre transiciones</b>	<b>24</b>
<b>CUADRO 3. Perfiles metabólicos históricos</b>	<b>27</b>
<b>CUADRO 4. Perfiles metabólicos por países (2000)</b>	<b>29</b>
<b>CUADRO 5. Usos del petróleo y sus derivados</b>	<b>37</b>
<b>CUADRO 6. Previsión aie (2012) de variación en el consumo de petróleo por regiones y países</b>	<b>39</b>
<b>CUADRO 7. Resoluciones sobre el peak oil de las localidades más relevantes</b>	<b>53</b>
<b>CUADRO 8. Objetivos más relevantes de las principales regiones</b>	<b>54</b>
<b>CUADRO 9. Ficha técnica de los informes</b>	<b>57</b>
<b>CUADRO 10. Ficha técnica de los informes (continuación)</b>	<b>58</b>
<b>CUADRO 11. Instrumentos de desarrollo sostenible y lucha contra el cambio climático de los planes analizados</b>	<b>60</b>
<b>CUADRO 12. Relación entre el enfoque de gestión y la posición respecto a la tecnología</b>	<b>73</b>
<b>CUADRO 13. Optimismo vs pesimismo tecnológico</b>	<b>75</b>
<b>CUADRO 14. Objetivos de reducción de emisiones y grado de cumplimiento</b>	<b>84</b>
<b>CUADRO 15. Síntesis de los informes analizados</b>	<b>88</b>

**ÍNDICE DE GRÁFICOS**

<b>GRÁFICO 1. La perspectiva multi-nivel</b>	<b>16</b>
<b>GRÁFICO 2. Etapas de las transiciones</b>	<b>22</b>
<b>GRÁFICO 3. Proporción en uso de materiales. Serie temporal</b>	<b>28</b>
<b>GRÁFICO 4. Perfiles metabólicos por países en perspectiva histórica</b>	<b>31</b>
<b>GRÁFICO 5. Brecha entre extracción y nuevos descubrimientos de petróleo</b>	<b>35</b>
<b>GRÁFICO 6. Emisiones de GEI por tipos y sectores (EE.UU. 2013)</b>	<b>38</b>
<b>GRÁFICO 7. Consumo de petróleo* (millones de toneladas) por regiones</b>	<b>39</b>
<b>GRÁFICO 8. Extracción de petróleo* (millones de toneladas) por regiones</b>	<b>41</b>
<b>GRÁFICO 9. Extracción mundial de petróleo por tipo en el escenario de nuevas políticas (AIE, 2010)</b>	<b>41</b>
<b>GRÁFICO 10. Curva de Hubbert para EE.UU.</b>	<b>42</b>
<b>GRÁFICO 11. Curvas de Hubbert de ciclos múltiples</b>	<b>43</b>
<b>GRÁFICO 12. Evolución en el descubrimiento y número de yacimientos gigantes</b>	<b>44</b>
<b>GRÁFICO 13. Coste de extracción y relación con su EROI del petróleo por tipos</b>	<b>46</b>
<b>GRÁFICO 14. Curva de oferta del petróleo</b>	<b>47</b>
<b>GRÁFICO 15. Tasa de declive de los pozos de Bakken. Extracción mediante 'fracking'</b>	<b>48</b>
<b>GRÁFICO 16. Huella ecológica de Cuba con respecto a su biocapacidad</b>	<b>51</b>
<b>GRÁFICO 17. Serie temporal de IDH de Cuba desagregado por indicadores</b>	<b>52</b>
<b>GRÁFICO 18. Mapa de experiencias post-petróleo</b>	<b>55</b>
<b>GRÁFICO 19. Posición sobre la dimensión de la transición</b>	<b>67</b>
<b>GRÁFICO 20. El efecto rebote en el consumo de gasolina</b>	<b>71</b>
<b>GRÁFICO 21. Tendencia del <i>mix</i> energético</b>	<b>77</b>
<b>GRÁFICO 22. Planes de sustitución de fuentes energéticas (demanda y oferta)</b>	<b>80</b>
<b>GRÁFICO 23. Intensidades de carbono actuales y requeridas en 2050 para alcanzar el objetivo de estabilizar las emisiones en 450 ppm</b>	<b>86</b>

### Agradecimientos

Este trabajo no podría haberse realizado sin los conocimientos adquiridos durante este Máster. A Ramiro por su trabajo diario y cercanía para coordinarlo, que no es fácil y, sobretodo, por su afán de seguir mejorándolo.

A Óscar por su dedicación, esfuerzo, guía, consejo y apoyo en todo, también en la elaboración de este trabajo.

A mi familia y a mis amigos y, en especial, a Andrea por su paciencia y apoyo.

## INTRODUCCIÓN

La preocupación por las complejas relaciones entre la economía y la naturaleza es centenaria y ya para las primeras escuelas de la economía moderna esta era una cuestión central. La industrialización y el siglo XX hicieron brotar los límites físicos con los que la economía choca obstinadamente en las variadas vías de desarrollo económico que conocieron con especial intensidad las dos pasadas centurias. Hoy, la economía se enfrenta a una encrucijada que difícilmente puede aplazarse y de la que cada vez más Gobiernos, instituciones internacionales y organizaciones civiles (ONGs, observatorios medioambientales, etc.) son conscientes. La realidad del cambio climático, por el lado de los residuos (emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases) o el agotamiento del petróleo, por el lado de los recursos, son quizá los retos medioambientales de mayor trascendencia y los principales factores limitantes a los que se enfrenta el sistema socioeconómico actual.

Las informaciones más realistas estiman que el nivel óptimo de contenido carbónico en la atmósfera debería ser el mantenido durante el Holoceno (Hansen et al. 2008). Por otro lado, el objetivo comúnmente aceptado, aunque menos prudente, es el de estabilizar la temperatura global 2°C por debajo de los niveles preindustriales. Este objetivo fue acordado en 2010 en la Conferencia de Cancún del Panel Intergubernamental contra el Cambio Climático de las Naciones Unidas (IPCC) y requeriría la rápida reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> hasta las 350 ppm. Estima Tim Jackson (2011) que para lograr el menos ambicioso objetivo de las 450 ppm se requeriría, en el más favorable de los escenarios, alcanzar en 2050 una intensidad de emisiones (emisiones respecto al nivel de PIB) *20 veces inferior a la actual*. También existe el consenso de que hacer frente a las peores consecuencias de un cambio climático que ya está en marcha, requeriría de un

descenso del 50% en las emisiones mundiales respecto a los niveles de 1990, con una reducción entre el 60% y el 90% en el caso de los países desarrollados. El asunto es grave ya que, además, habría que contar con la aparición de dinámicas irreversibles y no lineales que el cambio climático genera una vez llegados a determinados niveles que ya podrían haberse alcanzado, tal y como advertía en su último informe el IPCC (2013). Por todo ello, resulta imprescindible reducir el nivel de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), principales causantes del cambio climático. Los GEI se expresan habitualmente en toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> pero incluyen además del dióxido de carbono los otros cinco gases recogidos por el Protocolo de Kyoto: metano, óxido de nitrógeno, hidrofluorocarburos, perfluorocarburos y hexafluoruro de azufre. Tal y como subraya el Informe de la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU (2014), el peso de los combustibles fósiles (combustión, uso no energético y gas natural) representa el 80% del total de emisiones de GEI. La evidencia nos señala que el cambio climático y la extracción de petróleo son variables íntimamente ligadas y no cabe duda de que si el petróleo continúa su acelerada trayectoria hacia el agotamiento, ningún intento de luchar contra el cambio climático podrá ser tomado en serio. La voluntad de buena parte de los agentes citados previamente es la de realizar cambios en los modelos económicos de los que se alimentan estos problemas y poner en marcha una transición socioeconómica hacia modelos no dependientes del petróleo.

Por otro lado, los niveles de extracción de petróleo, necesarios para el mantenimiento de un sistema socioeconómico cuyo devenir se encuentra estrechamente ligado al del combustible fósil, han llegado recientemente a su cota máxima (International Energy Agency, 2010). Además, se da el agravante de que en el nuevo escenario de declive, el petróleo restante se encuentra sujeto a tasas de agotamiento más intensas (Höök, M., Hirsch, R. y Aleklett, K., 2009), a mayores costos de extracción y a una menor capacidad energética (Hughes, 2013). La inestabilidad e incertidumbre asociada al período de fuerte declive que anuncia la llegada del techo del petróleo o 'peak oil' condiciona la capacidad de la sociedad para acometer una transición planificada hacia un modelo no dependiente del petróleo y libre de emisiones. Esta transición

cambiará radicalmente nuestros modos de vida y sistemas socioeconómicos, precisamente por el gran peso del crudo en los sectores de mayor importancia. Por añadidura, los dos países más poblados del planeta (China e India) han iniciado en las últimas décadas un proceso de transición hacia la industrialización, fuertemente apoyado en el consumo de petróleo y combustibles fósiles. La incorporación de estos países (aproximadamente un 36% de la población mundial) es motivo más que suficiente para llamar la atención de la necesidad de establecer mecanismos ordenados para el abandono del petróleo como fuente de energía básica. Existen numerosas localidades y regiones que han comenzado ya a planificar, a escala local, su transición hacia modelos no dependientes del petróleo (Bermejo, 2008; 2009). Países como Suecia o, con especial intensidad y particular interés por las circunstancias en las que tuvo lugar, Cuba (Murphy, P. y Morgan, F., 2013) también emprendieron sus caminos hacia la independencia energética del petróleo obligados por las circunstancias.

Las transiciones, en sentido amplio, han sido objeto de análisis durante décadas. En nuestro caso, nos hemos centrado en las transiciones socioeconómicas, con la tecnología, la energía y las relaciones de la economía con la sociedad y con la naturaleza como piezas fundamentales. En este sentido, su estudio ha experimentado un fuerte incremento y ha cobrado especial interés en las últimas décadas. Si tomamos como referencia 1998 – primer año para el que disponemos de datos– el número de citas y artículos en revistas ha crecido de manera constante hasta aproximadamente el año 2006. A partir de ese momento, esta cifra aumenta de manera exponencial hasta situarse por encima de los 100 artículos y 1700 citas anuales en el año 2011 (Markaard et al. 2012).

Estos estudios, debido al carácter intrínsecamente multidisciplinar de las transiciones, abarcan distintos campos del conocimiento tales como las Ciencias Políticas, la Economía, la Ecología y ámbitos propios de la ciencia y la tecnología. Según la propuesta de los autores anteriormente citados, podemos considerar que, basándonos en el número de citas y artículos publicados, las publicaciones que vuelcan el peso de su análisis en las transiciones son las

siguientes: *Energy Policy*, *Technological Forecasting and Social Change*, *Technology Analysis and Strategic Management* y *Research Policy*. Por otra parte, las publicaciones de referencia para nuestra investigación, *Environmental Innovation and Societal Transitions* y *Ecological Economics*, ocupan el 5º y 7º lugar respectivamente en número de citas y artículos. Este listado de publicaciones nos ofrece una visión general de los ámbitos de investigación que más intensamente están trabajando en el estudio de las transiciones. La relativa juventud y el crecimiento de los últimos años en el número de citas y publicaciones nos habla de un campo de investigación dinámico en el que hay todavía mucho por desarrollar.

### ***Objetivos, estructura y metodología***

El objetivo de este Trabajo Final de Máster es el de revisar y analizar críticamente las diferentes experiencias de transición postpetróleo que ya han tenido y están teniendo lugar en todo el mundo, así como la literatura sobre estrategias de transición que ha sido publicada en los últimos años.

Para lograr este objetivo, el trabajo se estructurará en varias partes. En primer lugar, el capítulo segundo abordarán las transiciones desde un punto de vista teórico, abordando la definición de sus conceptos básicos y los distintos enfoques analíticos existentes. Además, se evaluarán desde el enfoque sociometabólico las principales características de las transiciones que nos sitúan en el escenario actual. Por su parte, el capítulo tercero se dedica al análisis del que es uno de los factores que avivan la urgencia de la transición: la llegada del pico del petróleo o 'peak oil' y su agotamiento. Este capítulo establecerá el contexto de agotamiento de la materia prima sobre la que descansa el peso de la economía, analizando la evolución y estructura geográfica de su demanda, así como la de su oferta y las particulares características de la etapa ya iniciada de declive en la extracción y capacidad energética del crudo. Con estos mimbres llegamos al capítulo cuarto, en el que se realiza un recorrido por las distintas experiencias de transiciones y se analiza, clasifica y evalúa la literatura sobre estrategias de transición, con su

correspondiente síntesis de resultados. Por último, finalizamos el trabajo con un capítulo quinto en el que sintetizamos los principales resultados obtenidos, y un sexto en el que evaluamos las conclusiones principales de este estudio.

La metodología empleada para este análisis ha consistido en la selección de una muestra de 13 planes de desarrollo sostenible y lucha contra el cambio climático procedente de fuentes gubernamentales y civiles. Si bien esta selección ha venido condicionada por la realizada según los criterios de J. Wiseman et al. (2013), hemos tenido que reducir el tamaño de la muestra por las dificultades para acceder a algunos de los planes. No obstante, también se ha añadido un nuevo plan, realizado por el Observatorio de Energías Renovables de Greenpeace Internacional (Teske, 2010), por considerarlo de interés. En el trabajo de apoyo anteriormente citado se analizan estas estrategias desde un marco teórico distinto al que vamos a emplear aquí y se clasifican en torno a variables diferentes a las categorías que serán establecidas en este trabajo. La clasificación se realizará en torno a una serie de variables de las que se puedan extraer enseñanzas de interés para resolver las tensiones y contradicciones que pudieran surgir en el desarrollo de futuros planes de transición, pivotando sobre el factor limitante fundamental del techo del petróleo. Siguiendo el enfoque sociometabólico, nos centramos en el cambio de modelo energético como condición *sine qua non* para llevar a cabo una transición hacia la sostenibilidad. Las variables utilizadas, que explicaremos en detalle en su momento, son las siguientes:

- Intensidad de los cambios en la estructura social, cultural, económica, etc.
- Distribución geográfica de las responsabilidades en la transición.
  - Posición respecto al crecimiento económico.
- Optimismo tecnológico.
- Enfoque de oferta/demanda en la gestión energética.
- Criterio de sustitución de combustibles fósiles.
  - Energía nuclear.

- Biomasa
- Nivel de urgencia de la transición.

Para cada una de ellas, se presentará información detallada y el debate que plantean las diferentes alternativas posibles. Se expondrán también cuadros sinópticos en los que se recojan las posiciones esenciales de los planes de la manera más sintética posible para facilitar las comparaciones entre ellos. De igual modo, comprobaremos las relaciones con el desarrollo económico de los planes de transición y cómo este ha de adaptarse a las restricciones impuestas por la naturaleza –aunque con causas antropogénicas– como el cambio climático y el agotamiento del petróleo.

En este trabajo establecemos la hipótesis de que la elaboración de futuros planes de desarrollo sostenible y lucha contra el cambio climático, si quieren tener eficacia global y coherencia entre objetivos e instrumentos, han de enfrentarse al menos a tres condicionantes fundamentales. En primer lugar, estos planes habrán de tener en cuenta la llegada del techo del petróleo y el escenario plagado de incertidumbre al que nos enfrenta. Por otro lado, aun siendo fundamental el papel de la tecnología en la transición, no deberán perderse de vista los límites que ésta presenta para resolver los problemas que tratan de superarse y que serán analizados a lo largo de este trabajo. Por último, si la transición quiere descansar sobre un reparto de los costes justo y equilibrado, será necesario que las estrategias pongan sobre el tablero unas diferencias territoriales en la responsabilidad pasada –en el cambio climático y agotamiento de petróleo– y en unas ambiciones de desarrollo que entran en conflicto con los objetivos de sostenibilidad y con los intereses económicos de cada grupo de países.

## **2. LAS TRANSICIONES COMO OBJETO DE ESTUDIO**

### **2.1. MARCO TEÓRICO**

A lo largo de la historia del pensamiento económico, las nociones de riqueza y producción han ido despegándose de su base biofísica (Naredo, 2003). Desde los fisiócratas que, aunque fueron los primeros en analizar la economía en términos de flujos físicos, terminaron por reducirla a su “valor venal” (monetario) y por consagrar una concepción mecánica de la economía con su Tableau Economique, hasta la función de producción neoclásica en la que los recursos naturales son perfectamente sustituibles por capital, los conceptos de riqueza y producción han ido dando progresivamente la espalda a su base material. Así, desde un punto de vista convencional, la extracción de recursos como el petróleo puede denominarse como producción (cuando es simple extracción). En realidad, si atendemos a los flujos de materiales del metabolismo económico, nos encontramos no ante a una economía de la producción, sino ante una economía de la adquisición (Carpintero, 2005).

En este trabajo nos situamos en un marco teórico, el de la economía ecológica (Martínez Alier y Roca, 2013; Constanza, et al., 1997; Martínez Alier y Ropke, 2008; Commons y Stagl, 2008; Bermejo, 2011) en el que la economía es un subsistema del sistema biofísico. Esta categorización establece una direccionalidad de la dependencia contraria a la que suele asumirse desde una óptica convencional. El subsistema económico está sujeto a las restricciones impuestas por los sistemas naturales, con los que se encuentra en constante y compleja interacción, al igual que sucede con el sistema social. En concreto, gracias a las leyes de la termodinámica sabemos que no podemos crear energía, sino tan solo transformarla (Primera Ley) y que en esta transformación se opera una degradación en la que se pierde calidad (Segunda Ley). Fruto de la actividad humana se transforman recursos (de baja entropía) en residuos (de

alta entropía), en procesos que contienen un importante componente de irreversibilidad. De la misma forma que no podemos calentar una caldera con un montón de cenizas –valiéndonos de la analogía hecha por Georgescu-Roegen en *La Ley de la entropía y el proceso económico* (1971)- tampoco es posible recuperar el potencial energético de un barril de petróleo que ya ha sido quemado.

En lo que sigue, nos serviremos del metabolismo económico, como una útil analogía procedente de la biología (Fischer Kowalski, 1998; Fischer-Kowalski y Hüttler, 1999). Así, cabe entender el funcionamiento físico de un sistema económico de igual modo que el de cualquier organismo vivo, pues mientras que este ingiere alimentos del entorno para mantenerse vivo, crecer y, después, excretar residuos al medio ambiente; de igual modo se comporta un sistema económico: capta energía y materiales del entorno para producir bienes y servicios, y como consecuencia de esa actividad, genera residuos que van a parar de nuevo al medio ambiente (Daly, 1968; Ayres y Simonis, 1994; Ayres, R.U. y Ayres, L.W., 2002; Adriaanse et al., 1997; Carpintero, 2005).

Se trata, además, de un proceso que, por su propia naturaleza no es estático, sino dinámico, por lo que además de contemplar los flujos físicos también ha de prestarse atención a evolución en el tiempo de los desarrollos que tienen lugar en toda su complejidad. Desde esta perspectiva metabólica, es importante seguir estos flujos físicos “desde la cuna hasta la tumba”, es decir, contabilizando los requerimientos totales de materiales –directos e indirectos– del proceso productivo. Por ejemplo, para la producción de alimentos en la agricultura no solo es necesario el petróleo utilizado en la combustión de la maquinaria, sino también el imprescindible para la fabricación de otros inputs como los herbicidas o los fertilizantes. En el caso de nuestro estudio, orientado al análisis de las transiciones como cambios en el modelo energético del que el petróleo es el principal protagonista, parece más que justificada la adopción de este enfoque metabólico que nos brinda la economía ecológica.

A partir de aquí, analizamos desde la extensa literatura sobre transiciones los distintos enfoques analíticos, que serán estudiados en detalle a

continuación, prestando especial atención y siendo objeto de desarrollo en el último apartado, de forma coherente con lo antedicho, al enfoque sociometabólico.

## 2.2. DEFINICIÓN Y ENFOQUES ANALÍTICOS DE LAS TRANSICIONES

El estudio de las transiciones hacia la sostenibilidad requiere delimitar los conceptos y objetos de estudio. Un sistema es un conjunto de elementos que se encuentran interrelacionados entre sí y que dependen unos de otros. Las interacciones entre estos elementos, cualquiera que sea su naturaleza, son una pieza fundamental en la comprensión del funcionamiento de los sistemas de todo tipo. De esta forma, un sistema sociotécnico está formado por diversos actores (individuales y colectivos), instituciones (marco jurídico, regulaciones) y el conocimiento y artefactos materiales existentes en una sociedad (Markaard & Raven, 2012). Pero no debemos quedarnos en el estudio de las relaciones entre los agentes de un mismo sistema, sino analizar los sistemas desde la óptica de su complejidad y su interacción con otros sistemas (Fischer-Kowalski, 2011). El sistema sociotécnico, a su vez, está relacionado con otros sistemas como el socioeconómico o los sistemas naturales y desde esta complejidad realizaremos nuestro análisis.

En las últimas décadas, aunque especialmente en el último decenio, han proliferado los estudios y e investigaciones en torno a las transiciones hacia la sostenibilidad. Markaard et al. (2012, pág. 956) describen las transiciones hacia la sostenibilidad como *“procesos de transformación de largo plazo, multidimensionales y fundamentales a través de los que los sistemas sociotécnicos establecidos cambian hacia modos de producción y consumo más sostenibles”*. Del mismo modo, afirman los citados autores que en el estudio de las transiciones es imprescindible *“el análisis de los aspectos institucionales, organizativos, técnicos, sociales y políticos de los cambios de largo alcance en los sistemas sociotécnicos existentes”*<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Esta definición, de interés por genérica, será posteriormente acotada por el enfoque analítico

Así, podemos afirmar que el estudio de las transiciones es multidisciplinar *per se*, dado que se nutre de diversos ámbitos académicos de las ciencias sociales y técnicas. Otra cualidad de la investigación en este ámbito es que no parte de una concepción estática y uniforme de la realidad. Por el contrario, la afronta desde una óptica evolutiva y dinámica, en constante proceso de adaptación. Las relaciones, antagónicas o de complementariedad, entre los distintos agentes y elementos que componen los sistemas sociotécnicos y socioeconómicos cobran una especial relevancia en la comprensión de los procesos de cambio generalizados y de largo alcance.

Algunos de los enfoques más explorados en el estudio de las transiciones son: la Perspectiva multi-nivel, el paradigma Tecnoeconómico, la Gestión de Nichos Estratégicos, Gestión de las Transiciones, Sistemas de Innovación y el enfoque de las transiciones Sociometabólicas (Lachman, 2013). Cada uno de los enfoques aporta una perspectiva de utilidad que no debe desecharse, ya que centran su atención en distintos elementos –la tecnología, los actores y sus relaciones o la sociedad, la energía– o fijan categorías de análisis empleadas en el resto de enfoques. Analizaremos cada uno de los citados enfoques respondiendo a las variables fundamentales propuestas por Fischer-Kowalski, M. (2011): ¿cuál es la unidad de análisis?; ¿distingue distintas etapas o fases?; ¿cómo se conceptualiza la direccionalidad del tiempo<sup>2</sup>?

### **2.2.1. La perspectiva Multi-Nivel**

La Perspectiva multi-nivel ofrece una representación básica de gran utilidad para el estudio de las transiciones que, de hecho, es utilizada en el resto de enfoques. Este modelo define tres niveles (macro, meso y micro) fundamentales para el estudio de las transiciones: el nivel macro, del Entorno (*Landscape*) es un nivel autónomo, exógeno, que afecta al resto de niveles

---

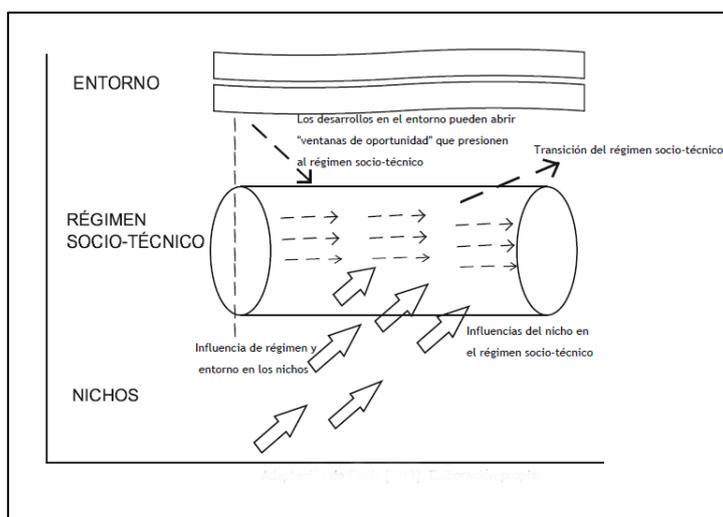
que se empleará a lo largo de este estudio: el enfoque sociometabólico.

<sup>2</sup> Esta caracterización hace referencia, en última instancia, a la consideración por los enfoques de una transición totalmente planificable y predecible (determinista, lineal) o, por el contrario, compleja y sujeta a incertidumbre (evolutiva, dialéctica).

pero que no se ve afectado por estos; el nivel meso, del Régimen sociotécnico (*Regime*), formado por los actores y grupos sociales que intervienen en los procesos, por el conjunto de reglas formales e informales que guían la actividad de éstos, así como los elementos materiales y técnicos existentes. En último lugar se sitúa el nivel micro, de los Nichos (*Niches*) en el que, si bien se encuentra limitado por el régimen tecnológico dominante, existe espacio relativamente autónomo para que tengan lugar innovaciones radicales que modifiquen el mismo (Geels, 2002).

En efecto, las bases fundamentales del régimen sociotécnico mantienen una estabilidad apoyada por “mecanismos de cierre” tales como el discurso dominante, las instituciones, una infraestructura instalada que desincentiva el cambio, etc. En buena medida, las transiciones dependen de la capacidad de los actores del nivel de los nichos, donde se encuentra el germen de estos procesos, para influir en los del régimen sociotécnico aprovechando las “ventanas de oportunidad” abiertas por el entorno.

**Gráfico 1. La perspectiva multi-nivel**



Fuente: Adaptación de Geels (2011)

Este enfoque se nutre de la Economía Evolutiva, estudios de ciencia y tecnología, de la teoría de la estructuración y la teoría Neo-Institucional. La

unidad de análisis es el régimen sociotécnico, donde deben manifestarse las transformaciones que nos permitan catalogar un determinado proceso como una transición. Para las transiciones hacia la sostenibilidad habrá que tener en cuenta que la transformación del régimen sociotécnico ha de tener como objetivo llegar a otro en el que este objetivo se cumpla. Las transiciones desde este enfoque no son mecánicas y totalmente controlables, pues las relaciones entre los actores de los distintos niveles están sujetas a incertidumbre y al aprovechamiento o no de las “ventanas de oportunidad” que eventualmente puedan abrirse. Las relaciones entre los distintos niveles son complejas y la direccionalidad, por tanto, no es lineal. No existe una sola forma en la que los regímenes sociotécnicos sufran cambios sustanciales. En el Gráfico 1 podemos ver una representación de las transiciones desde este enfoque en la que se observan las citadas características.

A pesar de ello, este enfoque ha sido criticado en ocasiones por adolecer de un poso de linealidad, pues caracteriza la transición como un proceso mecánico en el que el entorno actuaría como catalizador y los nichos como resorte que active una transformación que inevitablemente desembocaría en un nuevo régimen sociotécnico. Geels y Scott (2007) propusieron una modificación de los tiempos y la naturaleza de las interacciones entre los niveles que permitiría superar esta visión lineal, contemplando distintas vías para la transición<sup>3</sup>. Por un lado tendríamos la *transformación*, o modificación gradual del régimen sociotécnico debido a la presión ejercida por el entorno en un contexto de desarrollo incompleto de las innovaciones en el nivel de los nichos. Una segunda vía sería la *reconfiguración*, donde los actores del régimen sociotécnico pueden adoptar innovaciones procedentes de los nichos para resolver problemas locales. Al adoptarlas, cambian las bases sobre las que se construye el régimen socio-técnico, operándose una transición gradual. Una tercera posibilidad vendría de la mano de la *sustitución tecnológica*, donde las fuertes presiones ejercidas por el entorno en combinación con unos nichos en estado de madurez, pueden conducir a que estos sustituyan el régimen sociotécnico existente. En cuarto lugar, cabría la posibilidad de que se diera

---

<sup>3</sup> En Geels (2011) también se responden a estas y otras críticas al enfoque multinivel durante la década del 2000.

una *desalineación y realineación*, es decir, la desestabilización del régimen sociotécnico por una muy fuerte presión del entorno puede llevar a que las innovaciones del nivel de los nichos desplacen el régimen sociotécnico existente.

De esta forma, podemos establecer el régimen sociotécnico como unidad de análisis de la Perspectiva multi-nivel, que combina visiones “etapistas” con otras más graduales y que rechaza la idea de linealidad en el proceso. Las interacciones entre los actores que conforman los distintos niveles y la evolución histórica previa del sistema sociotécnico serán fundamentales para el análisis de las transiciones desde este enfoque.

Para una mejor comprensión del funcionamiento de las transiciones hacia la sostenibilidad desde una perspectiva multi-nivel, sirva el caso de la proliferación de algas en la Bretaña francesa (Díaz, M. y Darnhofer, I., 2013). En la citada región, comenzaron a proliferar algas en las desembocaduras al mar de los ríos fruto de la alta concentración de nitratos provenientes de los residuos generados por la agricultura intensiva (que se constituye como el régimen sociotécnico). Esta situación llamó la atención sobre este modelo agrícola, por lo que comenzaron a surgir iniciativas de agricultores que apostaron por un modelo agrícola alternativo (nicho de innovación). En la medida en que los actores de ambos niveles interactuaban, iban introduciéndose cambios paulatinos en algunas instituciones pertenecientes al régimen sociotécnico (*reconfiguración*), pero no fue hasta que una fuerte presión ejercida por el entorno –la Directiva de Europea de Nitratos (91/676/EEC) y la reforma de la PAC de 1992– que pudieron operarse los verdaderos cambios. Esta directiva de la UE constituyó una “ventana de oportunidad” que los actores pertenecientes al nivel de los nichos supieron aprovechar para promover una *“sustitución tecnológica”* en el régimen sociotécnico.

### **2.2.2. Gestión de Nichos Estratégicos, Gestión de Transiciones, Sistemas de Innovación y Paradigma Tecnoeconómico.**

Es precisamente en el marco de estos niveles en el que los enfoques de este grupo centran su atención. El enfoque de la gestión de los nichos estratégicos, la gestión de transiciones y de los sistemas de innovación buscan, mediante distintos métodos, producir transformaciones en el Régimen sociotécnico que conduzcan a una transición a través de la intervención en el nivel de los nichos, generalmente mediante la innovación tecnológica.

El enfoque de la *gestión de los nichos estratégicos* busca una ruptura con lo establecido a través de una experimentación en el nivel de los nichos que coadyuve una transformación en el régimen sociotécnico. Se asume que la tecnología es la clave en una transición hacia regímenes sociotécnicos sostenibles pero que la incertidumbre del mercado y, sobretodo, los mecanismos de cierre del régimen sociotécnico dominante obligan a incorporar la planificación a los esquemas de la transición. Las nuevas tecnologías ecológicamente preferibles, como por ejemplo el coche eléctrico, se enfrentan en sus primeros momentos a un régimen tecnológico al que no es fácil adaptarse. Siguiendo el mismo ejemplo, los sistemas de recarga de estos vehículos no disponen de la infraestructura necesaria –hoy en día ya en desarrollo– para que este tipo de automóviles sean de uso generalizado. Desde este vértice, el objetivo es crear nichos o gestionar otros ya existentes de tecnología prometedora que presentan dificultades –como las anteriores– para generalizarse y asentarse como parte del régimen sociotécnico (Kemp, R., Schot, J. y Hoogma, R., 1998).

Desde el punto de vista de las políticas públicas, el enfoque de la *gestión de transiciones* considera que solo estas pueden dotar de coherencia a una planificación de largo plazo como la requerida. Este enfoque permitiría conciliar los objetivos de largo plazo con las necesidades presentes, mostrando un claro paralelismo con la definición de Desarrollo Sostenible. Con una perspectiva evolutiva, niega la existencia de un *statu quo* pues la realidad este se encuentra en ininterrumpida transformación hacia nuevos y cambiantes

equilibrios (Rotmans, J., et al., 2001). Estos caminos hacia los nuevos equilibrios son diversos, por lo que una transición puede llevarse a cabo mediante diferentes vías y de manera gradual<sup>4</sup>, guiadas por los Gobiernos y teniendo en cuenta al resto de actores. Si bien asume la existencia de factores limitantes, de incertidumbre y de complejidad, considera una cuestión de buen gobierno lograr el acierto en el proceso de aprendizaje de las diferentes vías hacia la sostenibilidad.

El enfoque de los *sistemas de innovación* se centra en el análisis de los sistemas de innovación para determinar qué elementos son los que dificultan el desarrollo del sistema y sugiere la necesidad de desarrollar políticas tecnológicas específicas. Este enfoque permite al diseñador de la política identificar procesos y componentes en los que es adecuada la intervención pública para corregir las debilidades detectadas en el sistema de innovación (Jacobsson, S. y Bergek, A., 2011). A pesar de la prevalencia de estas premisas, el enfoque de sistemas de innovación no plantea un procedimiento mecánico y lineal en el que a través de la tecnología y la política tecnológica puedan transformarse según el plan trazado. El estudio de las transiciones desde este ángulo considera que los procesos a los que se enfoca la intervención de la política son sistemas complejos e interdependientes cuyos componentes coevolucionan con un alto grado de incertidumbre.

Por último, el *paradigma tecnoeconómico* nos ofrece una visión macro, apoyado en la teoría económica evolucionista y de los ciclos de onda larga. Los ciclos son activados por la aparición de nuevas tecnologías que son acompañadas por nuevos marcos institucionales, distintos patrones de comportamiento, etc. Estas transformaciones tecnológicas son la base de los cambios de ciclo macroeconómicos que permiten al resto de subsistemas coevolucionar hacia un nuevo de modelo. Por ejemplo, Freeman y Pérez (1988) diferencian 4 grandes ciclos caracterizados por las tecnologías de (1) la energía hidráulica, navegación, mecanización del textil; (2) máquina de vapor, ferrocarril y barcos de vapor; (3) electricidad e ingeniería pesada del acero y (4)

---

<sup>4</sup> El título del artículo en el que se definen y sintetizan las principales características de este enfoque metodológico es elocuente en lo que a la periodificación de la transición se refiere: *More evolution than revolution*.

los automóviles, aviación, petróleo y materiales sintéticos. Este enfoque no permitiría identificar las causas de la transición, que vendría marcada de forma determinista por los ciclos macroeconómicos (Geels, 2006).

### 2.2.3. El enfoque sociometabólico

Análogamente al resto de enfoques, el sociometabólico (o socioecológico) escoge como unidad de análisis la sociedad, entendida como sistema sociometabólico en constante interacción con los sistemas del entorno natural. Fischer-Kowalski (2011) establece que un régimen sociometabólico *“está basado en el sistema energético del que una sociedad depende, que son los recursos y las tecnologías de conversión de la energía dominantes”*. La búsqueda de una transición sociometabólica hacia la sostenibilidad ha de implicar que la sociedad no sobrepase los límites que el entorno natural impone y de los que depende.

Definimos pues una transición hacia la sostenibilidad desde el enfoque sociometabólico como la transformación del sistema energético dominante en otro en el que los recursos y tecnologías de conversión utilizados sean compatibles con los límites que impone la naturaleza para la reproducción en el tiempo de una sociedad.

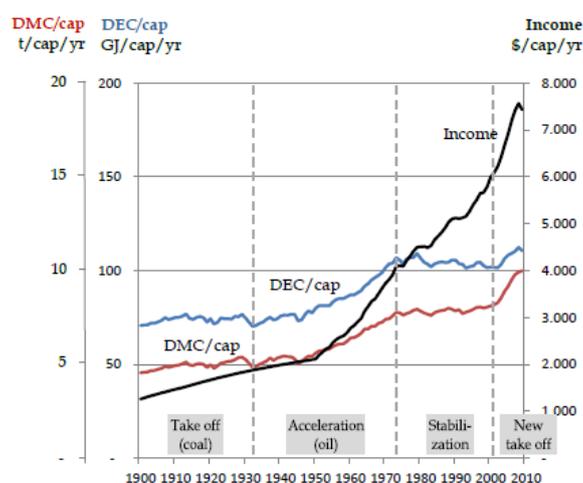
No obstante, desde este enfoque consideramos que la complejidad y la incertidumbre impiden la deliberada transformación de un sistema en otro, o que este proceso pueda controlarse totalmente. Es imposible para los actores de la transición controlar de manera integral las transiciones, pues cambios inesperados o interrelaciones imposibles de dominar afectan de manera decisiva estos procesos. Por ejemplo, aunque cabría esperar que tras la anterior transición sociometabólica desde la energía solar a la fósil se continuara avanzando –“progresando”<sup>5</sup>– en la misma dirección, todo parece indicar que una transición hacia la sostenibilidad implicaría regresar a la

---

<sup>5</sup> Sobre la noción lineal de progreso que este enfoque rechaza suele citarse la teoría de las etapas históricas de Marx o de las etapas del desarrollo de Rostow, a la que se hará referencia más adelante.

utilización de fuentes de energía solares<sup>6</sup>. En efecto, veremos que la transición hacia un régimen sociometabólico libre de combustibles fósiles estará plenamente condicionada por la incertidumbre e inestabilidad del mercado de petróleo posterior a la llegada de su techo.

## Gráfico 2. Etapas de las transiciones



Fuente: Fischer-Kowalski, M. et al (2012). DEC=Domestic Energy Consumption (Consumo Interior de Energía). DMC=Domestic Material Consumption (Consumo Interno de Materiales).

Así pues, la transición no es un proceso unívoco y lineal sino que es más bien dialéctico, en el sentido de contradictorio, y contingente, pues puede tener lugar o no. En este momento histórico, la transición podría considerarse como algo inevitable al encontrarnos con una sociedad que rebasa esos límites que impedirían su supervivencia metabólica pero, por otra parte, es improbable porque la evidencia nos dice que no se han dado los pasos necesarios para que esta transición se ponga en marcha. Lógicamente, al tratarse de un enfoque que toma en consideración el factor metabólico de la economía, las variables utilizadas desde esta óptica son eminentemente biofísicas. El núcleo de este enfoque –el régimen tecnológico– radica precisamente en el sistema

<sup>6</sup> El salto tecnológico de la sociedad agraria a la actual hace que las formas de aprovechamiento de la energía solar se hayan ampliado en la actualidad, no reduciéndose tan solo a su capacidad térmica y la química del proceso de fotosíntesis. A continuación elaboramos una síntesis de los regímenes sociometabólicos históricos, clarificando esta cuestión.

energético de una sociedad, por lo que para diseccionar adecuadamente el estado y la fase de la transición en la que se encuentra una sociedad es indispensable contar con estadísticas energéticas.

Las transiciones sociometabólicas transcurren en diferentes etapas, que pueden sucederse sobre la base de distintos patrones de comportamiento. En el Gráfico 2 podemos ver una transición por etapas en forma de “S”. Este gráfico representa en su eje de ordenadas la energía y materiales consumidos per cápita anualmente (eje izquierdo) y la renta per cápita anual (eje derecho). Esta modalidad por etapas comienza con una fase inicial de “despegue” (apoyada en este caso en el carbón), seguida por otra de “aceleración” (espoleada por el uso del petróleo) que desemboca en la “estabilización”. A pesar de la relevancia de esta caracterización de las etapas de una transición, se admite la existencia de otras tipologías precisamente por la incertidumbre asociada a este tipo de procesos.

### CUADRO 1. Síntesis del enfoque socio-metabólico

Características	
<b>Unidad de Análisis</b>	La sociedad, como sistema sociometabólico en interacción con la naturaleza.
<b>Caracterización de Régimen</b>	Sistema energético y las tecnologías de conversión de la energía.
<b>Escala Temporal</b>	Por etapas.
<b>Grado de Control de la Transición</b>	Relativo. Existe incertidumbre. Teoría de los Sistemas Complejos.
<b>Variables Analíticas</b>	Biofísicas.
<b>Homogeneidad de la Transición</b>	Disparidades regionales. Coexistencia de distintos regímenes sociometabólicos.

Elaboración propia a partir de Fischer-Kowalski (2011)

Estas transiciones, además, no tienen lugar de manera armónica en el territorio. De hecho, lo habitual es que coexistan distintos regímenes sociometabólicos en el tiempo o que estos se encuentren en distintas fases de desarrollo<sup>7</sup>.

**CUADRO 2. Principales características de los enfoques sobre transiciones**

<b>Enfoque</b>	<b>Unidad de Análisis</b>	<b>Periodificación</b>	<b>Grado de control</b>
<b>Gestión de Nichos</b>	Nichos de tecnologías prometedoras	Gradual	Total
<b>Gestión de Transiciones</b>	Políticas	Gradual	Total
<b>Sistemas de Innovación</b>	Innovación	Gradual	Sujeto a incertidumbre
<b>Enfoque Tecnoeconómico</b>	Ciclos de Desarrollo apoyados en tecnologías concretas.	Etapas	Sujeto a incertidumbre
<b>Perspectiva Multi-Nivel</b>	Régimen Socio-Técnico. Interacciones entre los agentes.	Combinación	Sujeto a incertidumbre
<b>Enfoque Socio-Metabólico</b>	Sistema complejo Sociedad-Entorno. Fuentes de energía	Etapas	Sujeto a incertidumbre

Elaboración propia.

El enfoque sociometabólico, en definitiva, analiza el sistema social y sus relaciones con los distintos sistemas de su entorno, definiendo su sostenibilidad en tanto que su reproducción metabólica no sea amenazada. Para ello es importante el análisis de diferentes variables materiales y energéticas y su interpretación en clave multidimensional, poniendo en valor las interrelaciones entre los distintos sistemas (tecnológico, político, demográfico, económico). Las transiciones son procesos de largo plazo diferenciadas en distintas fases o etapas más o menos dilatadas en el tiempo y que coexisten con otros regímenes sociometabólicos a nivel planetario. Asumiendo una transición

<sup>7</sup> Profundizaremos en esta y otras cuestiones en el siguiente apartado.

sociometabólica hacia la sostenibilidad, las principales características del enfoque sociometabólico quedan recogidas en el Cuadro 1.

### 2.3. LAS TRANSICIONES SOCIOMETABÓLICAS

A lo largo de la historia se han sucedido y se suceden transiciones de distinta naturaleza, tipología o duración. Atendiendo a su naturaleza podemos hablar, entre otras, de transiciones sociotécnicas, transiciones socioeconómicas –el paso de la Unión Soviética al capitalismo– o transiciones sociometabólicas o socioecológicas. Por otro lado, no es lo mismo hablar de una transición de carácter general –como el paso de la sociedad agraria a la industrial– que de transiciones específicas como el desarrollo del motor de combustión interna.

Vamos a prestar atención, sobretodo, a las transiciones sociometabólicas de carácter general, por recoger de manera más adecuada la base material del cambio socioeconómico que implica el agotamiento de una fuente de energía de la relevancia del petróleo. Las transiciones de carácter específico pueden explicar repuntes o disminuciones puntuales en la intensidad de utilización de las fuentes de energía, pero no las consecuencias globales de la pervivencia en el tiempo de un determinado régimen energético. En tanto que las transiciones que estamos estudiando son las que se dirigen hacia un modelo sostenible, es imprescindible detallar cómo se relaciona la sociedad con la naturaleza y de qué manera respeta o violenta los límites biofísicos que esta impone. Haremos un breve recorrido histórico y territorial por los distintos perfiles sociometabólicos observados, con el objetivo de establecer la situación de partida –en sentido dinámico, considerando la trayectoria que devino en esta situación– en que se encuadran los informes analizados en este trabajo. Podemos distinguir los siguientes perfiles metabólicos históricos:

En primer lugar tendríamos el *régimen de cazadores-recolectores*, sostenido por la utilización de la energía solar sin el concurso activo del ser humano para mejorar los rendimientos físicos de esta. El ser humano adquiere

energía a través de la recolección de los alimentos que la tierra produce de manera natural sin intervenir en su producción, así como de la caza de otros animales. El uso de energía y materiales por persona y unidad de superficie es el mínimo necesario para la reproducción física del ser humano, con una escasa densidad de población y una fuerte dependencia de la biomasa – árboles, arbustos, frutales, como fuente de energía directa e indirecta a través de la transformación en instrumentos de caza y pesca–. El ser humano es un animal que utiliza eminentemente sus órganos endosomáticos<sup>8</sup>.

En segundo lugar estaría el *régimen agrario*, basado también en la energía solar, pero con la participación activa del ser humano en el incremento de los rendimientos físicos de la naturaleza. A través de su trabajo en la agricultura, el ser humano utiliza la tierra para producir alimentos con los que obtener energía directa al ser consumidos o indirecta, al ser utilizados como alimento para el ganado. En este régimen se produce un incremento total y por habitante de la presión ejercida sobre la naturaleza por la sociedad, aunque sin sobrepasar de manera significativa los límites de aquella. En este régimen sociometabólico el ser humano sostiene una economía de producción de los medios físicos para su sostenimiento y reproducción.

Por último, tendríamos el *régimen industrial*: basado en la utilización de combustibles fósiles (carbón y petróleo) como fuente principal de energía. En Fischer-Kowalski et al. (2012) incluso se desagrega este régimen en un primer momento en el que el peso de la energía lo soporta esencialmente el carbón y otro en el que el petróleo es el protagonista<sup>9</sup>. La presión sobre el medio ambiente en cuanto a utilización de energía y materiales por persona y unidad de superficie se dispara –multiplicándose por 3 o más en el primer caso y por 20 o más en el segundo con respecto al régimen anterior– mientras la población crece exponencialmente. Este régimen se caracteriza ya no por la producción de los medios físicos para su supervivencia, sino por la adquisición

---

<sup>8</sup> Son órganos endosomáticos aquellos que pertenecen al propio cuerpo de los seres humanos. Por oposición, son órganos exosomáticos aquellos artefactos utilizados por el ser humano que amplían o mejoran las capacidades de los órganos endosomáticos.

<sup>9</sup> El objetivo de esta diferenciación propuesta en el trabajo citado es el de ofrecer una caracterización del papel del trabajo humano en los diferentes regímenes sociometabólicos, algo que excede el ámbito de este trabajo y razón por la que tomamos el régimen industrial agregado como suficiente.

los recursos existentes en el planeta. La utilización de biomasa como fuente de energía principal es sustituida por la de los citados combustibles fósiles, fundamento de la transición sociometabólica del régimen agrario al industrial. Sieferle (2001) defiende incluso que la sociedad industrial es una etapa transitoria entre la sociedad agraria y otra diferente y aún desconocida etapa posterior.

**CUADRO 3. Perfiles metabólicos históricos**

	Unidad	Cazadores-Recolectores	Sociedad Agraria*	Sociedad Industrial**
<b>Uso energía total per cápita</b>	Gj/hab/año	10-20	40-70	150-400
<b>Uso materiales per cápita</b>	Tn/hab/año	0,5-1	3-6	15-25
<b>Densidad de Población</b>	Hab/Km2	0,025-0,0115	<40	<400
<b>Población Agraria</b>	%	-	>80	<10
<b>Uso energía total por unidad de superficie</b>	Gj/ha/año	<0,01	<30	<600
<b>Uso de materiales por unidad de superficie</b>	Tn/ha/año	<0,001	<2	<50
<b>Biomasa(% uso de energía)</b>	%	>0,99	>95	10-30

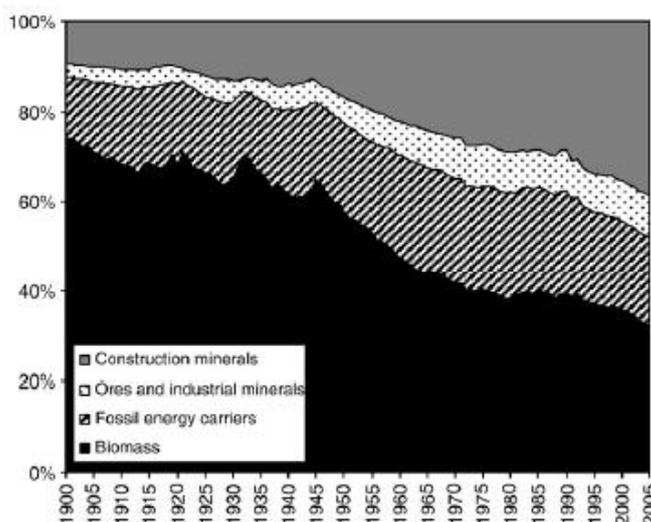
Carpintero, Ó. y Riechmann, J. (2013) a partir de las referencias allí citadas. (\*) Valores típicos para el régimen agrario europeo avanzado (siglo XVIII). (\*\*) Valores típicos para las economías actuales plenamente industrializadas. Los intervalos se corresponden con diferencias entre países con menor (cota inferior) y mayor (cota superior) densidad de población.

En el Cuadro 3 podemos observar algunos patrones de comportamiento de las transiciones sociometabólicas históricas de las que se pueden extraer algunas enseñanzas útiles para la transición venidera. En primer lugar, constatamos que todas las transiciones existentes se han saldado con un incremento de la presión del sistema socioeconómico sobre el medio ambiente, tanto en lo referido a materiales como a energía. Este incremento de la presión ha tenido lugar tanto en términos absolutos como relativos (por persona o por unidad de superficie). El reto de una transición sociometabólica hacia la sostenibilidad reside precisamente en que sería la primera de las transiciones

en las que el sentido de la presión física sobre la naturaleza se invertiría (Carpintero y Riechmann, 2013).

Por otro lado, al tiempo que se reduce la población agraria también disminuye la importancia de la biomasa como principal fuente de energía. Esta es la señal, como avanzábamos, del paso de una economía de producción a otra de adquisición. El Gráfico 3 refleja cómo esta disminución de la utilización de biomasa en el metabolismo económico es compensada con incrementos en la intensidad de uso de minerales y combustibles fósiles<sup>10</sup>. Por lo tanto, estamos pasando de un metabolismo de alta renovabilidad –apoyado en la biomasa en su sentido tradicional– a otro de baja renovabilidad –apoyado en los minerales y combustibles fósiles– en el que la economía de la producción renovable, estrictamente hablando, pierde relevancia en favor de la extracción o economía de la adquisición de materiales preexistentes (Carpintero, 2005), poniendo en peligro la sostenibilidad global del planeta.

**GRÁFICO 3. Proporción en uso de materiales. Serie temporal**



Fuente: Kraussman et al. (2009)

<sup>10</sup> Ha de tenerse en cuenta que la biomasa utilizada durante la mayor parte del período es la propia de usos agrícolas o forestales (ya sea para uso energético o no, en este caso), no como la compleja fuente de energía que puede ser hoy y que, aún así, sigue representando una proporción marginal sobre el total de biomasa. Como veremos, este tipo de aprovechamiento de la biomasa, estará sujeto a un interesante debate en el análisis de los informes.

Otra peculiaridad de las transiciones sociometabólicas es la convivencia en el tiempo de distintos regímenes o de diferentes fases dentro del mismo régimen. Así, no es extraño que hoy en día coexistan en el planeta países que se encuentran en diferentes regímenes sociometabólicos, o en distintas fases de un mismo régimen, por ejemplo, unos en la fase de despegue del régimen industrial mientras otros se encuentran en su fase de estabilización. El economista y matemático rumano Georgescu-Roegen advirtió de manera particularmente clarividente la existencia de esta dualidad:

*Esta diferencia puede ser mayor que la distancia que existe entre dos especies biológicas y las relaciones que se establecen entre ellas también son objetos de conflicto. El Homo Indicus constituye una especie exosomática distinta a la del Homo Americanus. El primero cocina con un artilugio primitivo quemando estiércol seco, el otro con un horno microondas con encendido automático, autoajuste y autolimpieza [...] (Georgescu-Roegen N. , 1994).*

**CUADRO 4. Perfiles metabólicos por países (2000)**

	Unidad	Mundo	Industrializados	En desarrollo
Número de países		175	49	126
PIB/hab	\$/hab	6.655	18.829	3.124
Densidad de Población	Hab/Km2	45	24	60
<b>Perfil metabólico del régimen sociometabólico</b>				
Población Agraria	%	42	8	52
Participación de biomasa en CEI	%	36	21	55
Uso de Energía (CIE/hab)	Gj/hab/año	102	253	59
Uso de Materiales (CIM/hab)	Tn/hab/año	10	19	7
<b>Otros parámetros sociometabólicos</b>				
Consumo de cemento/hab	Kg/hab/año	266	421	221
Consumo de hierro/hab	Kg/hab/año	137	396	62
Consumo de alimentación animal/hab	Gj/hab/año	0,70	1,29	0,53
Electricidad/hab	Gj/hab/año	9	29	3
<b>Presiones metabólicas sobre el territorio</b>				
Uso de energía (CIE/superficie)	Gj/ha/año	46	62	35
Uso de materiales (CIM/superficie)	Tn/ha/año	4,4	4,6	4,3

Fuente: Carpintero y Riechmann (2013) a partir de las referencias allí citadas.

Así, el régimen sociometabólico de un país desarrollado poco o nada tiene que ver con el de uno no desarrollado. Las fuentes energéticas que sostienen su metabolismo, los materiales y tecnologías empleadas y su relación con el entorno son de tipo muy diverso en un mismo tiempo.

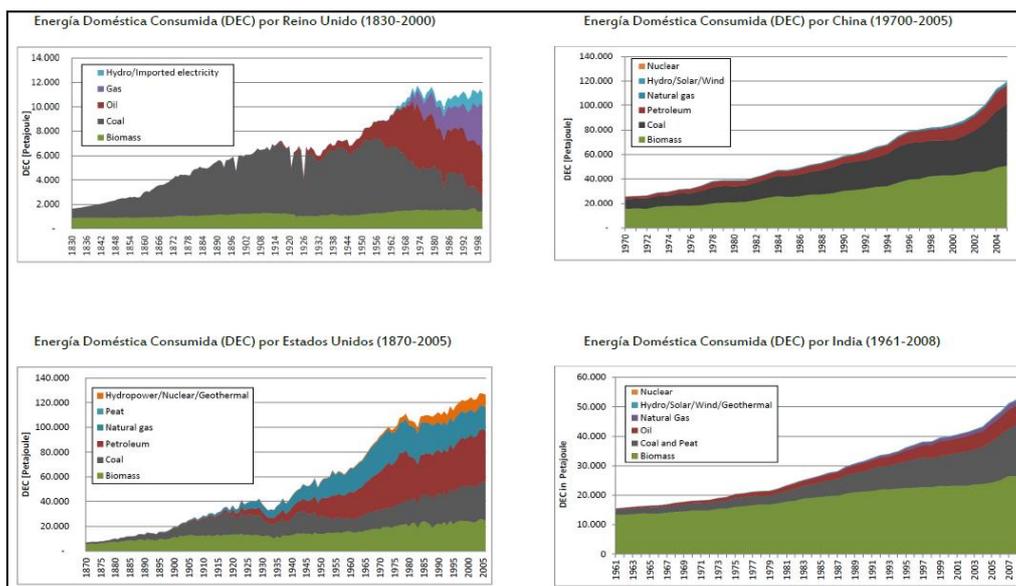
El Cuadro 4 describe esta situación para el año 2000. Las diferencias entre los países desarrollados y el resto son notables en todos los aspectos. Con una densidad de población más de dos veces inferior, los países desarrollados cuentan con un PIB per cápita cinco veces superior. Esta superioridad económica se apoya en un Consumo Interior de Energía (CIE) y un Consumo Interior de Materiales (CIM) cuatro y dos veces superior respectivamente.

La diferencia metabólica entre unas economías y otras descansa, sobretodo, en un consumo energético superior por parte de los países desarrollados fundamentado, como tendremos oportunidad de estudiar más adelante, en el consumo de combustibles fósiles. Estos perfiles metabólicos tan diversos evidencian la complejidad de toda transición y la imposibilidad de controlar todas sus fases, pues las relaciones entre territorios –cómo se distribuyen los materiales y las fuentes de energía a través de las condiciones objetivas en que se extraen y distribuyen a través del comercio internacional– puede generar tensiones que incidan en el propio desarrollo de la transición.

Incluso entre países industrializados (Gráfico 4) los perfiles metabólicos presentan evoluciones dispares, con ritmos de consumo particulares y diferentes pesos específicos de cada fuente energía en las distintas fases. Mientras Reino Unido se encontraba en su fase de despegue ya en 1830 y comenzando la de aceleración a partir de los años 60 del siglo XIX, EE.UU. presentaba un metabolismo de régimen agrario –con una muy alta proporción de la biomasa en la energía consumida –prácticamente hasta esta última fecha. La hegemonía política, económica y militar del Reino Unido durante el siglo XIX y el primer cuarto de siglo XX se encuentra fuertemente ligada al acceso, extracción y utilización de carbón. El consumo de carbón alcanza su máxima participación sobre el total de energía a comienzos de la Primera Guerra

Mundial, momento a partir del cual el declive del Imperio Británico comienza a ser evidente. Este suceso no es casual y denota la vulnerabilidad del sistema económico a los márgenes trazados por la naturaleza y la disponibilidad de unos recursos sujetos a agotamiento. Ciertamente, la extracción del que era el auténtico combustible del Imperio Británico, alcanzó su techo en 1913.

#### GRÁFICO 4. Perfiles metabólicos por países en perspectiva histórica



Fuente: Fischer-Kowalski, M. et al. (2012). Nota: 1 Petajulio=1.000.000 Gigajulios

No eran de extrañar, pues, las preocupaciones expresadas por W.S. Jevons (1865) en *The Coal Question*<sup>11</sup>, precisamente en plena explosión –fase de aceleración– del consumo de carbón. Tras ello, entraría en la fase de estabilización al tiempo que se sustituía la antigua fuente de energía por la nueva comenzando la transición, dentro del régimen industrial, del régimen apoyado en el carbón al apoyado en el petróleo. Este combustible fósil se abre hueco entre el resto de fuentes de energía, de la mano de la proliferación de los transportes consumidos de derivados del crudo, así como de un modelo agrícola intensamente apoyado en el consumo de petróleo, como detallaremos con posterioridad. La transición británica presenta un perfil en forma de doble

<sup>11</sup> Existe versión en castellano con el título *El problema del carbón*, publicada por Editorial Pirámide en 2000.

“S” razonablemente claro, entrando en las últimas décadas en la etapa de estabilización que suele preceder a los nuevos despegues. Junto a otros combustibles fósiles, el petróleo se ha convertido en la principal fuente de energía primaria en los países desarrollados, como Reino Unido y EE.UU., mientras contemplamos una dinámica similar en los países en desarrollo.

El tránsito de algunos de los países emergentes, también denominados como BRIC (Brasil, Rusia, India y China) de un metabolismo con un perfil eminentemente agrario a otro industrial, apoyado en los combustibles fósiles, ha sido fulgurante. Los regímenes sociometabólicos de estos grandes países se encuentran en plena fase de expansión y sustitución del carbón por el petróleo, empujados, en su lucha contra la pobreza por la imitación de un modelo de desarrollo apoyado en estos combustibles. Esta doble disparidad, territorial y de fase en la transición será fuente de fricciones en el futuro y condicionará los planes de desarrollo sostenible y lucha contra el cambio climático con un horizonte global. No bastará con promover una sustitución del petróleo por otra fuente o fuentes de energía, sino que habrá que atender a “mecanismos de cierre” ya establecidos por las infraestructuras energéticas de reciente creación de estos países. La urgencia de la transición hacia la sostenibilidad tendrá que lidiar con esta y otras restricciones.

En definitiva, en el último siglo la renovabilidad del sistema socioeconómico se ha visto mermada por el crecimiento en la extracción y utilización de fuentes no renovables de energía. El sistema socioeconómico transgrede así los límites que la biosfera impone y, al hacerlo, convierte en inevitable una transición que podrá ser de distintas naturalezas. El Gráfico 2, en el que se dibujaba la tendencia del consumo de energía y materiales a nivel global a través de sus fases, evidencia que nos encontramos en una fase posterior a la de estabilización en la que unas nuevas condiciones sociometabólicas pueden emerger. La forma en la que se distribuye internacionalmente el consumo de energía va a ser determinante en la transición hacia un régimen sociometabólico sostenible.

Cabe destacar, además, que en estos procesos de transición, sujetos asimismo a la emergencia de situaciones inesperadas, las instituciones juegan

un papel relevante. La transición puede adoptar diversas formas, en las que distintos patrones de comportamiento socioeconómico están implícitos. La existencia de incentivos para que estos patrones continúen o se modifiquen, la posibilidad de acometer una transición ordenada, democrática y justa descansa sobre la capacidad de respuesta de las sociedades. Las estructuras de poder, los cauces de participación política, el régimen tecnológico y el propio metabolismo económico y su evolución previa son factores que incidirán y, al mismo tiempo, evolucionarán en la configuración de la transición.

Para concluir, Fischer-Kowalski (2011) propone un marco de condiciones en las que el desencadenamiento de una transición sociometabólica sería posible. Estos diferentes escenarios se dividen en función de los nuevos recursos y/o oportunidades existentes y los existentes en el régimen socio-metabólico de partida. Las distintas situaciones serían las siguientes:

Una primera opción sería el *mantenimiento del statu quo*, donde los recursos existentes son aún abundantes y no se vislumbra ninguno que pueda sustituir sus funciones sociometabólicas. Podría ser el caso del carbón en los primeros momentos de la Revolución Industrial. Una segunda posibilidad sería la del *colapso*, en la que los recursos existentes están en proceso de agotamiento o amenazados y no hay nuevos recursos u oportunidades en condiciones de una sustitución ordenada. Podría ser el caso de nuestra sociedad en el momento en que las consecuencias del 'Peak Oil' comiencen a ser verdaderamente perceptibles e inevitables, si se da la circunstancia de que no existan suficientes recursos u oportunidades desarrolladas en tal momento. Una tercera opción sería la de promover una dinámica de transición activa en la que los recursos existentes están en proceso de agotamiento, pero las oportunidades y nuevos recursos están en condiciones de ser dinamizadas y extendidas. Si se consideran algunas llamadas de alerta sobre el posible agotamiento del carbón a finales del siglo XIX, la aparición del petróleo condujo a una situación de este tipo<sup>12</sup>. La cuarta alternativa sería la *defensa del statu quo y la eventual expansión*. A pesar de la existencia de nuevas oportunidades

---

<sup>12</sup> Del mismo modo, las resoluciones creadas en distintas localidades del mundo, para planificar la transición hacia modelos no dependientes del petróleo que veremos en el capítulo 4<sup>o</sup> de este trabajo, entrarían en esta categoría.

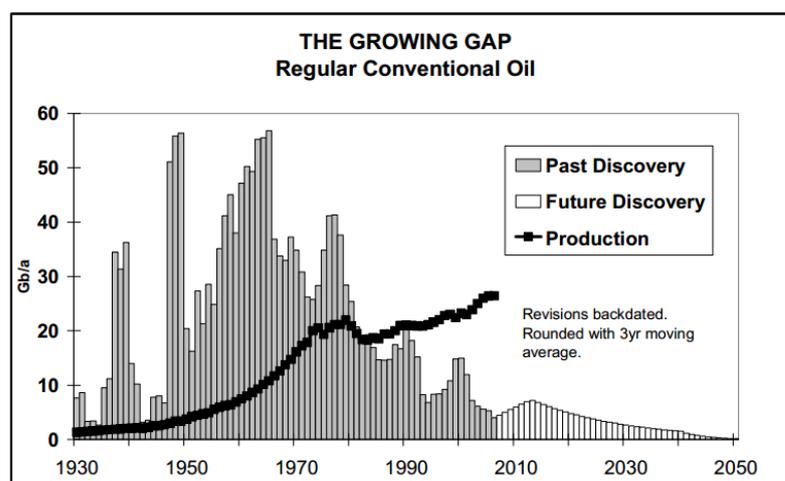
y recursos que permitirían un nuevo orden socio-metabólico, la disponibilidad de los antiguos recursos y las distintas barreras económicas, políticas y sociales al cambio, pueden retrasar intencionadamente el desencadenamiento de la transición.

Como veremos a continuación, la llegada del techo del petróleo, reconocida implícitamente por la Agencia Internacional de la Energía (2010), nos enfrenta como sociedad un debate que se torna inevitable. Un debate que tendrá que abordarse desde el mundo académico, desde el político, el social y otros, puesto que se trata de una cuestión en esencia multidimensional. En última instancia, el dilema radicará en asumir los costes de la no intervención (colapso) o los de intervenir (transición activada y planificada).

### 3. EL TECHO DEL PETRÓLEO.

El 'Peak Oil' o 'Techo del petróleo' es el momento en que se alcanza una tasa de extracción máxima a partir de la cual la oferta anual de petróleo decae progresivamente. Como se puede observar en el Gráfico 5, mientras los descubrimientos de nuevos yacimientos de petróleo son cada vez menores, la evolución del consumo de petróleo convencional se mantiene inexorablemente creciente, al menos desde la década de 1980. Estas tendencias entran en conflicto y devienen en el agotamiento progresivo de las reservas de petróleo. Para analizar con rigor las consecuencias que este declive en las reservas de petróleo puede ocasionar a la economía, es conveniente identificar el papel que este juega en el metabolismo socioeconómico, las distintas funciones que se le da como fuente energética, delimitar las distintas clases de petróleo existentes y analizar el funcionamiento del mercado.

**GRÁFICO 5. Brecha entre extracción y nuevos descubrimientos de petróleo**



Fuente: (ASPO, 2008)

Ante este panorama, las sociedades y el mundo científico se encuentran ante el reto de transitar de un modelo energético y socioeconómico que descansa sobre la extracción, tratamiento y consumo del petróleo hacia otro basado en unos hábitos de consumo energético de menor intensidad y apoyado en las energías renovables.

### **3.1 DEMANDA**

En el epígrafe anterior, llamábamos la atención sobre la gran importancia de los combustibles fósiles, concretamente el petróleo, en el metabolismo de las economías de todo el globo. En el caso de los Países Desarrollados, el petróleo se encuentra totalmente estabilizado como el combustible esencial. Mientras, el metabolismo propio del régimen industrial está en plena fase de aceleración en los países emergentes, desplazando la biomasa (en sus aprovechamientos tradicionales) como pilar básico de estas economías. En el presente apartado describiremos las distintas utilidades del petróleo en el sistema socioeconómico actual, así como la evolución de la demanda de crudo y su distribución internacional.

#### **3.1.1. Usos del petróleo**

La diversidad e importancia de los usos del petróleo y sus derivados señalan la dependencia que las sociedades actuales mantienen con el crudo, no solo en lo que se refiere a la energía. El petróleo ha capilarizado algunos de los sectores de mayor trascendencia para el sistema socioeconómico como materia prima fundamental, por lo que la estabilidad del sistema descansa sobre la del “oro negro”. Cuestiones como los productos que utilizamos generalizadamente, la forma en que nos desplazamos, comemos, calentamos nuestras viviendas o dotamos de energía a la industria son las que tendrán que discutirse en el proceso de transición hacia una economía sin petróleo.

El Cuadro 5 recoge las distintas aplicaciones y usos que tiene el petróleo hoy en día, de lo que se desprende la gran importancia del combustible fósil en nuestra sociedad. Los principales sectores que utilizan los derivados del crudo son el industrial, el agrícola, el del transporte y el energético. El resto de aplicaciones pueden considerarse subsidiarias de la industrial, pues se trata de productos que provienen de dicho sector.

**CUADRO 5. Usos del petróleo y sus derivados**

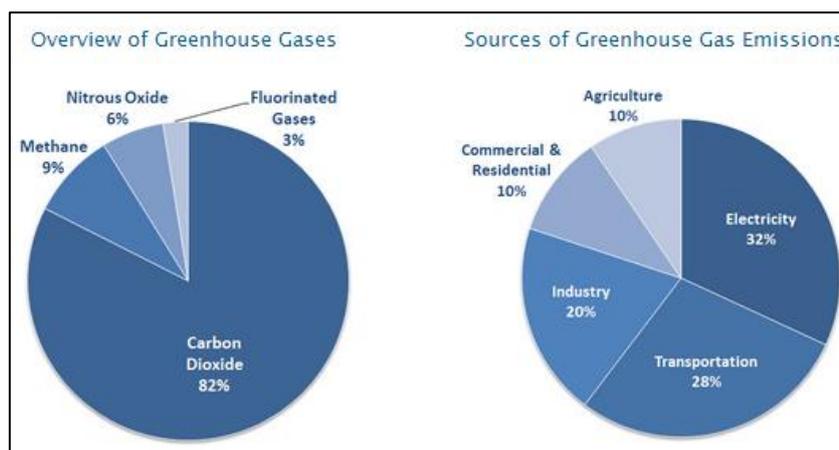
<b>Aplicaciones</b>	<b>Usos</b>	<b>Derivados</b>
<b>Industrial</b>	Plásticos, fabricación de aceros y electrodos, fibra óptica, aceites y lubricantes.	Polietileno, poliestireno, queroseno, fuel oil, tolueno, bases lubricantes, propano.
<b>Agricultura</b>	Fertilizantes, herbicidas, insecticidas.	Xilenos mezclados, disolventes alifáticos y
<b>Combustible /Transporte</b>	Calefacción, motores de automóviles y aviones	Gasóleo, gasolina, gasolina de aviación.
<b>Limpieza</b>	Champús, detergentes, etc.	Ácido nafténico y otros.
<b>Textil</b>	Fibras sintéticas.	Benceno, ciclohexano.
<b>Construcción</b>	Carreteras, pavimentos, cementos, hormigón,	Asfaltos, Ácido nafténico, alquitrán.
<b>Doméstico</b>	Energía.	Butano, cocinol.
<b>Energético</b>	Centrales térmicas.	Petróleo, gas natural.

Elaboración propia

A pesar de ser uno de los sectores que con mayor intensidad utilizan el petróleo –como insumo a través de pesticidas, herbicidas y fertilizantes– las emisiones de GEI de la agricultura solo incluyen mayoritariamente las emisiones de metano procedentes del ganado. Este sesgo hace que los planificadores no ataquen la verdadera fuente de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera cuando se trata de reducir la incidencia del sector agrícola en el cambio climático. Una contabilidad de emisiones que tuviera en cuenta la carga indirecta –desde la cuna hasta la tumba– de cada sector sería un instrumento

de mayor utilidad para el planificador. Veremos que este sesgo afecta a los informes analizados en el Apartado 4. A pesar de ello, no es casualidad que estos sectores sean los mayores emisores de GEI de la economía y que el CO<sub>2</sub> sea, de hecho (Gráfico 6) el principal gas emitido.

**GRÁFICO 6. Emisiones de GEI por tipos y sectores (EE.UU. 2013)**



Fuente: (EPA, 2014)

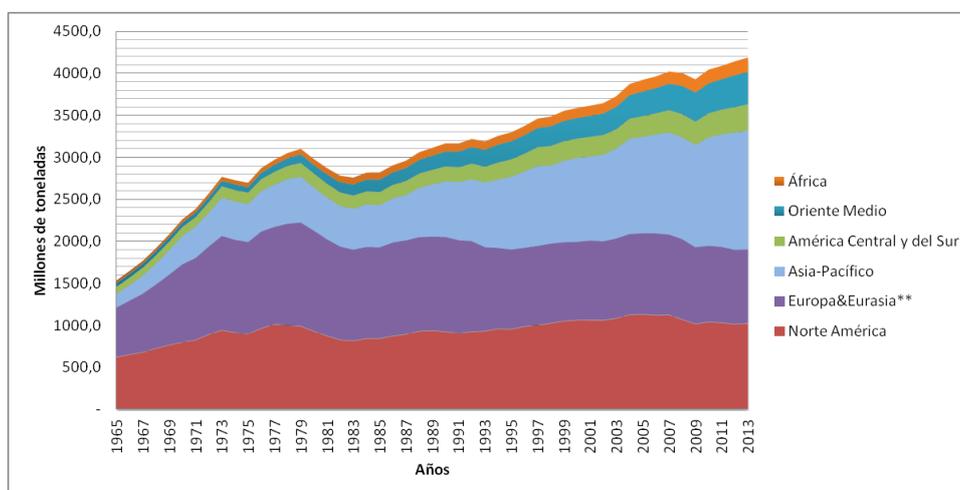
Además, según el Informe de la Agencia de Protección Ambiental (2014) de EE.UU., el peso de los combustibles fósiles (combustión, uso no energético y gas natural) representa el 80% del total de emisiones de GEI.

### 3.1.2. Estructura de la demanda

El consumo de petróleo se ha visto incrementado a nivel global entre 1965 y 2012, medido en toneladas, en un 162'7% o el equivalente a un crecimiento anual medio del 2'03%. Aunque el consumo se ha más que duplicado en el período señalado, este incremento no se ha repartido de manera equilibrada a nivel regional. Como vemos en el Gráfico 7, el aumento se ha debido esencialmente a los países de Asia-Pacífico (en concreto a China e India). Mientras que el consumo de estos países suponía el 10'5% del total en 1965, en 2013 ya representaban cerca del 34% del consumo mundial, por

encima de la Unión Europea, que en 1965 consumía 25'5% del total. Mientras, el máximo consumidor mundial, EE.UU., pasaba de representar el 35'2% al 19'8% en 2012 (British Petroleum, 2014). El consumo se encuentra geográficamente muy concentrado, pues entre la Unión Europea, EE.UU., China e India, se consume la mitad (50'7%) del petróleo mundial.

### GRÁFICO 7. Consumo de petróleo\* (millones de toneladas) por regiones



Elaboración propia a partir de BP World Energy Statistic Review (2014).

\*Incluye petróleo crudo, arenas bituminosas y líquidos de gas natural

\*\*Incluye países caucásicos.

En este contexto, la Agencia Internacional de la Energía (2012) estima que, bajo la hipótesis de un escenario en el que se apliquen políticas de sostenibilidad, la demanda crezca entre 2010 y 2035 en un 0'5%, con China e India liderando las subidas -2'1% y 3'4% respectivamente- y EE.UU. y la Unión Europea reduciendo su consumo en un 0'9% y 1% respectivamente y un aumento de la demanda de biocombustibles a nivel mundial del 5%.

### CUADRO 6. Previsión AIE (2012) de variación en el consumo de petróleo por regiones y países

Región/País	OCDE	EE.UU.	Unión Europea	No OCDE	China	India	Mundo	Biocombustibles
Variación 2011-2035 (%)	-1	-1,4	-1,2	1,7	2,2	3,3	0,6	5,1

Fuente: Elaboración propia a partir de International Energy Agency (2012)

El estancamiento, por lo tanto, recaería sobre los países desarrollados, al tiempo que se asume un incremento superior a la media de las últimas décadas para los emergentes. Análogamente, se apuesta por la sustitución por bioenergía como válvula de escape al progresivo agotamiento que admite analizar la oferta.

### **3.2. OFERTA**

Bajo este epígrafe estudiamos la evolución y distribución geográfica de la extracción de petróleo en los últimos decenios, prestando especial atención al proceso de agotamiento del recurso.

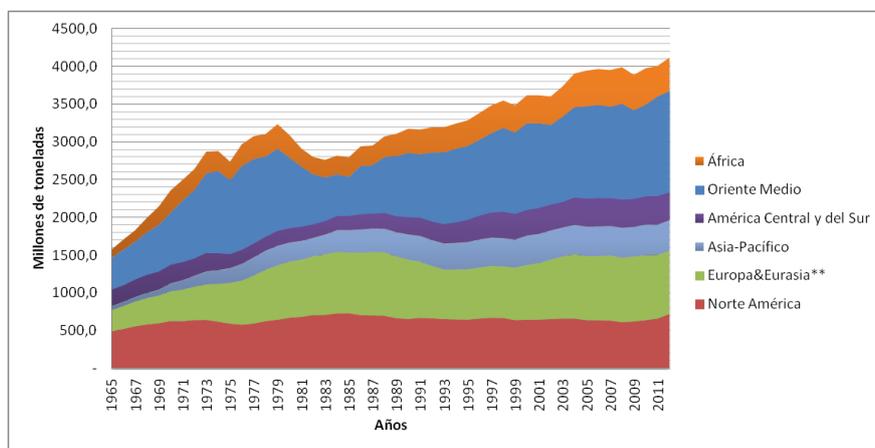
#### **3.2.1. Estructura de la oferta**

La extracción de petróleo también ha aumentado con intensidad en las últimas décadas. Los pozos de Oriente Medio, Rusia y EE.UU. siguen siendo los principales suministradores mundiales (60% del total), con Arabia Saudí como principal país extractor (10% del total). Por otro lado, la mitad de las reservas probadas se encontraban en Oriente Medio en 2013, aunque es Venezuela el país con mayor volumen de reservas (15'8% del total).

El Gráfico 8 nos muestra la evolución y distribución de la extracción de petróleo en perspectiva temporal. Este gráfico revela la brecha existente entre los lugares de consumo y los de extracción, lo que ha de conciliarse a través de un mercado internacional cuya solvencia está fuertemente ligada al propio petróleo. A pesar de ello, hay que tener en cuenta que los datos mostrados por dicho gráfico incluyen varias tipologías de petróleo ajenas al petróleo convencional, el más importante, abundante y utilizado. Es por ello que este no muestra un acontecimiento histórico y de extrema relevancia que la Agencia Internacional de la Energía reconoció en 2010: la llegada del techo del petróleo

convencional (International Energy Agency, 2010).

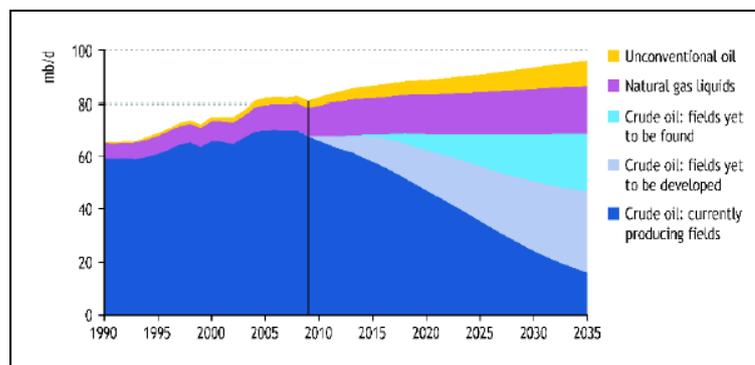
**GRÁFICO 8. Extracción de petróleo\* (millones de toneladas) por regiones**



Elaboración propia a partir de BP World Energy Statistic Review (2014).  
 \*Incluye petróleo crudo, arenas bituminosas y líquidos de gas natural.  
 \*\* Incluye países caucásicos.

En el Gráfico 9 comprobamos que –en el marco del escenario en el que se apliquen nuevas políticas energéticas previsto por la AIE– la extracción de petróleo convencional alcanzó su máximo en torno a 2006. Además, según el mismo, la extracción del crudo lograría, a lo sumo, mantenerse en los niveles actuales gracias a los yacimientos por desarrollar y por descubrir, mientras la oferta total crecería apoyada en el gas natural y el petróleo no convencional.

**GRÁFICO 9. Extracción mundial de petróleo por tipo en el escenario de nuevas políticas (AIE, 2010)**



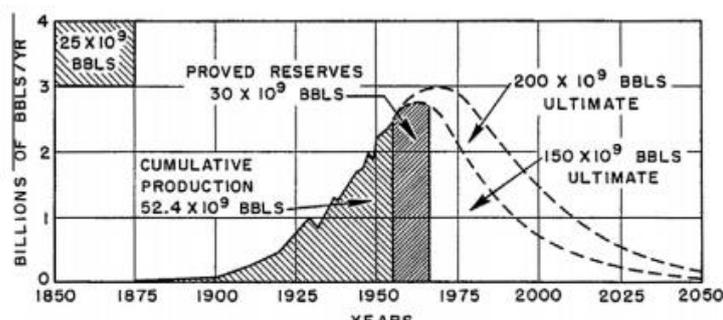
Fuente: (International Energy Agency, 2010)

Sin embargo, ha de tenerse en cuenta que este gráfico no solo reconoce la llegada del techo del petróleo convencional, sino que oculta la capacidad energética del restante, pues los datos ofrecidos son de volumen (megabarriles diarios). En el último apartado de este epígrafe veremos por qué estas predicciones presentan algunos problemas difíciles de superar.

### 3.2.2. Evolución teórica (Curva de Hubbert)

El geofísico Marion King Hubbert predijo en 1956, mediante su conocido modelo, la llegada del cénit de la extracción petrolífera de EE.UU. En su famosa curva, Hubbert anunció que el máximo nivel de extracción se produciría en algún momento entre 1965 y 1970 (Gráfico 10). De hecho, EE.UU. nunca ha vuelto a extraer tanto petróleo como en 1970, por lo que la precisión de predictiva del modelo se ganó el respeto de la comunidad científica, aunque no fue suficiente para que los economistas le prestaran atención.

**GRÁFICO 10. Curva de Hubbert para EE.UU.**

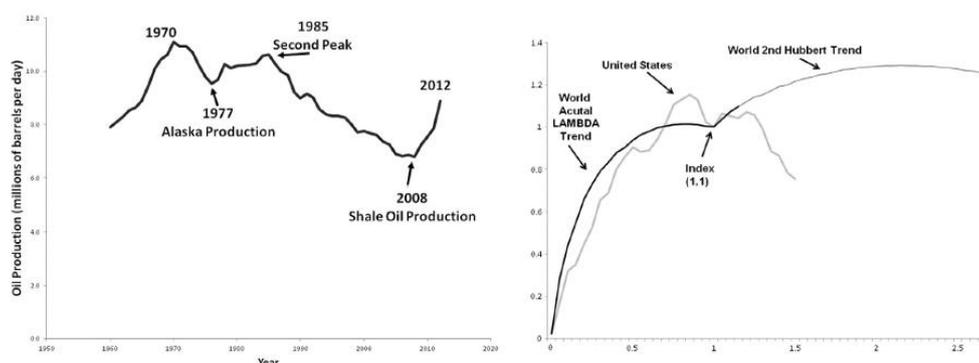


Fuente: Hubbert (1956)

La curva de Hubbert ha sido generalizada como modelo de extracción de todo tipo de recursos, también de minerales metálicos (Mason et al, 2011; Prior, et al, 2012). No obstante, algunas apreciaciones han sido añadidas a este modelo, tales como la planteada por D.B. Reynolds (2014) en la que existirían ciclos múltiples que pudieran retrasar el agotamiento. Vemos que EE.UU. inicia un nuevo ciclo de crecimiento (Gráfico 11), neutralizando temporalmente la

deriva decreciente de la Curva de Hubbert, gracias a la explotación de los esquistos bituminosos, un petróleo no convencional de peor calidad y más costoso de extraer.

### GRÁFICO 11. Curvas de Hubbert de ciclos múltiples



Curva Multiciclo de EE.UU (a) y Mundial (como índice de producción anual sobre acumulada) (b). Fuente: (Reynolds, 2014).

Estos ciclos podrían tener el efecto, a nivel agregado, de aumentar la extracción mundial, algo que la Agencia Internacional de la Energía utilizará para minimizar las consecuencias de la llegada del techo del petróleo<sup>13</sup>.

#### 3.2.3. Características del declive

Nos enfrentamos a un escenario de declive que no se reduce a una tasa de extracción en un descenso constante, acompañado de ajustes armónicos en los precios que permitan una recomposición del mercado, permitiendo que los recursos financieros vayan reasignándose a las distintas alternativas al petróleo. La realidad responde a un sistema complejo en el que las interacciones entre distintos hechos van a determinar la dirección de los acontecimientos.

Como señalábamos anteriormente, la AIE confía en esquivar el techo del petróleo gracias a los nuevos descubrimientos y al aumento de la extracción del petróleo no convencional. Veremos que ambas soluciones presentan

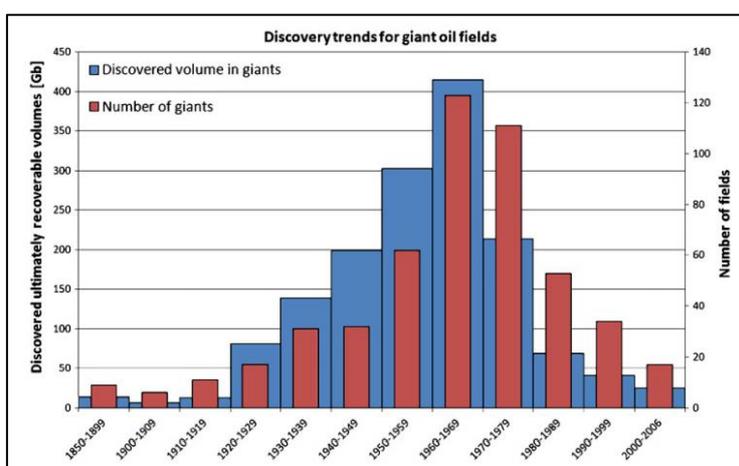
<sup>13</sup> Sobre este asunto, de vital importancia, volveremos más adelante.

inconvenientes y, sobretudo, muchas dudas. Los mecanismos de precios y las mejoras, a su vez, presentan serias limitaciones como elemento de contrapeso al declive. Las consecuencias de este nuevo escenario se dejarán sentir en todas las esferas de la economía y de la vida cotidiana, como se desprende de las numerosas aplicaciones y la dependencia energética del combustible fósil.

### 3.2.3.1. Los nuevos descubrimientos

Suele diferenciarse entre dos tipos de yacimientos petrolíferos, por su tamaño: los gigantes y los enanos. Los primeros son los más grandes (0'5 Gb de recursos recuperables restantes o producir 100.000 barriles diarios por más de un año) y a pesar de no ser más que el 1% de los yacimientos, en 2009 generaban el 60% de la extracción a nivel mundial (Höök, M., Hirsch, R. y Aleklett, K., 2009). Según este mismo estudio, con una muestra representativa de los gigantes, se demuestra que la tasa de agotamiento de estos es mucho mayor en los primeros años tras su declive que en los últimos años de su explotación.

**GRÁFICO 12. Evolución en el descubrimiento y número de yacimientos gigantes**



Descubrimientos anuales y número, basado en los datos más optimistas de Recursos Recuperables Restantes. Fuente: (Höök, M., Hirsch, R. y Aleklett, K., 2009)

Por otro lado, en otro estudio empírico focalizado en los yacimientos de Noruega, se revela que la tasa de agotamiento de los yacimientos enanos es mayor que la de los gigantes (Höök, M. y Aleklett, K., 2008). En tanto que el número de gigantes descubiertos es decreciente (Gráfico 12) la mayor parte de ellos estará en su primera fase de declive –la de mayor tasa de agotamiento – y el peso de los yacimientos enanos –con tasas de agotamiento mayores– se incrementará en los próximos años. Estas dos circunstancias nos llevan a establecer un escenario en el que las tasas de agotamiento del petróleo no sean constantes, sino exponenciales, lo que podría precipitar una transición por colapso.

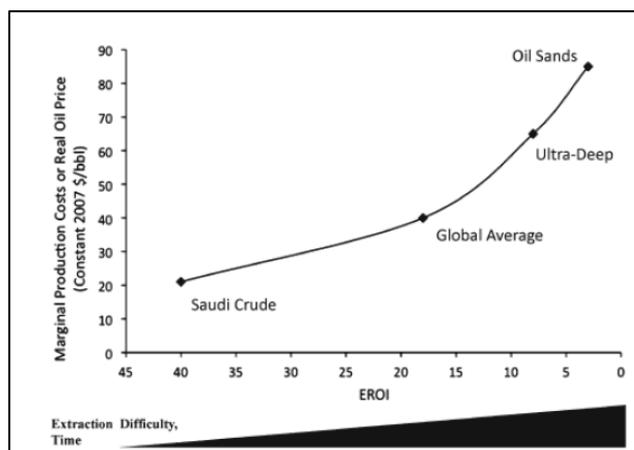
### *3.2.3.2. El petróleo no convencional*

Como veíamos, la AIE reconocía en su Informe de 2010, que se había alcanzado el pico del petróleo convencional en torno a 2006. Esto nos enfrenta a una realidad en la que ya hemos extraído el 50% de las reservas de petróleo y que tan solo queda un declinante 50% restante de más difícil extracción. Tal como predicen las Curvas Multiciclo de Hubbert, una nueva circunstancia puede iniciar un nuevo período de auge que retrase la llegada del verdadero techo. En efecto, si consideramos todos los tipos de petróleo y no solo el convencional, la AIE prevé un nuevo ciclo de crecimiento apoyado precisamente en estos petróleos no convencionales. Sin embargo, esto se enfrenta a notables dificultades. El Gráfico 13 toma el petróleo Saudí como el de menores costes de extracción y lo compara con la media global, los petróleos ultra-profundos y las arenas bituminosas. Sobre estos últimos recae la responsabilidad de mantener una tasa de extracción de petróleo que satisfaga la creciente demanda mundial. Además de ser más costosos de extraer y, por lo tanto, más caros en su comercialización, presentan una EROI<sup>14</sup> decreciente.

---

<sup>14</sup> La Tasa de Retorno Energético (EROI en sus siglas en inglés) es el cociente entre la energía total generada por una fuente energética y la energía invertida en la generación. Tasas de Retorno Energéticas próximas a 1 indican que la energía producida no es mucho mayor que la invertida en su producción.

### GRÁFICO 13. Coste de extracción y relación con su EROI del petróleo por tipos



Fuente: (Hall, Ch. y Kent A. Klitgaard, 2012, pág. 381)

Así pues, las tipologías que están llamadas a frenar la caída de la producción petrolífera son crecientemente costosas y decrecientemente eficientes en términos energéticos<sup>15</sup>. Lo que la previsión de la AIE (Gráfico 9) oculta es que, aunque el volumen del petróleo pueda aumentar gracias al no convencional, la deriva de la capacidad energética es inequívocamente decreciente.

#### 3.2.3.3. Las limitaciones de los mecanismos de precios y la tecnología.

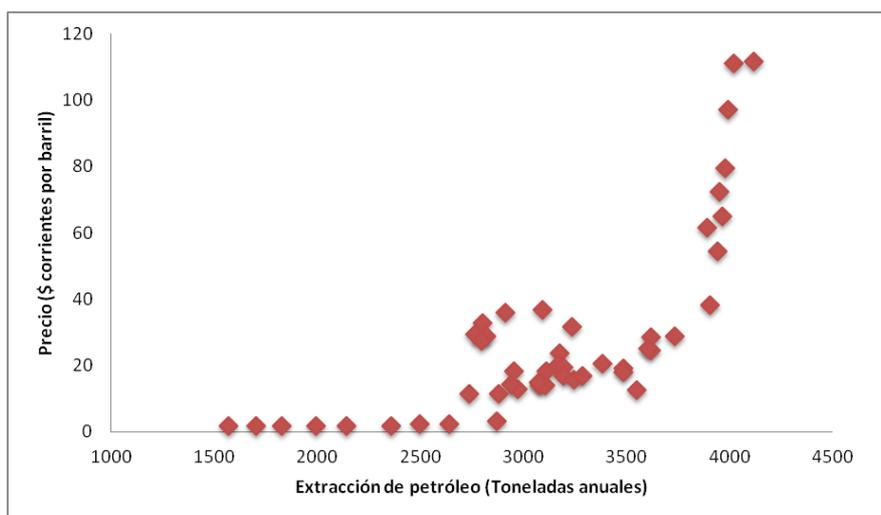
Como ya se puso de manifiesto en la polémica sobre el Informe Meadows (1972) *Los Límites al Crecimiento*, economistas convencionales como Nordhaus, Samuelson, o Stiglitz plantearon que las variaciones de los precios activarían los mecanismos de la oferta y la demanda ajustando el mercado a largo plazo.

En primer lugar, por lo relatado anteriormente, cabría preguntarse si es factible esperar al largo plazo para solucionar esta crisis de recursos. Además, analizando las combinaciones históricas de precios y niveles de producción,

<sup>15</sup> Además, su extracción se encuentra condicionada a técnicas agresivas con el medio ambiente, con períodos de actividad muy cortos y tasas de agotamiento en sus pozos muy intensas. Profundizamos en esto en el siguiente subapartado.

advertimos que nos encontramos en una fase inelástica de la curva de Oferta. Como indica el Gráfico 14, el nivel actual de extracción de petróleo nos sitúa en la parte inelástica de la curva, lo que impide que la oferta reaccione ante variaciones en los precios y en la demanda.

**GRÁFICO 14. Curva de oferta del petróleo**



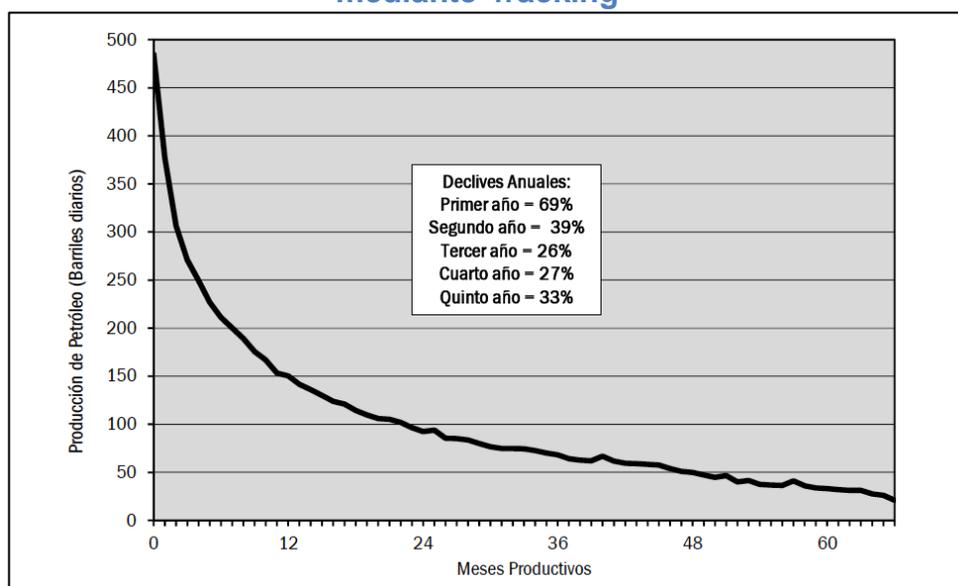
Muestra de precios y cantidades (1965-2012). Fuente: Elaboración propia a partir de BP Statistical Review (2013).

Por otra parte nos encontramos con que la tecnología, en el mejor de los casos, puede contribuir a extraer más rápidamente el petróleo. Es el caso de la extensión de nuevas técnicas como la fractura hidráulica o ‘fracking’ para la extracción de petróleos no convencionales, presentada como la solución para superar el techo del petróleo pero que tan solo tiene la capacidad, paradójicamente, de acelerar su agotamiento. Hughes (2013) pone al descubierto las carencias de esta nueva técnica a través del estudio de los pozos en explotación de EE.UU., país pionero en ‘fracking’. El campo Bakken<sup>16</sup> es el mayor y más productivo exponente de la “Revolución de las lutitas”, el tipo de petróleo no convencional que representa la gran esperanza de EE.UU. para mantener su independencia energética. La tasa exponencial de declive de sus

<sup>16</sup> Los dos grandes campos, el de Bakken y el de Eagle Fond producen en conjunto el 81% de todos los barriles lutitas, y los 5 campos más grandes el 92%. El comportamiento de estos grandes campos determina el devenir de la extracción de este tipo de petróleo no convencional.

pozos (Gráfico 15) no solo pone de manifiesto el rápido agotamiento que sufren estos nuevos yacimientos –en los que, recordemos, la AIE confía para aumentar la extracción de petróleo de las próximas décadas– sino también los requerimientos de nuevas inversiones que mantengan los ritmos globales de extracción en el conjunto del campo.

**GRÁFICO 15. Tasa de declive de los pozos de Bakken. Extracción mediante 'fracking'**



Fuente: (Hughes, 2013).

Heinberg (2014) concluye que la extracción de estos petróleos trae consigo unos costes económicos y ambientales que la sociedad no puede permitirse. Además, se emplea con certera dureza al señalar que el auge de la extracción mediante estas técnicas responde a necesidades financieras cortoplacistas que se traducirán en un desastre para el país (EE.UU.) y las futuras generaciones. Lo que la tecnología jamás podrá hacer es traspasar las restricciones biofísicas y violar el 2º Principio de la Termodinámica, por lo que todo el petróleo que extraigamos y consumamos, simplemente se disipará en un proceso irreversible. La tendencia, siempre que se consuma un solo barril de petróleo, estará dirigida a su desaparición (despreciando su tasa de reposición, que excede el tiempo geológico de los seres humanos).

### 3.2.3.3. Resumen del escenario futuro de declive.

En definitiva, aunque no podemos esperar un escenario de consecuencias determinadas y unívocas, la esperanza convencional de que los mecanismos de precios acompañen un ajuste gradual en el mercado de petróleo no parece lo más probable habida cuenta de la insensibilidad de la oferta al nivel de precios. Por lo tanto, ha de descartarse la posibilidad de que los mecanismos de la oferta y la demanda permitan una transición ordenada hacia un modelo no dependiente del petróleo. Nos enfrentamos, más bien, a un contexto de volatilidad en los precios y de continuas fricciones entre una oferta de petróleo convencional exponencialmente decreciente y una demanda creciente. La calidad y coste de los petróleos convencionales contribuirán a esta inestabilidad en el mercado, así como a un potencial energético decreciente. Además, la brecha geográfica entre los lugares donde se extrae el petróleo y donde se consume hace que el modelo petrolífero sea autodependiente, pues son necesarios flujos comerciales a escala internacional que dependen de la rentabilidad energética y económica del combustible. Esto impondrá una restricción adicional al modelo, que se verá obligado a cambiar radicalmente en las próximas décadas.

La inestabilidad en los precios, el rápido declive de extracción en los yacimientos, los mayores costos de explotación y una menor eficiencia energética son las principales características del futuro tras la llegada del techo del petróleo. Esta situación afectará a prácticamente todas las esferas de la economía y la vida cotidiana, dejándose sentir de manera especialmente virulenta en los sectores el transporte (y comercio), agricultura (y alimentario), el industrial y el energético.

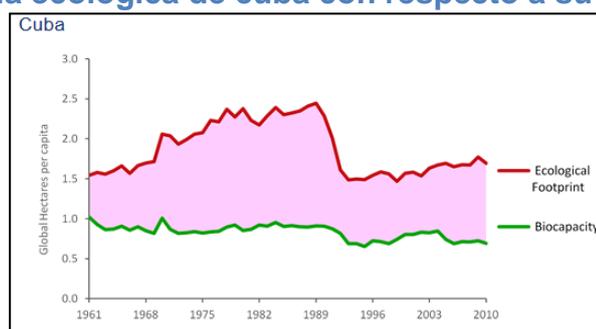
## **4. ESTUDIO DE LAS TRANSICIONES**

### **4.1. ANÁLISIS DE LAS EXPERIENCIAS DE TRANSICIONES POST-PETRÓLEO.**

En este marco en el que la dependencia del combustible que soporta el peso del sistema socioeconómico, algunos elementos de la sociedad civil han comenzado a reaccionar con decisión. En diferentes ámbitos proliferan experiencias y planes de transición hacia un futuro sin petróleo, algunos en marcha y con apoyo institucional, otros en fase de ebullición esperando su oportunidad en los nichos en los que tienen lugar. R. Bermejo (2008) diferencia dos tipos de transiciones post-petróleo. Por un lado, las empujadas por una escasez incidental y por otro, aquellas que tienen en cuenta de manera explícita o implícita la llegada del techo del petróleo. Siguiendo la propuesta de Fischer-Kowalski (2011), las primeras podrían encuadrarse en una situación -a nivel local o regional, no global- en la que los recursos antiguos (fundamentalmente el petróleo) están agotados pero existen nuevos recursos y oportunidades para que el sistema sociometabólico pueda reproducirse. Es el caso de Suecia en 1973, en el que ante la fuerte subida de los precios del petróleo se decidieron tomar medidas para reducir su consumo y se establecieron iniciativas restrictivas de ahorro inmediato como la prohibición de utilizar los vehículos privados un día a la semana, reducir el tiempo de alumbrado público y el consumo de calefacción en las escuelas. Se establecieron medidas restrictivas de ahorro inmediato como la prohibición de utilizar los vehículos privados un día a la semana, reducir el tiempo de alumbrado público y el consumo de calefacción en las escuelas. La repentina escasez obligó a establecer medidas de supervivencia no planificadas ordenadamente. Para poner en marcha una transición que aproveche esos

nuevos recursos y oportunidades la política económica a largo plazo, como recomienda el enfoque de la Gestión de Transiciones, cobra importancia. Así, en Suecia como en Cuba –en 1990 tras la caída de la Unión Soviética, principal suministrador de la isla– se tomaron medidas como la potenciación de las energías renovables y la reducción del consumo. Merece la pena detenerse en el caso cubano donde, obligados por las circunstancias, llevaron a cabo una transformación de calado. Se descentralizó la producción de energía con pequeñas plantas más eficientes que las viejas centrales previas a este *Período Especial*, se estimuló la actividad económica en el mundo rural y se transitó hacia un modelo agrícola ecológico y basado en la permacultura que representa un 80% del total. La agricultura cubana, orientada anteriormente a los monocultivos para la exportación de azúcar, caminó hacia un modelo en el que, en 2006, el país producía el 65% de los alimentos que necesitaba para cubrir sus necesidades, descendiendo la dependencia de importaciones en las últimas décadas (Murphy, P. y Morgan, F., 2013). Al abrazar los principios de la agroecología, Cuba apostó por un modelo menos intensivo en la utilización de un petróleo (pesticidas, fertilizantes, transporte) del que carecían, contribuyendo con ello a una mejor seguridad y soberanía alimentaria, así como a reducir drásticamente su huella ecológica y la brecha entre esta y su biocapacidad<sup>17</sup>.

### GRÁFICO 16. Huella ecológica de cuba con respecto a su biocapacidad

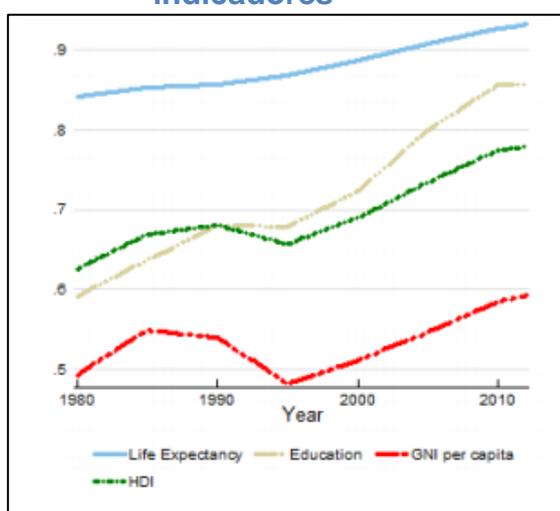


Fuente: (Global Footprint Network)

<sup>17</sup> La Huella Ecológica mide la cantidad de tierra y mar biológicamente productivos que un país requiere para producir los recursos que consume y absorber los residuos que genera. La biocapacidad es la habilidad de un ecosistema para producir materiales biológicos y absorber desechos. La comparación de ambas variables nos indica en qué medida el sistema socioeconómico de un país se comporta por encima o por debajo de la capacidad ecológica de su territorio. Para más información sobre la metodología de cálculo de la Huella Ecológica consultar Borucke et al. (2013).

Esta estrategia se vio fuertemente apoyada por la colaboración de toda la sociedad y por la cooperación internacional. El agravante de la situación cubana por el bloqueo comercial de EE.UU. ha sido contestado con acuerdos de cooperación con otros países del entorno, con los que intercambia los servicios en los que es puntera mundial (médicos, investigadores) por el petróleo que todavía consume hoy en día y otros bienes que necesita importar.

**GRÁFICO 17. SERIE temporal de IDH de cuba desagregado por indicadores**



Fuente: (UNDP, 2013)

Hoy en día, Cuba tiene un nivel de consumo energético en términos de toneladas de petróleo equivalente por persona de 1,03, muy inferior a la media mundial (1,80), muy por debajo de EE.UU. (el mayor de todos, con un 7,03) y también por debajo de los países de América Latina (1,80). Asimismo, presenta unos niveles de emisiones de CO<sub>2</sub> en toneladas por persona de 2,40, también por debajo de la media mundial, EE.UU. y América Latina: 4,29, 16,0 y 2,16 respectivamente (International Energy Agency, 2011). El resultado es un ejemplo de cómo un país puede, incluso en una situación de carácter incidental, no anticipada, reducir su presión sobre el medio ambiente y acercarse al cumplimiento de los requisitos de sostenibilidad sin hacer sufrir sus niveles de desarrollo humano. De hecho, su Índice de Desarrollo Humano (IDH) presenta un nivel superior al de su entorno (0,780 frente al 0,741 de

América Latina y Caribe) y que, como muestra el Gráfico 17, ha persistido en su crecimiento desde que se llevó a cabo la transición (UNDP, 2013). En ambos casos, fueron cambios en el Entorno los que provocaron una reacción abrupta del sistema socioecológico (Régimen) en la dirección que imponía la nueva situación, a través de una ventana de oportunidad que no dejaba espacio para la duda.

En un plano más local, el escenario de incertidumbre energética que abre la llegada del techo del petróleo ha llevado a un número no desdeñable de planificadores urbanos a preparar sus localidades para aumentar su capacidad para resistir y superar shocks en el mercado de petróleo. Buena parte de estas experiencias han tenido lugar en entornos municipales o regionales, en un primer momento pequeños, pero que cada vez son de mayor tamaño, creciendo así el número de personas que residen en lugares con una transición -con variables grados de desarrollo- planificada.

**CUADRO 7. Resoluciones sobre el peak oil de las localidades más relevantes**

Localidad	Fecha	Población	Localidad	Fecha	Población
<b>Willitis (California)</b>	dic-05	15.000	<b>Estado de Connecticut</b>	nov-07	3.400
<b>Franklin (Nueva York)</b>	dic-05	2.000	<b>Berkeley (California)</b>	dic-07	101.000
<b>Burnaby (Canadá)</b>	ene-06	203.000	<b>Bloomington (Indiana)</b>	dic-07	72.000
<b>Asociación de Gobernadores del Sur de California</b>	mar-06	18.000.000	<b>Sunshine Coast (Australia)</b>	dic-07	260.000
<b>San Francisco</b>	abr-06	744.000	<b>Hervey Bay (Australia)</b>	dic-07	52.000
<b>Área metropolitana de Portland (Oregon)</b>	abr-06	1.400.000	<b>Darebin (Australia)</b>	feb-08	128.000
<b>Hamilton (Canadá)</b>	abr-06	505.000	<b>Spokane (Washington)</b>	feb-08	201.000
<b>Isla de la Palma</b>	abr-06	86.000	<b>Maribyrnong (Australia)</b>	abr-08	63.000
<b>Portland (Oregon)</b>	may-06	537.000	<b>Estado de Minnesota</b>	may-08	5.198.000
<b>Bloomington</b>	jul-06	72.000	<b>Condado de Whatcom</b>	may-08	186.000
<b>Brisbane (Australia)</b>	ago-06	1.858.000	<b>Bellingham (Washington)</b>	may-08	78.000
<b>Oakland (California)</b>	oct-06	402.000	<b>Cleveland (Ohio)</b>	jun-08	438.000
<b>Marrickville (Australia)</b>	feb-07	76.000	<b>Condado de Somerset (Reino Unido)</b>	jul-08	518.000
<b>Condado de Alachua (Florida)</b>	mar-07	240.000	<b>Chapel Hill (Carolina del Norte)</b>	oct-08	55.000
<b>Austin (Tejas)</b>	sep-07	743.000	<b>Nottingham (Reino Unido)</b>	dic-08	289.000
<b>Oakland (California)</b>	oct-06	402.000	<b>Cleveland (Ohio)</b>	jun-08	438.000

Fuente: (Bermejo, 2009)

Los actores que ponen en marcha estas planificaciones también son distintos, pudiendo distinguir entre institucionales (administraciones públicas locales, regionales y nacionales) y no institucionales (ONGs y organizaciones sociales). Distingue Bermejo (2009) tres situaciones que pueden dar origen a la planificación de una transición: la lectura de una resolución o declaración en las que se identifica el problema y se alerta sobre sus consecuencias aunque finalmente pueda no desarrollarse esa planificación o, simplemente, la puesta en marcha de esta planificación sin declaraciones o resoluciones explícitas sobre el peligro de la dependencia energética con unos recursos declinantes. El Cuadro 7 nos muestra una relación de las ciudades o áreas más relevantes que han aprobado resoluciones en torno al techo del petróleo. La suma de las poblaciones de estas zonas más relevantes arroja una cifra de más de 33 millones de personas<sup>18</sup> que ya residen en zonas que han comenzado a planificar su futuro sin petróleo.

#### CUADRO 8. Objetivos más relevantes de las principales regiones

Región	Objetivo
<b>Suecia</b>	Reducción de la dependencia de los combustibles fósiles en un 40/45% para 2020
<b>Sur de California</b>	Reducción de la dependencia de los combustibles fósiles en un 25% en relación con 1990 20% de la electricidad de origen renovable para 2010 y 30% para 2020
<b>Portland</b>	Reducción de la dependencia de los combustibles fósiles en un 50% para 2025
<b>Oakland</b>	Reducción anual del consumo de petróleo en un 3% (30% para 2020) Estudiar la viabilidad para obtener el 50% de la electricidad de origen Producción local de alimentos que abastezca el 30% del consumo para 2030 (partiendo de cero) y cero residuos para 2020
<b>Brisbane</b>	Reducción del consumo de petróleo en un 50% para 2026 Eliminar las emisiones de dióxido de carbono de las viviendas para 2050 Objetivos evaluables de reducción del consumo de agua
<b>Maribyrnong</b>	Reducción del consumo de petróleo en un 50% para 2025 Incremento anual del 1,5% de la compra verde
<b>San Francisco</b>	Producción municipal de electricidad de forma renovable igual al 51% del Reducir en un 75% los residuos para 2010 y el 100% para 2020

Fuente: (Bermejo, 2009)

<sup>18</sup>Se ha deducido la población de Bloomington (Indiana), con dos resoluciones aprobadas en el período analizado.

Estas resoluciones suelen venir acompañadas de una declaración en la que se describe, con diferentes grados de profundidad, la situación de dependencia del petróleo y las estrategias a llevar a cabo, seguido de un análisis de vulnerabilidad de la localidad o región. Estas estrategias, que se resumen en el Cuadro 8, están encaminadas a reducir la dependencia del combustible fósil, desarrollar fuentes de energía renovables, producción local de alimentos y reducción de emisiones de viviendas (calefacción), consumo de agua y residuos. Estas medidas tienen como objetivo reducir la dependencia de los combustibles fósiles en sus usos energético, calefactor y de transporte (producción local de alimentos) esencialmente.

Muchas de estas experiencias son dinamizadas o promovidas por movimientos como las *Postcarbon cities* ([www.postcarboncities.net](http://www.postcarboncities.net)), a través del *Post Carbon Institute* (<http://www.postcarbon.org/>) o los *Transition towns* ([www.transitionnetwork.org](http://www.transitionnetwork.org)), de las Transition Network. La primera de ellas está más ligada a las experiencias surgidas en EEUU, mientras que la segunda tiene un carácter más global. Como vemos en el Gráfico 18, la abrumadora mayoría de estrategias de transición tienen lugar en los países OCDE, destacando Europa, mientras que un número muy reducido de ellas se dan en Asia, Sudamérica y África. El grueso de los informes sobre transiciones hacia la sostenibilidad que vamos a analizar son de carácter estatal y provienen eminentemente de los Países Desarrollados.

**GRÁFICO 18. Mapa de experiencias post-petróleo**



Fuente: (Transition Networks)

## 4.2. MARCO DE ESTUDIO

Como ya se advirtió en la introducción, el principal objetivo de estudio de este Trabajo Final de Máster es la recopilación y análisis de un conjunto de informes de transiciones hacia la sostenibilidad (a escala de país), con el escenario de un futuro de escasez del petróleo como telón de fondo. Estos informes, de ámbito nacional en su inmensa mayoría, son en realidad planes de desarrollo sostenible y lucha contra el cambio climático, por lo tanto con los límites naturales del planeta como hilo conductor.

En concreto, estos planes (recogidos en los Cuadros 9 y 10) ponen el acento en transitar hacia un modelo socioeconómico hipocarbónico, con la intención explícita de construir su futuro desarrollo sin contribuir al cambio climático. Los mecanismos sociales y políticos de cierre que permiten el mantenimiento de un *statu quo* que conduce a una transición por colapso pueden ser desbloqueados por las ventanas de oportunidad que abren estos planes, especialmente en aquellos casos en los que se vean aprobados por los Gobiernos. A pesar de las ventajas que esta situación plantearía frente a las transiciones que ya sucedieron anteriormente por colapso, la cuestión no es tan sencilla como hacer una planificación razonable para su puesta en práctica. Dado el carácter complejo de los sistemas sociometabólicos, podemos esperar que la transición esté sujeta a incertidumbres, tensiones entre los agentes de los distintos niveles del sistema y entre los territorios y a no pocas contradicciones, sobre las cuales trataremos de arrojar algo de luz.

**CUADRO 9. Ficha técnica de los informes**

<b>Título y referencia</b>	<b>Fuente</b>	<b>Institución</b>	<b>Procedencia</b>	<b>Enlace</b>
<b>World in Transition- A social contract for Sustainability (WBGU, 2011)</b>	Consejo Consultivo Alemán para el Cambio Climático	Civil	País Desarrollado (Alemania)	<a href="http://www.wbgu.de/en/flagship-reports/fr-2011-a-social-contract/">http://www.wbgu.de/en/flagship-reports/fr-2011-a-social-contract/</a>
<b>Low Carbon Growth Plan for Australia (Climate Works Australia, 2010)</b>	Climate Works Australia	Civil	País Desarrollado (Australia)	<a href="http://www.climateworksaustralia.org/Low%20Carbon%20Growth%20Plan.pdf">http://www.climateworksaustralia.org/Low%20Carbon%20Growth%20Plan.pdf</a>
<b>World on the Edge: How to Prevent Environmental and Economic Collapse (Brown, 2011)</b>	Earth Policy Institute	Civil	País Desarrollado (Entidad internacional)	<a href="http://www.earth-policy.org/books/wote">http://www.earth-policy.org/books/wote</a>
<b>Energy ( R ) evolution. Towards a fully renewable energy supply (Teske, 2010)</b>	Greenpeace Internacional	Civil	País Desarrollado (Entidad internacional)	<a href="http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/100708-01.pdf">http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/100708-01.pdf</a>
<b>The Energy Report: 100% Renewable Energy by 2050 (WWF,2011)</b>	WWF Internacional	Civil	País Desarrollado (Entidad Internacional)	<a href="http://wwf.panda.org/what_wedo/footprint/climate_carbon_energy/energy_solutions/">http://wwf.panda.org/what_wedo/footprint/climate_carbon_energy/energy_solutions/</a>
<b>Zero Carbon Britain 2030 (Kemp&amp;Wexler,2010)</b>	Centro de Tecnologías Alternativas	Civil	País Desarrollado (Gran Bretaña)	<a href="http://zerocarbonbritain.org/">http://zerocarbonbritain.org/</a>
<b>Zero Carbon Australia 2020-Stationary Energy Plan (Wright &amp; Hearps, 2010)</b>	Universidad de Merlbourne	Civil	País Desarrollado (Australia)	<a href="http://beyondzeroemissions.org/zero-carbon-australia-2020">http://beyondzeroemissions.org/zero-carbon-australia-2020</a>
<b>A Roadmap for Moving to a Competitive Low Carbon Economy in 2050 (European Comission, 2011)</b>	Comisión Europea	Gubernamental	País Desarrollado (Unión Europea)	<a href="http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0112:FIN:EN:PDF">http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0112:FIN:EN:PDF</a>

Elaboración propia

**CUADRO 10. Ficha técnica de los informes (continuación)**

<b>Título y referencia</b>	<b>Fuente</b>	<b>Institución</b>	<b>Procedencia</b>	<b>Enlace</b>
<b>China's Policies and Actions in Responding to Climate Change. White Paper (Gobierno de la República Popular China, 2011a)</b>	Gobierno de la República Popular China	Gubernamental	País Emergente (China)	<a href="http://cbi.typepad.com/china-direct/2011/05/chinas-twelfth-five-new-plan-the-full-english-version.html">http://cbi.typepad.com/china-direct/2011/05/chinas-twelfth-five-new-plan-the-full-english-version.html</a>
<b>China's Twelfth Five Year Plan (2011-2015) (Gobierno de la República Popular de China, 2011b)</b>				<a href="http://www.gov.cn/english/official/2011-11/22/content_2000272.htm">http://www.gov.cn/english/official/2011-11/22/content_2000272.htm</a>
<b>Interim Report of the Expert Group on Low Carbon strategies for inclusive Growth (2011)</b>	Gobierno de India	Gubernamental	País Emergente (India)	<a href="http://planningcommission.nic.in/reports/genrep/Inter Exp.pdf">http://planningcommission.nic.in/reports/genrep/Inter Exp.pdf</a>
<b>National Action Plan on Climate Change (2018)</b>				<a href="http://pmindia.nic.in/Pg01-52.pdf">http://pmindia.nic.in/Pg01-52.pdf</a>
<b>Energy Concept for an Environmentally Sound, Reliable and Affordable Energy Supply (Gobierno de Alemania, 2010)</b>	Gobierno de Alemania	Gubernamental	País Desarrollado (Alemania)	<a href="http://www.bmu.de/files/english/pdf/application/pdf/energiekonzept_bundesregierung_en.pdf">http://www.bmu.de/files/english/pdf/application/pdf/energiekonzept_bundesregierung_en.pdf</a>
<b>Our Future Energy (Gobierno de Dinamarca, 2011)</b>	Gobierno de Dinamarca	Gubernamental	País Desarrollado (Dinamarca)	<a href="http://www.ens.dk/Documents/Netboghandel%20-%20publikationer/2011/our_future_energy%20web.pdf">http://www.ens.dk/Documents/Netboghandel%20-%20publikationer/2011/our_future_energy%20web.pdf</a>
<b>Climate Change Scoping Plan (Gabinete de Recursos del Aire de California, 2008)</b>	Gobierno de California	Gubernamental	País Desarrollado (California, EE.UU.)	<a href="http://www.arb.ca.gov/cc/scopingplan/document/scopingplandocument.htm">http://www.arb.ca.gov/cc/scopingplan/document/scopingplandocument.htm</a>

Elaboración propia.

### 4.3. ANÁLISIS DE LOS INFORMES Y CLASIFICACIÓN.

Todos los planes analizados tienen como horizonte una economía con un nivel de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), expresados habitualmente en toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> pero que incluyen además del dióxido de carbono los otros 5 gases recogidos por el Protocolo de Kyoto: el metano, óxido de nitrógeno, hidrofluorocarburos, perfluorocarburos y hexafluoruro de azufre.

Con distintos grados de premura, los planes desglosan las medidas necesarias para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones, en algunos casos haciendo un exhaustivo desglose sectorial. En aquellos planes en los que existe este tipo de desglose, los sectores que se identifican de manera más abundante son el energético, el del transporte, el agrícola, industrial, forestal y de la vivienda.

Si bien todos otorgan a la tecnología y la eficiencia un papel muy importante en la transición hacia la sostenibilidad, se hace desde diferentes perspectivas que analizaremos con detalle en el siguiente apartado. Así mismo, se concede protagonismo –con diferentes grados de intensidad– a la intervención estatal, aunque buena parte de los instrumentos de los que se valen confían en mecanismos de mercado para lograr sus objetivos. Algunos de los instrumentos más comunes en los informes analizados se recogen en el Cuadro 11.

Todos estos instrumentos se distribuyen desigualmente entre los distintos planes y se encuentran relacionados con ciertas asunciones a priori que se hace por parte de los autores. Además del estudio minucioso, con las alternativas y debates de algunos de los instrumentos recogidos en el cuadro anterior, desentrañaremos esos modelos tecnológicos, energéticos, de gestión e incluso culturales que justifican la elección de algunos instrumentos y no de otros. Estudiaremos también la compatibilidad individual de cada alternativa y global de cada plan con el inexorable avance del agotamiento del petróleo, sustento energético del sistema socioeconómico actual.

### CUADRO 11. Instrumentos de desarrollo sostenible y lucha contra el cambio climático de los planes analizados

#### INSTRUMENTOS

<b>POLÍTICAS DE INCENTIVO-DESINCENTIVO</b>	DESINCENTIVO DEL CARBONO	Mercados de carbono. Impuestos (internalización costes).
	INCENTIVO DE ENERGÍAS LIMPIAS	Incentivos fiscales. Tarifas de compra garantizada.
<b>POLÍTICAS SECTORIALES</b>	SECTOR AGRÍCOLA	Reducción emisiones de Metano
	SECTOR INDUSTRIAL	Reducción emisiones de Dióxido de Carbono.
	SECTOR TRANSPORTE	Mejoras de eficiencia, electrificación, nuevo urbanismo, comercio local.
<b>POLÍTICA AMBIENTAL/PALIATIVA</b>	Captura y almacenamiento de carbono antes de llegada a la atmósfera. Reforestación para absorción de Dióxido de Carbono.	
<b>POLÍTICA ENERGÉTICA</b>	Reducción del consumo energético. Fomento de la eficiencia energética. Sustitución por energías renovables. Sustitución por energías renovables y energía nuclear.	
<b>POLÍTICA DE COORDINACIÓN INTERNACIONAL</b>	Mecanismos de Gobernanza Ambiental Global eficaces. Potenciación de Fondos Financieros VerdesGlobales.	

Elaboración propia.

Comenzamos el análisis de los informes sobre la base de las variables indicadas en el apartado 4.2.2. La estructura será la de presentar la materia de debate para cada variable, las posiciones alternativas observadas en los informes y análisis crítico de las mismas.

#### 4.3.1. Intensidad del cambio de modelo.

La propia naturaleza de los informes y del concepto de transición llevan implícitos la noción de cambio. Las diferencias entre unos planteamientos y otros en cuanto al cambio tienen que ver con la urgencia del cambio, sus cualidades y su intensidad. En este apartado vamos a estudiar las estrategias con las que estos planes abordan la cuestión de la intensidad y tipología de los

cambios sociales, económicos y culturales que la transición hacia la sostenibilidad va a activar. Podemos diferenciar dos posturas claramente diferenciadas en relación a esta variable:

a) *Business as usual (BaU)*: El sistema socioeconómico permanece significativamente invariable tras la transición hacia la sostenibilidad. Los patrones de consumo, producción y distribución actuales son compatibles, en general, con la sostenibilidad. Se dibuja la transición como una suma de financiación y tecnología, sin consideraciones adicionales de relevancia estratégica.

b) *Cambios profundos*: los cambios que implica la transición hacia la sostenibilidad tienen su reflejo en el modelo social, económico y cultural. El criterio seguido para clasificar un informe en esta categoría es el de cuestionar explícitamente al menos alguno de los siguientes conceptos: el modelo de crecimiento económico<sup>19</sup> y/o los patrones de comportamiento actuales en cuanto al consumo, el modelo agroalimentario o la ordenación territorial y el urbanismo. Se han elegido estos criterios por considerarlos, en el primer caso, fundamentales como modelo de desarrollo y su relación con las emisiones de GEI y el agotamiento de recursos o, en el segundo, por encerrar información crítica sobre la estructura socioeconómica (¿cómo se satisfacen las necesidades?, ¿cómo se producen y distribuyen los alimentos?, ¿dónde y cómo vivimos y cómo nos desplazamos?).

Existe un caso especial en el que la perspectiva BaU implica también un cambio profundo en el modelo socioeconómico y sociometabólico. Se trata del caso de los informes provenientes de países emergentes como China (Government of the People's Republic of China, 2011a) y la India (Government of India, 2011) en los que veremos una serie de contradicciones que analizaremos con detalle en el apartado de la distribución regional. Las reducciones que ambos planes plantean son tan solo en términos relativos

---

<sup>19</sup> Este extremo será analizado en el siguiente epígrafe, al considerarlo mayor interés relacionarlo con la curva de Kuznets ambiental y las aspiraciones de crecimiento económico en los países emergentes.

pues la variable a reducir es la “intensidad de emisiones”, medida como el cociente entre las emisiones de GEI y el PIB. De hecho, estas reducciones en la intensidad de emisiones se traducirían de forma efectiva en incrementos absolutos en los niveles de emisiones. En concreto, el programa del Gobierno de la India sostiene la intención de mantener un crecimiento medio anual del 9% durante los 20 años posteriores a la publicación del Informe (Government of India, 2011). Los datos que aporta el informe y el objetivo de reducir, entre un 20% y un 25% la intensidad de emisiones en esos 20 años, implicaría una reducción media anual de en torno al 1,4%. Si cruzamos esos datos con los del crecimiento del PIB proyectado –crecimiento del 9% anual medio– obtenemos que en realidad las emisiones totales crecerían a una tasa anual de aproximadamente el 7,6%.

En el caso del Gobierno chino se da una situación análoga. Para el Plan Quinquenal 2011-2015 (Government of the People's Republic of China, 2011b) se propone una reducción de la intensidad de emisiones del 17%, mientras se estima que el PIB crezca en un 40,2% en ese mismo período. Con estas previsiones en la mano, las emisiones de CO<sub>2</sub> se incrementarían, en términos absolutos un 23,2%. Parece evidente que los países emergentes no van a renunciar al crecimiento como instrumento de desarrollo, pero volveremos sobre esta cuestión más adelante.

En la gran mayoría de los planes de algunos Países Desarrollados se aboga por una transición con cambios superficiales. En uno de los planes más representativos de esta visión se plantean distintas acciones desagregadas sectorialmente que relaciona mediante curvas de costes y beneficios sociales, siendo este el único factor limitante contemplado para realizar una transición hacia la sostenibilidad exitosa (Climate Works Australia, 2010). En los planes que mantienen una postura BaU se aboga por una estrategia de reconversión agrícola que se apoya en mejoras de la eficiencia en la producción (European Commission, 2011) o estrategias de adaptación al cambio climático como nuevos cultivos más resistentes a las altas temperaturas o la falta de recursos hídricos. Estos planes para el sector agroganadero no solo no cuestionan el modelo agroalimentario actual, sino que lo refuerzan.

Por el contrario, otros planes cuentan con que serán necesarios cambios profundos en la transición a la sostenibilidad que incidirán en los modos de vida viven de las sociedades en el día a día. Se plantean modificaciones profundas sobre cómo nos movemos y proveemos de los bienes que satisfacen nuestras necesidades (transporte), en dónde vivimos (nueva ordenación del territorio, urbanismo y nueva arquitectura), cómo nos alimentamos (con cambios profundos en el modelo agroalimentario y la dieta) y cómo nos organizamos (fomento de la participación democrática en la toma de decisiones). Por ejemplo, en este último caso, se plantean medidas como la mejora de la información pública y cauces de participación democrática para la aprobación de proyectos que puedan tener grandes impactos medioambientales. En cuanto al transporte, se propone un urbanismo que minimice los desplazamientos y el fomento activo de modos de transporte menos contaminantes (transporte público, bicicleta, caminar) son algunas de las propuestas que se pueden leer en estos informes. Por último, se plantea un modelo agroalimentario apoyado en la cercanía (evitando emisiones y costes de transporte), con menos fertilizantes y pesticidas (más natural, no apoyada en el petróleo) y una dieta menos intensiva en carne<sup>20</sup>.

Estos informes plantean que la transición nos conducirá a “un escenario distinto” (Kemp & Wexler, 2010) en el que no solo se habrá operado una nueva orientación en la actividad económica, sino que nuestros hábitos y los modos en que satisfacemos nuestras necesidades serán muy diferentes a los que mantenemos en la actualidad. Para otros, estos cambios serán de tal profundidad que implicarían un “Nuevo Contrato Social” (WBGU, 2011), pues los parámetros sociales y políticos que sostienen el actual sistema socioeconómico no serían compatibles con el cambio de paradigma derivado de la transición. Ninguno de los planes que plantean acometer cambios profundos fue redactado por entidades gubernamentales.

---

<sup>20</sup> Para una información detallada acerca de los impactos medioambientales del modelo agroalimentario actual y de las ventajas de cambios como los propuestos, consultar J. Riechmann, “Cuidar la T(t)ierra. Políticas agrarias y alimentarias sostenibles para entrar en el siglo XXI” (2003).

#### 4.3.1.1. Valoración crítica

Como señalamos en epígrafes anteriores, la dependencia de nuestros sistemas sociometabólicos y socioeconómicos respecto del petróleo es total. No solo como fuente de energía primaria para su conversión en electricidad – un papel marginal en las economías desarrolladas de hoy en día– sino también como la principal fuente de energía para el transporte de todo tipo, calefacción de hogares e industrial, materia prima fundamental de bienes de uso cotidiano como el plástico o como input en la agricultura moderna (pesticidas, fertilizantes, etc.).

El agotamiento progresivo del petróleo y la previsible llegada de una etapa de enorme volatilidad de su precio son razones más que suficientes para pensar que tendrán que producirse cambios –ya sean planificados u obligados por una situación de colapso– en los parámetros más fundamentales que componen nuestros vectores de comportamiento. Los pilares de un régimen sociometabólico en el que la importancia de los combustibles fósiles tienda a cero desde una posición de máxima preponderancia no pueden quedar intactos.

Roberto Bermejo (2008) señala que el nuevo escenario en el que los combustibles fósiles no desempeñan una función hegemónica en la estructura sociometabólica –por colapso o planificadamente- se desencadenarían importantes cambios. El encarecimiento y agotamiento del petróleo dificultará el transporte transoceánico y, con ello, buena parte del comercio internacional, arrastrando al sector industrial, ya de por sí afectado por la utilización de combustible fósil como input en sus procesos productivos, especialmente en la industria pesada; la lucha por el petróleo que quede por extraer podría generar tensiones geopolíticas, siempre de la mano del sistema monetario –el dólar, la moneda comúnmente aceptada para la compra de crudo ya se está viendo parcialmente desplazada por el euro y el yuan– y, con él, el sistema financiero; la movilidad en las ciudades tendrá que replantearse no solo a través de la sustitución de vehículos de motor de combustión por vehículos eléctricos, sino que se tenderá a modelos urbanos más compactos, basados en el transporte

no motorizado, lo que obligará a un replanteamiento del urbanismo y la ordenación territorial. Por su parte, Ernest García (2007) advierte que los cambios más importantes se dejarán sentir a través del transporte y la producción de alimentos. La agricultura moderna y el modelo alimentario que esta conlleva es intensiva en combustibles fósiles, por lo que se hace necesaria una transformación del modelo agrícola hacia otro distinto. Existen suficientes estudios empíricos que demuestran que la agricultura ecológica necesita un 60% menos de energía fósil por unidad de alimento producido, manteniendo el rendimiento de la producción (Riechmann, 2003) por lo que los cambios que tengan lugar en el sistema agroalimentario deberían ser más ambiciosos.

#### **4.3.2. Distribución de los costes durante la transición**

Los perfiles metabólicos en perspectiva histórica de los distintos territorios analizados en el apartado 2º de este trabajo llamaban la atención por la coexistencia en el tiempo de distintos regímenes y etapas dentro de un mismo régimen sociometabólico. Mientras los países desarrollados alcanzaban una meseta en su punto más alto, en la fase de estabilización, los países emergentes se sitúan en plena fase de aceleración. Como sabemos, en la combustión del petróleo (y otros combustibles fósiles, como el carbón o el gas natural) parte de la energía se disipa como calor y se libera CO<sub>2</sub> como residuo. En tanto que los combustibles fósiles son los principales emisores de GEI y que estos tienen un efecto acumulativo sobre la capa de ozono (IPCC, 2005), los países desarrollados han sido –y aún lo son hoy en día– los principales contribuyentes al cambio climático.

El principal escollo que enfrentan las transiciones hacia la sostenibilidad en este ámbito es la traslación de estos modelos a los países emergentes. Los imaginarios colectivos sobre la idea de “desarrollo” y los mecanismos para alcanzar el mismo se identifican con las medidas adoptadas por los países actualmente desarrollados. Uno de los paradigmas más extendidos es el del desarrollo por etapas de Rostow (1961), que impregna la mayoría de políticas de desarrollo a largo plazo, con matices, que han tenido lugar en los últimos

decenios. Esta teoría enumera las distintas etapas por las que han pasado los países desarrollados en sus modelos de crecimiento económico y las generaliza como única vía para alcanzar el desarrollo económico. Como sabemos, este desarrollo ha estado fuertemente apoyado en la capacidad energética de los combustibles fósiles y, por lo tanto, violando los límites que impone la naturaleza al sistema socioeconómico –agotamiento de recursos no renovables y calentamiento global– por lo que no cabría considerar este modelo como sostenible.

Los informes se diferencian entre los que tienen en cuenta la dimensión territorial y de la responsabilidad en el proceso de transición que plantean y los que no.

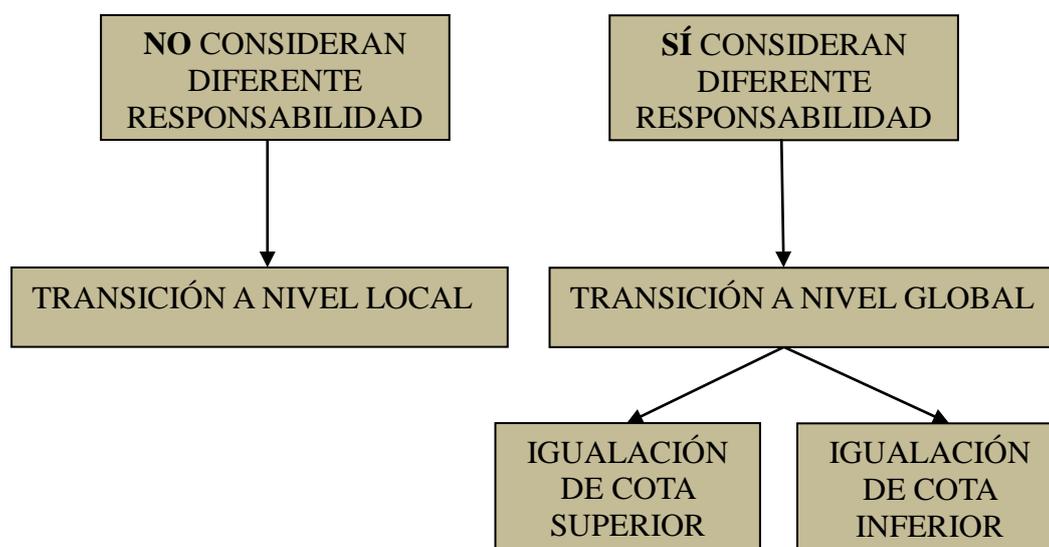
a) Aquellos que *no los consideran*, no hacen ninguna referencia a la asimetría en la responsabilidad en la insostenibilidad del modelo actual. En general, enfocan la transición desde un ángulo local y no proponen mecanismos de distribución de los costes de la transición. Los informes que no tienen en cuenta las diferencias en la aportación hecha por sus respectivos países a la insostenibilidad del modelo socioeconómico actual proceden en su totalidad de los países desarrollados. En general, se hace caso omiso de esta realidad y no se considera necesaria siquiera una coordinación a escala internacional para poner en marcha la transición.

b) Los que *sí consideran los costes* perciben responsabilidades diferenciadas de las que infieren diferentes grados de incidencia en el peso a soportar en la transición. En este grupo prevalece la defensa de mecanismos de coordinación y redistribución de la carga de los países emergentes hacia los desarrollados. No obstante, dentro de este grupo podría matizarse que algunos plantean la necesidad de que los países emergentes no sigan la senda fosilítica de los desarrollados –transitando hacia una igualación con una cota inferior– y otros que plantean una igualación bajo la premisa del crecimiento del consumo en los países emergentes.

Por ejemplo, el informe de WWF (2011, pág. 56) comienza su sección sobre la Equidad –y la existencia de la sección es ya significativa– diciendo que

“la energía mundial no se ha distribuido históricamente de una manera justa” y que “los países ricos han construido sus economías sobre unos combustibles fósiles abundantes y baratos”. Del otro lado, los informes de los países emergentes mantienen una postura colaborativa a la vez que defensiva. El informe indio se ofrece a “ser una parte de la solución” de un problema, el cambio climático, que “India no ha creado” y que “se debe ampliamente a las emisiones históricas de los países desarrollados” (India, 2011, pág. 5). Además, existe la intención explícita por parte de estos países de adoptar medidas que incrementen el peso de los combustibles fósiles en su perfil metabólico. Así, China planea “acelerar la modernización agrícola” y que la “la industria apoye a la agricultura” (Government of the People's Republic of China, 2011b, págs. 4-5).

**GRÁFICO 19. Posición sobre la dimensión de la transición**



Elaboración propia

Los planes de países desarrollados que apuestan por una igualación de cota inferior y por canalizar financiación hacia los países no desarrollados justifican esta elección apoyándose en la urgencia de la transición (Kemp & Wexler, 2010) y a la desigual responsabilidad ante el cambio climático. Ninguno corresponde con planes gubernamentales. Mientras algunos de estos planes

exigen drásticas reducciones en las emisiones de los países desarrollados (Wright & Hearps, 2010), la mayoría de este grupo hace referencia al papel que debe tomar el Fondo de Copenhague contra el Cambio Climático (Government of the People's Republic of China, 2011a), (WBGU, 2011). El Fondo contra el Cambio Climático (Green Climate Fund) es una institución internacional que tiene como meta dar apoyo y financiación a los países no desarrollados para lograr el objetivo de los 2°C. En este sentido, los informes plantean que se otorgue financiación en forma de transferencias (sin contrapartidas) para la implantación de energías limpias en los países no desarrollados y, en el caso de China, la exigencia a los países desarrollados de hacer un mayor esfuerzo para financiar el Fondo y alcanzar los 100.000 Millones de \$ para 2020.

#### 4.3.1.2. Valoración crítica

La cuestión tiene muchas aristas y, ciertamente, no es baladí. Como sabemos, para hacer frente al cambio climático, la reducción de emisiones de GEI debería ser más que ambiciosa y en un período de tiempo relativamente corto. El mayor peso de los combustibles fósiles en los perfiles metabólicos de países como China e India es doblemente preocupante, tanto desde el ángulo de las perspectivas socioeconómicas de los países con problemas acuciantes de pobreza, como desde el ángulo puramente ambiental.

No basta con reducir la intensidad de emisiones, sino reducir en términos *absolutos* el nivel de emisiones. Además, estos países están dejando recaer el peso de su desarrollo económico sobre un recurso que se encuentra en su fase de declive, dadas las circunstancias relatadas en el epígrafe anterior. Si el stock de petróleo almacenado en la Tierra pudiera representarse como una tarta, estos países serían los últimos en incorporarse al banquete cuando tan solo queda la mitad de la misma para repartir entre más comensales. Los conflictos geopolíticos que se pueden derivar de esta situación no tardarían en dejarse sentir en el panorama internacional. Para eludir estas peligrosas eventualidades sería apropiado arbitrar mecanismos de cooperación como el del Protocolo de Agotamiento del Petróleo, propuesto por

la Asociación para el Estudio del Cenit del Petróleo (ASPO). Este Protocolo consiste en que los países importadores (consumidores) de petróleo reducirían sus importaciones al ritmo del agotamiento mundial del petróleo, mientras los exportadores (extractores) reducirían sus exportaciones al ritmo nacional de agotamiento (Sempere, 2008; Bermejo, 2008). Sabemos que el petróleo es un recurso escaso, que está entrando en su fase final de explotación y disponemos de organizaciones de gobernanza internacional lo suficientemente desarrolladas como para hacerlo realidad si queremos una transición planificada que evite conflictos geopolíticos.

#### *4.3.2.2. La cuestión del crecimiento*

La voluntad de estos países por crecer es legítima, y las razones esgrimidas para no detener su crecimiento son razonables (esencialmente, la reducción de la pobreza). Sin entrar a discutir aquí, pues no es el objeto de este trabajo, la deseabilidad del crecimiento como objetivo de la política económica, cabe señalar al menos dos limitaciones fundamentales que presenta como herramienta de transformación hacia la sostenibilidad.

Según la Curva de Kuznets ambiental, el crecimiento económico y los impactos medioambientales se encuentran relacionados mediante una “U” invertida, de tal manera que, a partir de cierto grado de crecimiento los impactos disminuyen gracias a la inversión generada por el ahorro que ha permitido ese crecimiento. No obstante, gracias estudios empíricos de ámbito internacional (de Bruyn, S.M.; van der Bergh, J.C.J.M.y Opschoor, J.B., 1998; Stern, 2004; Tapia-Granados, J.A. y Carpintero, Óscar, 2013; Tapia-Granados, J.A.; Ionides, E.L. y Carpintero, Óscar, 2012; Wagner, 2008) e incluso para el caso español (Roca, J. y Padilla, E., 2003; Carpintero, 2005) , existe suficiente evidencia acumulada que indica que el crecimiento económico está relacionado de manera positiva con el nivel de emisiones y concentraciones de CO<sub>2</sub>, con el consumo de recursos y con diversos impactos medioambientales, por lo que podría existir un conflicto entre los instrumentos orientados al crecimiento económico y los destinados a luchar contra el cambio climático. Por otra parte,

también suele argumentarse que los patrones de comportamiento energético de la población se vuelven más sostenibles con el aumento de la renta (lo que no deja de ser un reflejo de la curva de Kuznets ambiental). Este mito de la escalera energética ha sido puesto en duda (van der Kroon et al., 2013) y se considera que son más importantes otras cuestiones como el entorno biofísico, el contexto de las decisiones institucionales o el rango de oportunidades de las familias (facilidad o dificultad en el acceso a ciertas fuentes de energía como, por ejemplo, biomasa). Por lo tanto, no existe evidencia suficiente de que el crecimiento económico contribuya a mejorar y asentar patrones de consumo energético más limpios, sino más bien lo contrario.

#### 4.3.3. Optimismo tecnológico

El optimismo tecnológico consiste en trasladar la solución de problemas actuales aún no solventados a un futuro en el que se presuponen mejoras técnicas o tecnológicas que sean capaces de resolverlo. Además, esta postura desecha o subestima las limitaciones que puedan arrastrar consigo las mejoras tecnológicas, de diversa índole.

El optimismo tecnológico en relación con los recursos hunde sus raíces en el siglo XIX y en la confianza en la aparición –que de hecho surgió con el petróleo, asentando esta noción de optimismo– de una nueva fuente de energía que sustituyera al carbón, ante las primeras advertencias de su posible agotamiento. A pesar de ello, surgieron algunas voces críticas que llamaron la atención sobre la “paradoja” advertida por W.S. Jevons (1865). Al observar que la máquina de vapor no redujo el consumo de carbón sino que lo incrementó<sup>21</sup>, describió esta situación paradójica, también denominada hoy como “efecto rebote” (véase, por ejemplo, (Polimeni et. al, 2008; Blake, 2005; Carpintero, 2003), como aquella en la que mejoras de la eficiencia en la utilización de un recurso, probablemente conducirán a un incremento en el nivel de utilización de

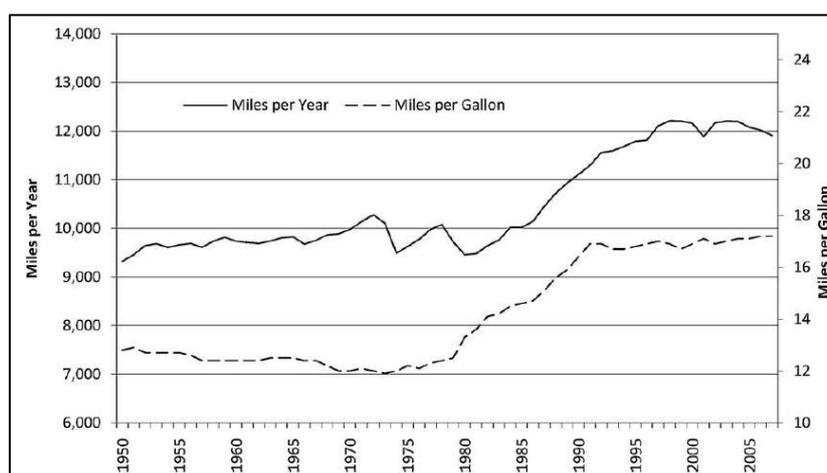
---

<sup>21</sup> Aunque esta conclusión pueda resultar evidente ya que la máquina de vapor utiliza carbón, ha de tenerse en cuenta que el carbón se utilizaba antes de que el invento de James Watt lograra incrementara la eficiencia de las anteriores máquinas. En definitiva: la máquina de vapor requería la combustión de una menor cantidad de carbón para obtener la misma energía.

dicho recurso.

El Gráfico 20 ilustra el clásico ejemplo del aumento neto en el consumo de combustible por efecto de la mayor eficiencia de los motores de los automóviles. La mejora en la eficiencia energética del motor viene acompañada de un ahorro económico que, fomentado por reducciones en el precio, estimula el consumo y neutraliza el ahorro físico del combustible. Las mejoras en la eficiencia del motor a partir de 1970 se tradujeron en un incremento de la misma intensidad en el consumo.

**GRÁFICO 20. El efecto rebote en el consumo de gasolina**



Efecto Rebote: Ahorro de combustible (millas por galón de gasolina) y distancia (millas anuales) conducida anualmente, EE.UU. (1950-2007). Fuente:

<http://www.eia.doe.gov/aer/txt/ptb0208.html> (Tainter, 2011).

El trabajo empírico aplicado de Duarte et al. (2013) señala que las mejoras en eficiencia que obtiene la muestra de hogares de los países estudiados, son ampliamente compensadas con aumentos en el consumo. Según este estudio, España y Portugal son los países que más sufrieron el efecto rebote entre 1995 y 2005. Compensaron una reducción en la emisión de CO<sub>2</sub> por parte de los hogares del 10,3% y 9,3% respectivamente, con incrementos en las emisiones por efecto del crecimiento de la demanda del 54,1% y 57,6%, arrojando un balance final de un incremento en las emisiones del 43,8% y 48,3%. Tan solo Suecia –uno de los países que ya comenzaron a

planificar su transición décadas atrás— logra sortear el efecto rebote con un balance total en el mismo período que se salda con una reducción del 9,4%, no llegando el 10% del incremento en la demanda a compensar la caída del 19,5% en las emisiones por efecto de factores tecnológicos.

Desde el punto de vista de la posición ante el progreso tecnológico, las manifestaciones recogidas en nuestros informes adoptan las siguientes formas:

a) *Optimismo tecnológico*. En este caso la variable fundamental para situar un informe dentro de esta categoría es la confianza en tecnologías o innovaciones aún por descubrir. O dicho de otro modo, la innovación tecnológica es una condición necesaria sin la cual no podría darse la transición, pues la tecnología actual es insuficiente. Apenas se presta atención al efecto rebote.

b) *Ausencia de optimismo tecnológico*. Aquí consideran que la técnica y los avances tecnológicos que están a nuestra disposición en la actualidad son capaces de transformar el sistema sociometabólico en un modelo sostenible. Tienen en cuenta factores limitantes como el Efecto Rebote.

Cabe subrayar que no hay un solo informe que no plantee que las mejoras en la eficiencia energética son una poderosa herramienta de ahorro y tan solo uno hace referencia explícita al efecto rebote (WBGU, 2011). Salvo en este último caso, podemos discriminar entre quienes lo tienen realmente en cuenta o no en la elección que toman sobre la gestión energética — concretamente si exigen reducciones netas en el consumo— que será objeto de estudio en el siguiente epígrafe y cuya relación se detalla en el Cuadro 12.

No debe sorprender que el paradigma del optimismo tecnológico lo encarnen los informes gubernamentales. En ellos se hacen continuas referencias a la tecnologías verdes que deberán desarrollarse para lograr transitar hacia un modelo sociometabólico sostenible. La Comisión Europea, por ejemplo, plantea innovaciones técnicas que mejoren la eficiencia de los fertilizantes en la agricultura, sin tener en cuenta un factor limitante fundamental: los fertilizantes requieren petróleo como materia prima, con lo que el metabolismo europeo seguiría confiando en el combustible fósil, aunque

fuera de manera indirecta. El Gobierno de Alemania afirma que busca una “política energética orientada al mercado, libre de ideologías y abierta a todas las tecnologías, abrazando todas las vías de utilización de la energía, calefacción y transporte” (Government of Germany, 2010, pág. 3). Este posicionamiento es el que conduce al informe a no considerar el agotamiento de los combustibles fósiles e incluirlos en sus planes de futuro o a apostar por la energía nuclear<sup>22</sup>. Uno de los informes tecnooptimistas plantea (Climate Works Australia, 2010) la sustitución de vehículos desfasados por otros con mejores rendimientos energéticos –no necesariamente eléctricos– sin hacer mención al conocido efecto neto sobre el consumo y obviando que los requerimientos de materiales y energía adicionales para sustituir hoy todo el parque automovilístico descansaría necesariamente en el uso de fuentes no renovables. Además, las baterías de fosfato y litio, el uso del convertidor, la climatización y los materiales y uso de los sistemas de frenos también generan impactos ambientales que no deben perderse de vista.

En el mismo país, pero en la otra orilla, el informe *Zero Carbon Australia* promueve una ambiciosa transición “no dependiente de prometedoras tecnologías que están en el horizonte”, con el objetivo de “mostrar que las soluciones necesarias ya están disponibles” (Wright & Hearps, 2010, pág. 3). Por su parte, el informe *Zero Carbon Britain* tan solo “usa tecnología disponible hoy y en uso” (Kemp & Wexler, 2010, pág. 32), mientras otro llama la atención sobre los peligros del Efecto Rebote y sobre el hecho de que “muchas de las tecnologías hipocarbónicas ya están disponibles y su aprovisionamiento es económicamente viable” (WBGU, 2011, págs. 5-6).

## CUADRO 12. Relación entre el enfoque de gestión y la posición respecto a

---

<sup>22</sup>No obstante, en mayo de 2011, tras la catástrofe de Fukushima, el gobierno alemán decide renunciar a la energía nuclear, declarando que apagará su último reactor en 2022. [http://cincodias.com/cincodias/2011/05/30/economia/1306891404\\_850215.html](http://cincodias.com/cincodias/2011/05/30/economia/1306891404_850215.html)

### la tecnología

	Enfoque de gestión	Optimismo tecnológico
<b>WBGU,2011</b>	No se pronuncia.	No optimista. Tecnología factible. Considera efecto rebote.
<b>Brown, 2011</b>	Enfoque de demanda. Reducción.	No optimista. Considera efecto rebote.
<b>Teske, 2010</b>	Enfoque de oferta. Sustitución por renovables.	Optimista. No considera efecto rebote.
<b>WWF, 2011</b>	Enfoque de oferta.	No considera efecto rebote.
<b>Kemp and Wexler</b>	Enfoque de demanda. Reducción del 60%.	No optimista. Tecnología factible. Tecnología acelera techo del petróleo.
<b>Climate Works Australia</b>	Enfoque de Oferta.	Optimista tecnológico.
<b>Wright y Hearps</b>	Enfoque de demanda. Reducción del 50%.	No optimista. Tecnología factible hoy.
<b>Comisión Europea,2011</b>	Enfoque de oferta.	Optimista. Desarrollo nuevas tecnologías. No considera efecto rebote.
<b>Gobierno de la República Popular China</b>	Enfoque de oferta asumiendo incrementos en la demanda.	Optimista. Modernización. No considera efecto rebote.
<b>Gobierno de India</b>	Enfoque de oferta asumiendo incrementos en la demanda.	Optimista. Modernización. No considera efecto rebote.
<b>Gobierno de Alemania</b>	Enfoque de oferta. Reducciones solo debidas a eficiencia.	Optimista tecnológico. Desarrollo nuevas tecnologías. No considera efecto rebote.
<b>Gobierno de Dinamarca</b>	Enfoque de demanda. Impreciso.	No optimista. Tecnologías factibles, aunque no considera efecto rebote.
<b>California Air Resources</b>	Enfoque de oferta. Reducciones solo debidas a eficiencia.	Optimista tecnológico. No considera efecto rebote.

Elaboración propia.

#### 4.3.3.1. Valoración crítica

Dada la evidencia acumulada, los planes deberían tener en cuenta las limitaciones biofísicas impuestas por la termodinámica y también el efecto rebote al hacer sus propuestas de eficiencia energética. No basta con ser más eficientes, sino que deben hacerse esfuerzos por combinar estas políticas de eficiencia con otras de reducción en el consumo. Si no se incide sobre la demanda energética nos encontraremos con que los efectos positivos de la mejora en la eficiencia se verán neutralizados o incluso superados por

incrementos en la demanda. Por otro lado, confiar en el desarrollo de nuevas tecnologías no podrá solucionar el agotamiento del petróleo sino más bien acelerar su agotamiento. La confianza en la aparición de nuevos tipos de petróleo por parte de la Agencia Internacional de la Energía no tiene en cuenta la peor calidad energética y el mayor coste económico de su extracción y procesamiento. El éxito del petróleo residía precisamente en su eficiencia energética y su baratura, cualidades que cada vez podrá cumplir menos debido a las características del petróleo restante.

En este contexto conviene recordar algunos resultados de la teoría de la elección racional sugeridos por autores procedentes de la economía ecológica, como Robert Constanza (1989), en situaciones de incertidumbre. Teniendo en cuenta el dilema al que se enfrenta la sociedad y la confianza en las posibilidades tecnológicas del futuro (Cuadro 13), tal vez lo más apropiado fuera adoptar una política basada en la prudencia (pesimismo tecnológico) que minimice los errores irreversibles futuros.

### CUADRO 13. Optimismo vs pesimismo tecnológico

	Los optimistas tienen razón.	Los pesimistas tienen razón.
<b>Política basada en el optimismo tecnológico.</b>	Alto	Desastroso
<b>Política basada en el pesimismo tecnológico.</b>	Moderado	Razonable

Fuente: (Constanza, 1989).

Los planes deberían tener en cuenta el efecto rebote al hacer sus propuestas de eficiencia energética. No basta con ser más eficientes, sino que deben hacerse esfuerzos por combinar estas políticas de eficiencia con otras de reducción en el consumo. Si no se afecta sobre la demanda energética nos encontraremos con que los efectos positivos de la mejora en la eficiencia se verán neutralizados o incluso superados por incrementos en la demanda.

Además, confiar en el desarrollo de nuevas tecnologías no podrá

solucionar el agotamiento del petróleo sino más bien acelerar su agotamiento. La confianza en la aparición de nuevos tipos de petróleo por parte de la Agencia Internacional de la Energía no tiene en cuenta la peor calidad energética y el mayor coste económico de su extracción y procesamiento. El éxito del petróleo residía precisamente en su eficiencia energética y su baratura, cualidades que cada vez podrá cumplir menos debido a las características del petróleo restante.

#### **4.3.4. Enfoque de gestión energética**

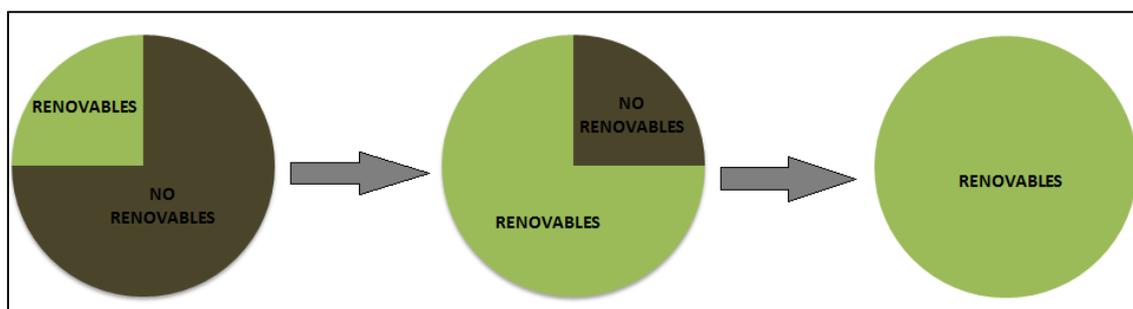
En el ámbito de la gestión y planificación de los recursos existen dos enfoques genéricos. El enfoque de oferta y el enfoque de demanda.

El enfoque de oferta considera la demanda del recurso como dada (variable exógena) mientras que en el enfoque de demanda, esta es una variable endógena sobre la que podemos influir a través de la planificación y otros instrumentos. La aplicación de esta perspectiva al análisis de los informes nos conduce a hacer una división entre dos grupos:

*a) Enfoque de oferta:* La demanda es una variable exógena (y creciente), por lo que la transición consiste en sustituir la oferta energética no renovable por otra renovable.

*b) Enfoque de demanda:* se puede influir en la cantidad demandada de energía y es deseable planificar una reducción de la misma para llevar a cabo la transición hacia la sostenibilidad.

Con distintos grados de urgencia y con diferencias cualitativas en las fuentes energéticas elegidas, la mayor parte de los informes abogan por una transición hacia un modelo que dependa al 100% en energías renovables.

GRÁFICO 21. Tendencia del *mix* energético

Elaboración propia.

El matiz obligado a este respecto es precisamente el de las energías sustitutivas seleccionadas, pues bajo el paraguas semántico de las “energías limpias” caben opciones que, desde luego, suscitan un debate que será planteado en el siguiente epígrafe. La gran mayoría de los informes gubernamentales presentan un enfoque de oferta, en el caso de los planes de los países emergentes de manera explícita –asumiendo una demanda creciente sobre la que no declaran intención alguna de influencia– y por omisión en el resto. Encomiendan las reducciones en el consumo energético a las mejoras de eficiencia –mayoritariamente sin considerar el efecto rebote– planteando objetivos de proporción de la renovabilidad global del sistema energético como los del Gráfico 21. Los planes que asumen la necesidad de una reducción en la cantidad de energía consumida (Wright & Hearps, 2010; Kemp y Wexler, 2010; The Danish Government, 2011) no están exentos de uno de los dilemas de mayor trascendencia en la transición, que es precisamente el ya referido de la sustitución de las energías no renovables, particularmente las fósiles, por energías renovables. Este crucial debate para el futuro de nuestros modelos socioeconómicos se desarrolla en el siguiente epígrafe.

#### 4.3.4.1. Valoración crítica

Como señalábamos en el apartado anterior, de nada sirven las reducciones vía eficiencia si éstas no van acompañadas de un enfoque de gestión de la demanda encaminado a reducir el consumo. Como sabemos, la

generación de energía eléctrica es responsable de en torno a un tercio de las emisiones (EPA, 2014), por lo que debe ser un objetivo prioritario de las autoridades encargadas de planificar la transición no solo generarla de manera más eficiente sino también reducir, en la medida de lo posible, su generación.

Como indicaba el Cuadro 12, existe una alta correlación entre mantener una postura realista o rigurosa (no optimista y óptima desde el punto de vista de la teoría de decisión) respecto a la tecnología y adoptar un enfoque de gestión de la demanda orientado a la reducción del consumo energético. Conocer las potencialidades –la tecnología actual es suficiente para emprender la transición– y las limitaciones del progreso tecnológico –efecto rebote, confianza en la aparición de una tecnología o fuente de energía salvadora, incapacidad para frenar el agotamiento del petróleo– conduce a la conclusión, que continuaremos apuntalando, de que el sobreconsumo energético permitido por los combustibles fósiles tendrá que revertirse en las próximas décadas.

#### **4.3.5. Sustitución de las energías no renovables**

En el tránsito hacia una economía libre de fuentes energéticas no renovables (o con un peso mínimo) surge la pregunta de cuáles serán las fuentes de energía que sustituyan a estas. Efectivamente, incluso desde los planes que no asumen que hay que mantener el consumo energético, sino que hay que reducirlo (enfoque de demanda) consideran este uno de los problemas de mayor magnitud en la transición. La gran dependencia previa de combustibles fósiles recae esencialmente en su gran capacidad como fuente energética directa como combustible. Su gradual eliminación plantea serios problemas respecto a su sustitución que la mayoría solventan a través de la reducción, la mejora de la eficiencia y/o la electrificación. Ya hemos analizado previamente lo relativo a la reducción y la eficiencia. Podemos diferenciar dos posturas en cuanto a la electrificación:

a) La que promueve el cambio a *100% Renovables*, donde la sustitución en la generación energética correrá a cargo únicamente de fuentes renovables.

b) Las que *Incluyen energía nuclear y/o combustibles fósiles* acompañando a las fuentes de energía renovables, pero considerándolo como una energía limpia (en el caso de la nuclear). Otros planes mantienen los combustibles fósiles dentro de sus respectivos *mix* energéticos.

Por otro lado, encontramos otra cuestión polémica a la hora de elegir unas fuentes energéticas y no otras. Se trata de la distinta consideración de la biomasa en dos opciones:

a) Aquella que considera *la biomasa como parte fundamental* del perfil metabólico resultante de la transición y considera los biocombustibles esenciales, especialmente para el sector del transporte, pero no solo. Desde esta perspectiva se sugiere que la energía obtenida a partir de la biomasa puede ser una de las piedras angulares del cambio de modelo. El criterio para clasificar un informe en esta opción es el de presentar un perfil metabólico final en el que la biomasa y los biocombustibles sumen más de un 20%. Si no existiera tal información, se incluirá también a aquellos que, sin hacer alusiones a la demanda, planteen una sustitución en el sector de los transportes de los combustibles fósiles por biocombustibles.

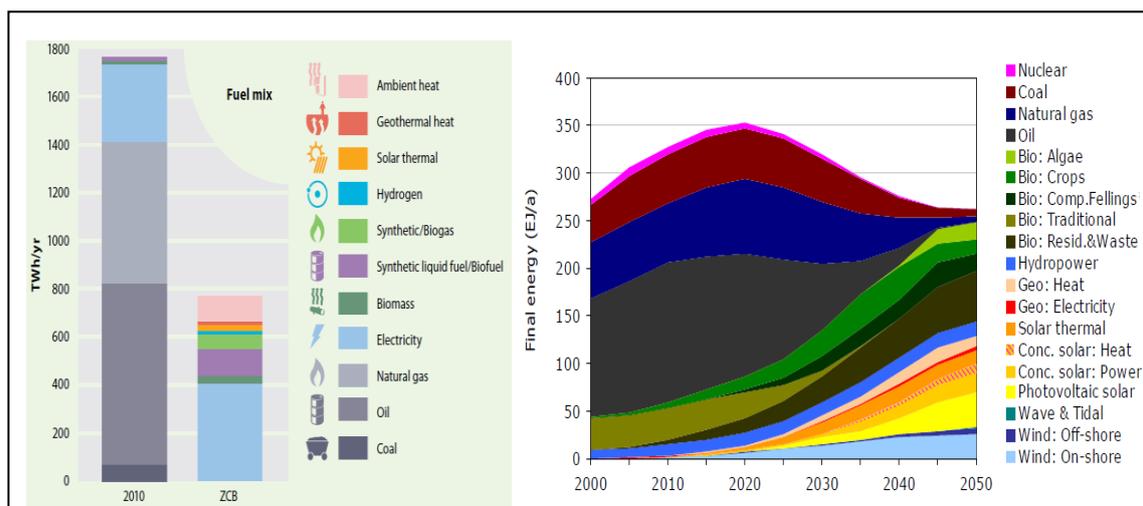
b) Aquellos que optan por la utilización de la biomasa *únicamente a partir de los residuos*: la biomasa es un complemento importante pero, al tener en cuenta ciertas limitaciones (que se analizarán posteriormente) tan solo se opta por utilizar la biomasa proveniente de residuos.

India pretende más que duplicar su potencia nuclear instalada antes de 2020 y las obras para lograrlo ya están en marcha (Government of India, 2008) y China también tiene intención de seguir aumentando su capacidad. Algunos planes, como el de la Unión Europea (European Commission, 2011) no se hace referencia explícita a la energía nuclear pero, dado que existe este tipo de energía en el seno de los países de la Unión, se asume que no se cuestiona el modelo nuclear (salvo la reciente reconsideración de Alemania).

Otros planes, influidos por una determinada noción de la urgencia que exige el cambio de modelo, confían todavía en un futuro con combustibles

fósiles. El *Low Carbon Growth Plan for Australia* (Climate Works Australia, 2010) sostiene como uno de sus objetivos el de abandonar el carbón para recurrir a otro combustible fósil como el gas natural.

**GRÁFICO 22. Planes de sustitución de fuentes energéticas (demanda y oferta)**



Ejemplos de sustitución de los combustibles fósiles. Fuente: Zero Carbon Britain (Kemp & Wexler, 2010) izquierda y The Energy Report: 100% Renewable by 2050 (WWF, 2011) derecha.

Otros planes, sin embargo, optan por un futuro libre de fuentes energías no renovables y energía nuclear. En el Gráfico 22 vemos dos ejemplos (Kemp & Wexler, 2010) y (WWF, 2011) en los que se proponen dos transiciones, una hacia la total renovabilidad del sistema energético y la otra con dos características peculiares. El primer gráfico (izquierda), con un enfoque de demanda orientado a la reducción, nos da una señal del papel jugado por la electricidad –solar fotovoltaica, hidroeléctrica y eólica esencialmente– la reducción, algunos elementos con reducida carga tecnológica como el calor ambiental y los biocombustibles. La segunda, no obstante, nos ofrece una transición fuertemente apoyada en la biomasa y los biocombustibles (40% de la oferta energética en 2050) y manteniendo una pequeña porción de combustibles fósiles, que explicaremos a continuación.

Algunos planes consideran esencial, como también la Agencia Internacional de la Energía, el desarrollo de los biocombustibles y la utilización creciente de biomasa, algo que puede tener sus peligros, que discutiremos a continuación.

#### 4.3.5.1. Valoración crítica

El elevado peso en el perfil metabólico de la economía mundial, los usos y aplicaciones del petróleo y sus derivados en las más diversas actividades económicas, obligan a planificar con sumo cuidado la sustitución de esta fuente energética.

Los planes que plantean un futuro libre de combustibles fósiles –la mayoría– abogan por una electrificación casi total de la economía. Para lograrlo, algunos no renuncian a la energía nuclear como fuente de energía “limpia”. Su carácter no renovable y agotable, al apoyarse en un mineral de uranio cuyas reservas disponibles evitan cualquier consideración sobre la generalización de esta fuente energética (Rodríguez Farre y López Arnal, 2008; Cirera et al. 2007; Coderch, 2007)<sup>23</sup>, deberían ser motivo más que suficiente para renunciar a esta fuente energética.

Pero además, se presentan otros problemas en torno a su sostenibilidad ambiental bien conocidos y sufridos. La energía nuclear genera unos residuos que los sistemas naturales son incapaces de metabolizar y que, por lo tanto, han de ser gestionados durante su período de actividad. En el caso de los residuos de alta actividad se requiere su entierro a unos 500 metros de profundidad durante miles de años (Consejo de Seguridad Nuclear). La gestión de estos residuos es, por lo tanto, extremadamente costosa, como de hecho llama la atención uno de los planes (Brown, 2011). Si halláramos el valor actual

---

<sup>23</sup> Como recuerda Marcel Coderch (2007, p. 132): “Sustituir todos los combustibles fósiles empleados para la generación eléctrica para 2030 requeriría construir unos 4.700 reactores de 1GWe, es decir, un reactor cada dos días durante los próximos veinticinco años. Habría que incrementar la extracción de uranio de las 45 kt/año actuales a más de 700kt/año y en sesenta años supondría consumir más de 40 millones de toneladas de uranio, cuando las reservas localizadas son sólo de 3,2 millones y las hipotéticas y especulativas no llegan a 11 millones de toneladas”.

de los costes que genera la gestión de estos residuos durante miles de años, se llegaría a la conclusión de que se trataría de un coste inasumible para cualquier entidad. De hecho, los abrumadores costes de la energía nuclear suelen socializarse –como los riesgos de seguridad que su existencia implica– pues la gestión corre a cargo habitualmente de la Administración Pública, ya que el análisis riguroso de los costes reales sería prohibitivo para cualquier empresa privada. Nos encontramos pues, ante una energía que presenta problemas graves de seguridad –como nos muestran los graves accidentes de Chernobyl o, el más reciente de Fukushima– ambientalmente insostenible y extremadamente cara, con unos costes asumidos por toda la sociedad.

La sustitución se enfrenta, además, a dificultades relacionadas con la incompatibilidad o rigidez de ciertas fuentes de energía con determinados usos. Por ejemplo, el combustible utilizado en aviones, transporte e industria pesada no puede simplemente ser sustituido por energía eléctrica. La solución que suele darse a este problema de incompatibilidad es el de la extensión de la biomasa y, concretamente, el biocombustible. El plan de WWF (2011) es el que más descarnadamente aborda esta cuestión, dejando recaer en la biomasa y en los biocombustibles la mayor parte de la sustitución del petróleo para estos usos. Incluso asume la imposibilidad de la sustitución, como ya apuntábamos anteriormente, en el sector industrial, manteniendo un 5% de combustibles fósiles en la oferta total energética para tal efecto. La defensa de la biomasa descansa, esencialmente, sobre tres argumentos:

1/ Los biocombustibles presentan un balance energético positivo (EROI>1).

2/ Tienen un efecto neutral sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>, pues tan solo desprenden el previamente absorbido en la fotosíntesis.

3/ Apostar por los agrocombustibles revitalizaría el campo. Sostenido, por ejemplo, en WWF (2011).

Sin embargo, el primer y el segundo argumento se tambalea si añadimos a las cuentas el combustible necesario para producir los agrocombustibles pues, como ya señalamos anteriormente, la agricultura moderna descansa

sobre el combustible fósil. Por último, el tercer argumento también cabría ponerlo en duda, pues no hay razones para pensar que más agricultura moderna vaya a atraer más personas al campo, dado que si por algo se caracteriza esta es por expulsarlas (Carpintero, 2008). Además, las hectáreas de tierra cultivable necesarias para producir la suficiente energía de los biocombustibles como para sustituir toda la oferta energética actual, obligaría a deslocalizar su producción. Se trasladaría a países con problemas alimentarios su cultivo, para lo que tendrían que dedicar tierra cultivable –como ya sucede hoy en día– para que los biocombustibles sean consumidos y, probablemente también procesados, en los países desarrollados.

Como llama la atención Jorge Riechmann (2008), el problema de fondo es el sobreconsumo energético. Es imposible sustituir el potencial energético de lo que no es otra cosa que toneladas de biomasa –un galón de gasolina procede de 98 toneladas de biomasa prehistórica– fosilizadas a lo largo de millones de años. Por lo tanto, la utilización de biomasa debe ir de la mano de reducciones en el consumo, utilizando un enfoque de gestión de la demanda, y favorecerse la utilización de biomasa procedente de residuos, como plantea alguno de los planes (Wright & Hearps, 2010), siempre que no exista un uso alternativo más beneficioso.

#### **4.3.6. Urgencia de la transición**

Los planes establecen una serie de objetivos con dos fechas clave en el horizonte: 2020 y 2050. Establecen objetivos en términos de generación energética (grado de renovabilidad), de emisiones relativas al nivel de una fecha anterior (habitualmente 1990) o de intensidad de emisiones (emisiones de GEI/PIB). Las distintas posiciones quedan recogidas en el Cuadro 14, en función de las dos etapas que suelen marcarse los planes. No obstante la fijación de estas dos etapas –que en algunos casos pueden ser más– hay planes que plantean un modelo de transición gradual, con cambios progresivos que poco a poco vayan transformando el modelo sociometabólico y socioeconómico.

### CUADRO 14. Objetivos de reducción de emisiones y grado de cumplimiento

	2020	2050	¿Cumple requisitos?
<b>WBGU,2011</b>	Emisiones 30% bajo nivel 1990. Traer objetivos 2050 UE a 2020	Sistema energético totalmente libre de emisiones.	Tendencialmente
<b>Brown, 2011</b>	Reducción de emisiones en un 80% (respecto 2006)	No plantea objetivos adicionales	Sí
<b>Teske, 2010</b>	Reducción de emisiones en un 30% (respecto 1990)	Reducción de emisiones en un 95% (respecto 1990)	Sí
<b>WWF, 2011</b>	Frenar emisiones (2015)	Reducción del 80 % de emisiones (sobre 1990)	Sí
<b>Kemp and Wexler</b>	Cero emisiones netas (2030). 100% energía renovable (2030).	Límite global para la transición.	Sí
<b>Climate Works Australia</b>	25% de reducción de emisiones totales en Australia.	No plantea objetivos adicionales	No
<b>Wright y Hearps</b>	Cero emisiones para los países desarrollados.	No plantea objetivos adicionales	Sí
<b>Comisión Europea,2011</b>	20% reducción GEI. 20% renovables en <i>mix</i> energético. 20% mejora de eficiencia.	80-95% reducción GEI (sobre 1990)	Sí
<b>Gobierno de la República Popular China</b>	Reducción de la intensidad de emisiones en un 40%-45% (sobre 2005).	No plantea objetivos adicionales	No
<b>Gobierno de India</b>	Reducción de la intensidad de emisiones en un 20-25% (sobre 2000)	Reconoce necesidad de reducir al menos 50% emisiones de GEI, pero no plantea objetivos adicionales.	No
<b>Gobierno de Alemania</b>	Reducción de GEI de Alemania en 40% (sobre 1990).	Reducción de GEI de Alemania al menos un 80% (sobre 1990).	Sí
<b>Gobierno de Dinamarca</b>	50% de energía eléctrica suministrada por energía eólica.	Toda la energía (eléctrica y resto) suministrada por fuentes renovables.	Desconocido
<b>California Air Resources</b>	Nivel de 1990 en emisiones de GEI. 33% de la electricidad de fuentes renovables.	Reducción emisiones GEI 80% (sobre 1990)	Sí

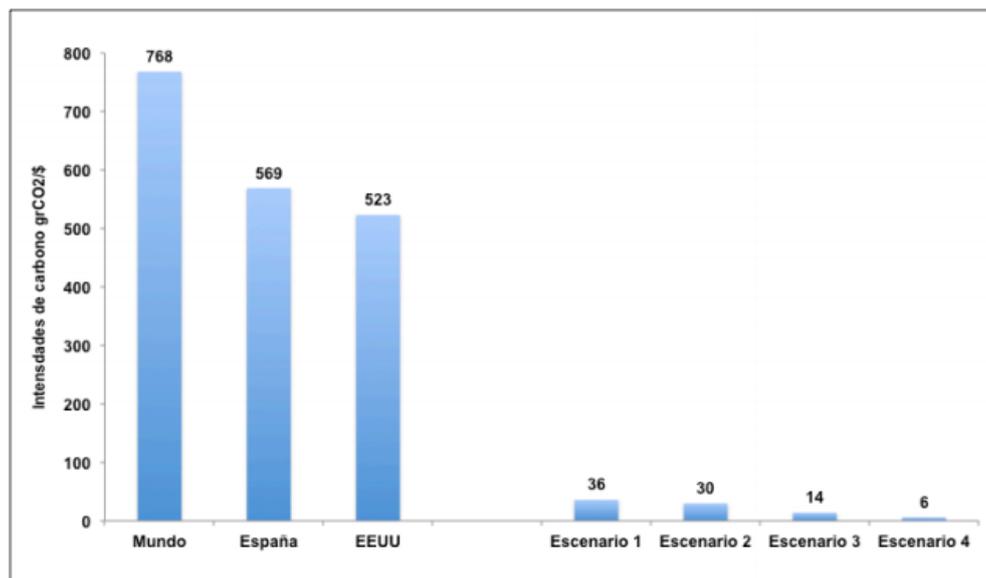
Elaboración propia.

Los más drásticos son los planes Zero Carbon Britain (Kemp & Wexler, 2010) y Zero Carbon Australia (Wright & Hearps, 2010) que plantean una abrupta reducción de las emisiones netas (carbono emitido, descontando el carbono absorbido, esencialmente a través de masa forestal) hasta eliminarlas en el año 2020, en Gran Bretaña y en los países desarrollados en su conjunto respectivamente. Otros, más prudentes, plantean reducciones en las emisiones que van del 20% (European Commission, 2011) al 80% (Brown, 2011) para 2020. Algunos de los menos ambiciosos para el año 2020 compensan esa moderación con el objetivo para 2050, cuando por fin llegan a la cota máxima del 80% establecida anteriormente.

#### 4.3.6.1. Valoración crítica.

De acuerdo con las necesidades del planeta en cuanto a reducción de emisiones de GEI, especificadas en la primera parte de este trabajo, se ha señalado en el Cuadro 14 aquellos planes que cumplirían y aquellos que no. Comprobamos que, nominalmente, la mayoría fijan como objetivo al menos rebasar ese 60%-90% de reducción de emisiones para los países ricos o 50% para el conjunto del planeta. A pesar de ello, lo cierto es que, como hemos visto en epígrafes anteriores, existen numerosas y razonables dudas en cuanto a los instrumentos previstos para la consecución de estos objetivos. La reducción de las intensidades de emisión de China e India son insuficientes, tomando como referencia la necesidad de alcanzar una cifra 20 veces menor para 2050 en el conjunto mundial. Además, la Agencia Internacional de la Energía (2012) estima que, en el escenario del objetivo de las 450 ppm, se requerirá una caída en la intensidad de emisiones a escala global del 1'8% anual entre 2010 y 2035, lo que implica en torno a un 57% de reducción respecto a 2010. India plantea una reducción del 40%-45% en el mismo lapso de tiempo (15 años) aunque en distintas fechas, mientras China tan solo compromete una reducción del 20%-25% en 20 años (2000-2020).

Como avanzábamos en la Introducción de este trabajo, Jackson (2011) estima que para estabilizar las emisiones en 450 ppm se requeriría, en el más favorable de los escenarios, alcanzar una intensidad de emisiones (emisiones respecto al nivel de PIB) en 2050, *20 veces inferior a la actual*. El Gráfico 23 ilustra la brecha existente entre la intensidad de emisiones actual y la necesaria para 2050 en cualquiera de los escenarios. Estos datos no dejan dudas acerca de la urgencia e intensidad de los cambios a realizar para lograr reducir las emisiones de GEI en un plazo de de menos de 40 años. No deben olvidarse, además, las dinámicas irreversibles y no lineales en las que el cambio climático puede entrar una vez llegados a determinados niveles, tal y como advertía en su último informe el IPCC (2013).

**GRÁFICO 23. Intensidades de carbono actuales y requeridas en 2050 para alcanzar el objetivo de estabilizar las emisiones en 450 ppm**

Fuente: (Jackson, 2011). Citado en Carpintero y Riechmann (2013). *Escenario 1*: supone una población en 2050 de 9.000 M de habitantes y se mantiene la tendencia actual de crecimiento de los ingresos. *Escenario 2*: supone una población de 11.000 M de habitantes y se mantiene la tendencia actual de crecimiento de los ingresos. *Escenario 3*: supone una población de 9.000 M y todos disfrutarían del nivel de ingresos medio actual de la UE. *Escenario 4*: supone una población de 9.000 M y todos con un nivel de ingresos como el actual de la UE pero con un crecimiento anual del 2%.

Por otra parte, los planes no tienen en cuenta el agotamiento del petróleo ni, sobretodo, el inestable escenario de declive que se presenta para las próximas décadas. Podría concederse que algunos, aunque lo tengan en cuenta, lo infravaloran al no incluirlo como variable de relevancia en la ecuación de sus respectivas transiciones. La llegada del techo del petróleo obliga a acelerar los ritmos de la transición hacia un modelo sociometabólico sostenible y, por desgracia, ninguno de los planes analizados lo toma en consideración.

## 5. RECAPITULACIÓN Y SÍNTESIS

La riqueza de matices y la complejidad de las estrategias presentadas en los informes hacen que del trabajo de clasificación en grandes categorías comunes se puedan derivar inevitables imprecisiones que, por otra parte, han sido convenientemente matizadas a lo largo del trabajo y que no invalidan los resultados obtenidos. Los planes conjugan enfoques sobre las transiciones desde la perspectiva multi-nivel, pero fundamentalmente desde el enfoque de la gestión de nichos estratégicos y de la gestión de transiciones. El Cuadro 15 ofrece una fotografía de las principales características de estos informes que, como hemos ido desgranando, se centran en una estrategia de transformación energética y tecnológica.

En general, no se observa una pauta generalizada en las distintas categorías, salvo en la apuesta por la biomasa y los biocombustibles y en el cumplimiento –sobre el papel– de los objetivos de reducción de emisiones. Sí que se observan correlaciones entre la adopción de determinados posicionamiento y la elección de otros. Por ejemplo, entre la elección de un planteamiento BaU, el optimismo tecnológico y la adopción de un enfoque de gestión de la oferta energética. Así mismo, ningún plan con ausencia de optimismo tecnológico considera la posibilidad de un futuro basado en la energía nuclear y, entre estos, tan solo el informe de WWF (2011) considera la posibilidad de mantener los combustibles fósiles (tan solo un 5% de la demanda total de energía primaria) debido a las rigideces en la sustitución de ciertos usos del petróleo por fuentes renovables. De hecho, tan solo aquellos que reúnen estas características asumen (generalmente por omisión) la no consecución de los requerimientos mínimos de reducción de emisiones para el año 2050.

**CUADRO 15. Síntesis de los informes analizados**

	Intensidad del cambio	Distribución de la transición	Optimismo tecnológico	Enfoque de Gestión	Sustitución energética		Urgencia (¿Cumple?)
					Nuclear/Fósil	Biomasa, biocombustibles	
<b>WBGU,2011</b>	Cambios profundos	Cota inferior	No optimista	No se pronuncia	No/No	Apuesta decidida (biocombustibles solo apoyo)	Tendencialmente
<b>Brown, 2011</b>	Cambios profundos	Cota inferior	No optimista	Demanda	No/No	Incluye (aunque crítico)	Sí
<b>Teske, 2010</b>	Business as Usual	Cota inferior	Tecnooptimista	Oferta	No/Sí	Apuesta decidida	Sí
<b>WWF, 2011</b>	Cambios profundos	Cota inferior	No optimista	Demanda	No/Sí	Apuesta decidida	Sí
<b>Kemp and Wexler</b>	Cambios profundos	Cota inferior	No optimista	Demanda	No/No	Apuesta decidida	Sí
<b>Climate Works Australia</b>	Business as Usual	No considera	Tecnooptimista	Oferta	No/Sí	Incluye	No
<b>Wright y Hearps</b>	Cambios profundos	Cota inferior	No optimista	Demanda	No/No	Solo residuos	Sí
<b>European Comission</b>	Business as Usual	No considera	Tecnooptimista	Oferta	Sí/No específica	Apuesta decidida	Sí
<b>China's People Republic Government</b>	Business as Usual	Cota superior	Tecnooptimista	Oferta	Sí/Sí	Incluye	No
<b>Government of India</b>	Business as Usual	Cota superior	Tecnooptimista	Oferta	Sí/Sí	Apuesta decidida	No
<b>Government of Germany</b>	Business as Usual	No considera	Tecnooptimista	Oferta	Sí*/Sí	Apuesta decidida	Sí
<b>The Danish Government</b>	Cambios profundos	No considera	No optimista	Demanda	No/No	Apuesta decidida	Desconocido
<b>California Air Resources</b>	Business as Usual	No considera	Tecnooptimista	Oferta	No específica/Sí	Incluye	Sí

Elaboración propia

El marco general del agotamiento del petróleo, descrito en el capítulo tercero condiciona la adopción de estos posicionamientos, algo que, en términos generales, no es considerado en toda su amplitud por los informes analizados. En las sucesivas valoraciones críticas hemos discutido algunos de los retos y contradicciones en los objetivos e instrumentos para luchar contra el cambio climático. Todas ellas hacen referencia a la confrontación de las estrategias con cuestiones que tienen en cuenta en mayor o menor medida, como el citado techo del petróleo, limitaciones impuestas por la tecnología – como el efecto rebote– o las fricciones entre las perspectivas y ambiciones de los países desarrollados frente a las de los emergentes.

En definitiva, los planes de desarrollo sostenible y lucha contra el cambio climático que se redacten en el futuro, debieran considerar los tres factores fundamentales que los limitan: el techo del petróleo, las restricciones de la tecnología y las diferencias internacionales en cuanto a la responsabilidad y costes a asumir en la transición.

## 6. CONCLUSIONES

El desarrollo económico se enfrenta a dos barreras, en su interacción con las fronteras del sistema biofísico, que debe afrontar. Por el lado de los residuos, las emisiones de CO<sub>2</sub> y el resto de GEI han causado un cambio climático que amenaza con rebasar su punto de no retorno y con unas exigencias de reducciones difícilmente alcanzables si se mantienen los patrones actuales. El otro factor limitante, por el lado de los recursos, es el techo del petróleo, que además se encuentra estrechamente ligado al cambio climático, pues su combustión tiene como residuo principal precisamente al CO<sub>2</sub>. La necesidad de una transición que supere estas dos cuestiones motiva el análisis de las distintas experiencias y literatura sobre estrategias para lograrlo.

Los enfoques utilizados en las diferentes estrategias oscilan, en general, entre la perspectiva multi-nivel y, especialmente, la de gestión de nichos estratégicos y de gestión de transiciones. Los dos últimos enfoques, útiles para la adopción de estrategias concretas, se tornan insuficientes en tanto que no parten de un análisis completo, a la luz de las carencias detectadas en el capítulo anterior. El enfoque sociometabólico lograría cubrir estas carencias pues, como veíamos en el capítulo segundo, permite distinguir entre los distintos perfiles sociometabólicos históricos y regionales, detectando el agotamiento del petróleo y las distintas fases que coexisten en el tiempo en diferentes territorios. Si bien podría achacarse al enfoque sociometabólico el defecto de no establecer pautas claras y definidas para poner en marcha una transición que, de hecho, considera incierta y no controlable en su totalidad, sí tiene la capacidad de describir la situación de partida y sus trayectorias con la mayor precisión, así como poner el foco en la variable clave (la energía y sus tecnologías de conversión). Aprovechando al máximo la potencialidad del

enfoque sociometabólico, no deben despreciarse las aportaciones desde otros enfoques. Los citados enfoques de la gestión de nichos y gestión de transiciones ofrecen herramientas de gran utilidad para la detección de nichos tecnológicos a desarrollar, además de mecanismos de coordinación intergeneracional para llevarlo a cabo. A su vez, la perspectiva multi-nivel se revela también como un complemento muy eficaz, no solo por la útil categorización que hace de los distintos niveles, sino por su capacidad para ofrecer las claves de interacción entre los agentes de los distintos niveles que pueden activar las transiciones. Desde un enfoque, el sociometabólico, que señala como unidad de análisis la sociedad y su interacción con los sistemas naturales, la perspectiva multi-nivel ofrece un interesante punto de apoyo para establecer las relaciones dentro del sistema social. Por ejemplo, la elaboración y aprobación por parte de los Gobiernos de estos planes constituiría una presión del entorno que no se aprovecharía al máximo si no va precedida del apoyo de unos nichos activos y en efervescencia a través de iniciativas locales que cristalicen en el sostén de un nuevo régimen sociometabólico tras la apertura de estas “ventanas de oportunidad”.

En la Introducción establecíamos la hipótesis de que la elaboración de los futuros planes de desarrollo sostenible y lucha contra el cambio climático, si quieren tener eficacia global y coherencia entre objetivos, han de enfrentarse al menos a tres condicionantes fundamentales: la llegada del techo del petróleo, las restricciones de la tecnología y los intereses encontrados de los países. Las contradicciones entre objetivos e instrumentos de los planes de desarrollo nos llevan a concluir que la inclusión de estos condicionantes es un requisito indispensable para lograr planificar de manera eficaz la transición. No solo deberá tenerse en cuenta esto, sino que sería de gran utilidad apoyarse en las enseñanzas derivadas de experiencias de transición pasadas como la sueca, la cubana o las distintas localidades y regiones enumeradas al comienzo del capítulo cuarto. La experiencia cubana rompe con la idea de que llevar a cabo este tipo de transiciones, que implican una reducción, al menos, en la cantidad de energía consumida, tenga efectos negativos sobre el desarrollo humano y económico. Al contrario, la evidencia demuestra que, a pesar de las dificultades, tras la transición los niveles de IDH crecen, mientras que los de

presión sobre el medio ambiente caen. La acumulación de este bagaje no debe desaprovecharse y han de extraerse, siempre desde una perspectiva crítica, las lecciones de utilidad para el desarrollo de una transición a escala planetaria. Si el logro de los 2°C quiere ser alcanzado en los tiempos requeridos, sin sufrir los efectos de un colapso socioeconómico por motivo del agotamiento del petróleo, deben adoptarse estos condicionantes mínimos en la redacción de futuras estrategias. Los futuros planes de transición deben partir de manera inequívoca del marco general del agotamiento del petróleo y de la complejidad con la que se infiltra más allá de la combustión energética (como por ejemplo el uso intensivo como insumo indirecto en la agricultura) para poder trazar una estrategia realmente eficaz y con coherencia entre objetivos e instrumentos

Quienes no tengan en cuenta estos condicionantes se encuentran abocados a tomar decisiones como apostar por la energía nuclear (o incluso mantener los combustibles fósiles) u optar por un modelo de gestión de la oferta que no tenga en cuenta que los niveles de generación energética de los combustibles fósiles son difícilmente alcanzables y más difícilmente aún sustituibles. Algunos tratan de esquivar estas dificultades abogando por incrementos en la eficiencia de magnitudes difíciles de creer con la tecnología actual y que no consideran el efecto rebote. Además, el agotamiento del petróleo no podrá ser revertido por la tecnología mientras exista la segunda ley de la termodinámica y todo barril de petróleo consumido desaparezca sin posibilidad alguna de recuperación. Todo lo más que podrá hacer la tecnología será acelerar el proceso de agotamiento, con técnicas crecientemente costosas y agresivas con el medio ambiente como la fractura hidráulica o 'fracking'.

La distribución territorial del consumo energético y de la generación de emisiones es un reto de primer orden que debe abordarse en todo plan, sea de ámbito nacional o no. Las emisiones generadas y el petróleo extraído hasta hoy son los que nos sitúan en este escenario de emergencia medioambiental y de agotamiento del petróleo. Las legítimas aspiraciones de los países denominados como emergentes –más aquellos que vayan incorporándose –de eliminación de la pobreza y desarrollo pueden desembocar en conflictos que, en el caso del acceso al petróleo restante, pudieran llegar a ser armados.

La evidencia y asunción por parte de los organismos internacionales y de los propios países desarrollados de que el planeta no puede asumir la incorporación de nuevas naciones al modelo de desarrollo sustentado en el petróleo y las emisiones, pone de manifiesto un secreto a voces: el modelo de desarrollo de los países ricos no puede ser generalizado al resto del planeta. Así, podemos señalar que el modelo de desarrollo considerado como convencional hoy en día –el seguido por los países ricos –se ha alcanzado drenando las capacidades de desarrollarse según este esquema de otros territorios. Las estrategias de desarrollo sostenible y lucha contra el cambio climático no pueden esquivar esta cuestión y simplemente “retirar la escalera”<sup>24</sup> por la que estos países alcanzaron el desarrollo a los países no desarrollados. Deben contemplarse, si se desea alcanzar una transición equilibrada, justa y libre de conflictos, mecanismos de cooperación internacional que planifiquen y distribuyan las cargas –sociales, económicas y ambientales– de manera equitativa. Entre ellas, la ofrecida por el Protocolo de Agotamiento propuesto por ASPO, no sería un mal comienzo.

---

<sup>24</sup> Por analogía con el trabajo de Chang, H-J. (2004), “Retirar la escalera” en el que, a través de un análisis histórico, demuestra que los países ricos alcanzaron el desarrollo valiéndose de políticas proteccionistas que ahora les son negadas a los países pobres, a través de los Organismos Internacionales.

## Bibliografía

- Adriaanse, A. . (1997). *Resource flows: the material basis of industrial economies*. World Resources Institute, Wuppertal Institute, Netherland Ministry of Housing Spatial Planning and Environment, National Institute of Environmental Studies.
- ASPO. (2008). *Newsletter(february)*. Cork: ASPO.
- Ayres, R.U. y U. Simonis, (eds.). (1994). *Industrial Metabolism: reestructuring for sustainable development*. United Nations University Press.
- Ayres, R.U.; Ayres, L.W., (eds.). (2002). *Handbook of Industrial Ecology*. Cheltenham: Edward Elgar.
- Banco Mundial. (2011). *World Development Indicators 2010*. Washington: Banco Mundial.
- Bermejo, R. (2008). *Un futuro sin petróleo. Colapsos y transformaciones socioeconómicas*. Madrid: Centro de Investigación para la Paz.
- Bermejo, R. (2009). Estudio sobre el potencial transformador de las sociedades en emergencia energética. *Ekonomiaz*(71), 136-163.
- Blake, A. (2005). Jevons' paradox. *Ecological Economics*(54), 9-21.
- Borucke, M., Moore, D., Cranston, G., Gracey, K., Iha, K., Larson, J., . . . Galli, A. (2013). Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: The National Footprint Accounts' underlying methodology and framework. *Ecological Indicators*, 24, 518-533.
- British Petroleum. (2013). *BP Statistical Review os World Energy 2013*. Londres: BP.
- British Petroleum. (2014). *BP Statistical Review of World Energy June 2014*. Londres: BP.
- Brown, L. E. (2011). *World on the Edge: How to Prevent Environmental and Economic Collapse*. Nueva York: Earth Policy Institute.
- California Air Resources Board. (2008). *Climate Change Scoping Plan: A Framework for Change (Pursuant yo AB 32, The California Global Warming Solutions Act of 2006)*. State of California.
- Carpintero, Ó. (2003). Los costes ambientales del sector servicios y la nueva economía: Entre la "desmaterialización" y el "efecto rebote". *Economía Industrial*(352), 59-76.
- Carpintero, Ó. (2005). *El metabolismo de la economía española. Recursos naturales y huella ecológica (1955-2000)*. Madrid: Economía vs Naturaleza.
- Carpintero, Ó. (2008). "Biocombustibles y uso energético de la biomasa: un análisis crítico". En J. Sempere, & E. Tello, *El fin de la era del petróleo barato* (págs. 135-159). Barcelona: Icaria.
- Carpintero, Ó. y Riechmann, J. (2013). Pensar la transición: enseñanzas y estrategias económico-ecológicas. *Revista de Economía Crítica*(16), 45-177.
- Chang, H.-J. (2004). *Retirar la escalera*. La catarata de los libros.
- Cirera, A.; Benach, J. y Rodríguez Farré, E. (2007). *¿Átomos de fiar? Impacto de la energía nuclear sobre la salud y el medio ambiente*. Madrid: Los libros de la Catarata.
- Climate Works Australia. (2010). *Low Carbon Growth Plan for Australia*. Melbourne: Climate Works Australia.

- Coderch, M. (2007). "Energía nuclear: agonía o resurrección". En A. Cirera, A. Benach, & E. Rodríguez Farré, *¿Átomos de fiar? Impacto de la energía nuclear sobre la salud y el medio ambiente*. (págs. 127-139). Madrid: Los Libros de la Catarata.
- Common, M. y S. Stagl. (2008). *Introducción a la economía ecológica*. Madrid: Ed. Reverté.
- Consejo de Seguridad Nuclear. (s.f.). *CSN-Consejo de Seguridad Nuclear*. Obtenido de <http://www.csn.es/index.php/es/residuos/origen-y-clasificacion/residuos-radiactivos->
- Constanza, R. (1989). What is Ecological Economics? *Ecological Economics*, 1, 1-7.
- Constanza, R., Ch. Perrings, C. Cleveland, (eds.). (1997). *The development of Ecological Economics*. Cheltenham: Edward Elgar.
- Daly, H. (1968). On economics as a life science. *Journal of Political Economy*, 76(3), 392-406.
- de Bruyn, S.M.; van der Bergh, J.C.J.M.y Opschoor, J.B. (1998). Economic growth and emissions: Reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves. *Ecological Economics*(25), 161-175.
- Díaz, M. y Darnhofer, I. (2013). Green tides in Brittany: What can we learn about niche-regime interactions? *Environmental Innovation and Societal Transitions*(8), 62-75.
- Duarte, R.; Mainar, A. y Sánchez-Choliz, J. (2013). The role of consumption patterns, demand and technological factors on the recent evolution of CO2 emissions in a group of advanced economies. *Ecological Economics*(96), 1-13.
- EPA. (2014). *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2012*. Whashington D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.
- European Commission. (2011). *A Roadmap for Moving to a Competitive Low Carbon Economy in 2050*. Brussels: European Commission.
- Fischer-Kowalski, M. (1998). Society's Metabolism. The Intellectual History of Material Flow Analysis, Part I, 1860-1970. *Journal of Industrial Ecology*, 2(1), 61-78.
- Fischer-Kowalski, M. (2011). Analyzing sustainability transitions as a shift between socio-metabolic regimes. *Environmental Innovation and Societal Transitions*(1), 152-159.
- Fischer-Kowalski, M. e., Haas, W., Wiedenhofer, D., Weisz, U., Pallua, I., Possaner, N., . . . Weis, E. (2012). *Socio-Ecological Transitions: Definitions, Dynamics and Related Global Scenarios*. Bélgica: Institute for Social Ecology.
- Fischer-Kowalski, M. y Hüttler, W. (1999). Society's Metabolism: The State of the Art. The Intellectual History of Material Flow Analysis, Part II: 1970-1998. *Journal of Industrial Ecology*, 2(4), 107137.
- Freeman, Christopher y Pérez, Carlota. (1988). "Structural crises of adjustment, business cycles and investment behaviour". En G. Dosi, C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg, & L. Soete, *Technical Change and Economic Theory*. (págs. 38-67). Londres: Pinter.
- García, E. (2007). "Del pico del petróleo a las visiones de una sociedad post-fosilista". En J. Sempere, & E. Tello, *El final de la era del petróleo barato* (págs. 21-49). Barcelona: Icaria.
- Geels, F. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, 8/9(31), 1257-1274.

- Geels, F. (2006). Co-evolutionary and multi-level dynamics in transitions: the transformation of aviation systems and the shift from propeller to turbojet (1930-1970). *Technovation*(26), 999-1016.
- Geels, F. (2011). The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1, 24-40.
- Geels, F.W. y Schot, J.W. (2007). Typology of sociotechnical transitions pathways. *Research Policy*(36), 399-417.
- Georgescu-Roegen, N. (1971). *The Entropy Law and The Economic Process*. Cambridge: Harvard University Press.
- Georgescu-Roegen, N. (1994). ¿Qué puede enseñar a los economistas la termodinámica y la biología? En F. Aguilera, & V. Alcántara, *De la Economía Ambiental a la Economía Ecológica*. Barcelona: Icaria.
- Global Footprint Network. (s.f.). Obtenido de <http://www.footprintnetwork.org/es/>
- Government of India. (2008). *National Action Plan on Climate Change*. Prime Minister's Council on Climate Change.
- Government of Germany. (2010). *Energy Concept for an Environmentally Sound, Reliable and Affordable Energy Supply*. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.
- Government of India. (2011). *Interim report of the expert group on Low Carbon strategies for inclusive growth*. Government of India.
- Government of the People's Republic of China. (2011a). *China's Policies and Actions in Responding to Climate Change*. White Paper. Beijing: Information Office of the State Council of the People's Republic of China.
- Government of the People's Republic of China. (2011b). *China's Twelfth Five Year Plan (2011-2015)*. Delegation of the European Union in China.
- Hall, Ch. y Kent A. Klitgaard. (2012). *Energy and the Wealth of Nations: Understanding the Biophysical Economy*. London: Springer.
- Hansen, J., Sato, M., Kharecha, P., Beerling, D., Berner, R., Masson-Delmotte, V., . . . Zachos, J. (2008). Target atmospheric CO<sub>2</sub>: where should humanity aim? *The Open Atmospheric Science Journal*, 2, 217-231.
- Heinberg, R. (2014). *Fracking: el bálsamo milagroso*. Barcelona: Icaria.
- Höök, M. y Aleklett, K. (2008). A decline rate study of Norwegian oil production. *Energy Policy*, 36(11), 4262-4271.
- Höök, M., Hirsch, R. y Aleklett, K. (2009). Giant oil field decline rates and their influence on world oil production. *Energy Policy*, 37(6), 2262-2272.
- Hubbert, M. K. (1956). Nuclear Energy and the Fossil Fuels.
- Hughes, J. D. (2013). *Perfora, chico, perfora. ¿Pueden los combustibles no convencionales introducirnos en una nueva era de abundancia del petróleo?* Santa Rosa, California.: Post Carbon Institute.
- Institute, P. C. (s.f.). *Postcarbon cities*. Obtenido de [www.postcarboncities.net](http://www.postcarboncities.net)
- International Energy Agency. (2010). *World Energy Outlook 2010*. Paris: IEA Publications.
- International Energy Agency. (2011). *Key Energy Statistics*. París: IEA.
- International Energy Agency. (2012). *World Energy Outlook 2012*. París: IEA Publications.
- IPCC. (2005). *La protección de la capa de ozono y el sistema climático mundial*. IPCC.
- IPCC. (2013). *Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers*. IPCC.

- J. Wiseman, Edwards, T. y Luckins, K. (2013). Post carbon pathways: A meta-analysis of 18 large-scale post carbon economy transition strategies. *Environmental Innovation and Societal Transitions*(8), 76-93.
- Jackson, T. (2011). *Prosperidad sin crecimiento*. Barcelona: Icaria.
- Jacobsson, S. y Bergek, A. (2011). Innovation system analyses and sustainability transitions: Contributions and suggestions for research. *Environmental Innovation and Societal Transitions*(1), 41-57.
- Jevons, W. S. (1865). *The coal question: An inquiry Concerning the Progress of the Nation and the Probable Exhaustion of our coal-mines*. Londerés: Macmillan.
- Kemp, M., & Wexler, J. (2010). *Zero Carbon Britain 2030: A New Energy Strategy*. Llwyngwern: CAT Publications.
- Kemp, R., Schot, J. y Hoogma, R. (1998). Regime Shifts to Sustainability Through Processes of Niche Formation: The Approach os Strategic Niche Management. *Technology Analysis & Strategic Management*, 10(2), 175-195.
- Kraussman, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K-H., Haberl, H. y Fischer-Kowlaski, M. (2009). Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. *Ecological Economics*(68), 2696-2705.
- Lachman, D. A. (2013). A survey and revie of approaches to study transitions. *Energy Policy*(58), 269-276.
- Markaard, J., & Raven, B. y. (2012). Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. *Research Policy*(41), 955-967.
- Martínez Alier, J. y Roca, J. . (2013). *Economía ecológica y política ambiental*. México: FCE (3ª edición).
- Martínez Alier, J., Ropke, I. ,(eds.). (2008). *New Developments in Ecological Economics*. Chentelham: Edward Elgar.
- Martínez-Alier, J. (1991). Ecological perception, Environmental Policy and Distributional Conflicts: Some lessons from History. En R. Constanza, *Ecological Economics. The Science and Management of Sustainability* (págs. 119-120). New York: Columbia University Press.
- Mason, L.; Prior, T.; Mudd, G.y Giurco, D. (2011). Availability, addiction and alternatives: three criteria for assesing the impact of peak minerals on society. *Journal of Cleaner Production*(19), 958-966.
- Meadows, Donella H., Meadows, Dennis L., Randers, Jorgen, Behrens III y William W. (1972). *The limits to growth*. Nueva York: Universe Books.
- Murphy, P. y Morgan, F. (2013). "Cuba: lecciones de un decrecimiento forzoso". En E. Assadourian, & T. Prugh, *La situación del mundo en 2013. ¿Es aún posible lograr la sostenibilidad?* (págs. 487-503). Barcelona: Icaria.
- Naredo, J. M. (2003). *La economía en evolución. Historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico*. Madrid : Siglo XXI.
- Polimeni, J.M., Giampetro, M. y Alcott, B. (2008). *The Jevons Paradox and the Myth of Resource Efficiency Improvements*. London: Earthscan.
- Prior, T.D.; Giurco, G.; Mason, J.y Behrisch. (2012). Resource depletion, peak minerals and the implications for sustainable resource management. *Global Environmental Change*(22), 577-587.
- Reynolds, D. (2014). World oil production trend: Comparing Hubbert multi-cycle curves. *Ecological Economics*, 98, 62-71.
- Riechmann, J. (2003). *Cuidar la T(t)ierra. Políticas agrarias y alimentarias sostenibles para entrar en el siglo XXI*. Barcelona: Icaria.

- Riechmann, J. (2003). *Cuidar la T(tierra). Políticas agrarias y alimentarias sostenibles para entrar en el siglo XXI*. Barcelona: Icaria.
- Riechmann, J. (2008). "Chocando contra los límites: veinte tesis sobre biomasa y agrocombustibles". En J. Sempere, & E. Tello, *El fin de la era del petróleo barato* (págs. 159-185). Barcelona: Icaria.
- Roca, J. y Padilla, E. (2003). Emisiones atmosféricas y crecimiento económico en España: la curva de Kuznets ambiental y el Protocolo de Kyoto. *Economía Industrial*(351), 73-86.
- Rostow, W. W. (1961). *Las etapas del crecimiento económico*. F.C.E.
- Rotmans, J., et al. (2001). More evolution than revolution: transition management in public policy. *Foresight*, 3(1), 15-31.
- Sempere, J. (2008). "Los riesgos y el potencial político de la transición a la era post-petróleo". En J. Sempere, & E. Tello, *El final de la era del petróleo barato* (págs. 49-71). Barcelona: Icaria.
- Sieferle, R. (2001). *The subterranean forest. Energy systems and the Industrial Revolution*. Cambridge: The White Horse Press.
- Stern, D. (2004). The rise and fall of the environmental Kuznets curve. *World Development*(32), 1419-1439.
- Tainter, J. (2011). Energy, complexity, and sustainability: A historical perspective. *Environmental Innovation and Societal Transitions*(1), 89-95.
- Tapia-Granados, J.A. y Carpintero, Óscar. (2013). "Dynamics and economic aspects of climate change". En M. Kang, *Combating Climate Change: An Agricultural Perspective*. New York: CRC Press.
- Tapia-Granados, J.A.; Ionides, E.L. y Carpintero, Óscar. (2012). Climate change and the world economy: short-run determinants of atmospheric CO<sub>2</sub>". *Environmental Science and Policy*(21), 50-62.
- Teske, S. (2010). *Energy (R)evolution. Towards a fully renewable energy supply in the EU27*. BeelzePub, Belgium: Greenpeace International, European Renewable Council (EREC).
- The Danish Government. (2011). *Our Future Energy*. The Danish Government.
- Transition Networks. (s.f.). *Transition Network*. Obtenido de <http://www.transitionnetwork.net>
- UNDP. (2013). *Human Development Report. Explanatory Note on 2013 HDR composite indices*. Nueva York: United Nations Development Program.
- van der Kroon, B., Brouwer, R. y van Beukering, P.J.H. (2013). The energy ladder: Theoretical myth or empirical truth? Results from a meta-analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(20), 504-513.
- Wagner, M. (2008). The carbon Kuznets curve: A cloudy picture emitted by bad econometrics? *Resource Energy and Economics*, 30, 388-408.
- WBGU. (2011). *World in Transition: A social contract for Sustainability: Emerging Pathways of Transformation*. Berlín: German Advisory Council on Global Change (WBGU).
- Wright, M., & Hearps, P. (2010). *Zero Carbon Australia 2020 - Stationary Energy Plan*. Melbourne.: Beyond Zero Emissions and University of Merlbourne Energy Reserarch Institute.
- WWF. (2011). *The Energy Report: 100% Renewable by 2050*. . Gland, Suiza: World Wide Fund for Nature (WWF).