

El estudio del cambio climático desde la economía¹

Studying climate change in economics

Journal of Economic Literature (JEL):

O13, O29, Q01, Q43, Q48

Palabras clave:

Cambio climático

Inventarios de emisiones

Responsabilidad de mitigación

Patrones de consumo

Desigualdad

Keywords:

Climate Change

Emission Inventories

Mitigation Responsibility

Consumption Patterns

Inequality

Fecha de recepción:

26 de octubre de 2016

Fecha de aceptación:

26 de febrero de 2018

Resumen

El estudio del cambio climático en economía sostiene la idea de que la tecnología, el financiamiento y las políticas públicas (en caso necesario) posibilitan la compatibilidad entre el crecimiento económico y la mitigación del cambio climático. Se trata de una especie de *mainstream* ampliado en el que ha privilegiado el análisis de la oferta. Al dejar fuera a la demanda, se ha pasado por alto la influencia del consumo sobre el cambio climático, por ejemplo, un incremento de la demanda de energía como efecto adverso de la eficiencia energética (paradoja de Jevons); o una probable demanda energética tan alta, que no sea factible satisfacerla con energías limpias. Para integrar la demanda al estudio del cambio climático, algunos enfoques alternativos han propuesto contabilizar las emisiones con base en el consumo, así como incorporar el análisis de la desigualdad económica y las formas de consumo por nivel de ingresos al interior de los países. Ambas alternativas conducen a replantear el efecto de los patrones de consumo sobre el cambio climático y la distribución de responsabilidades de mitigación entre países e individuos, lo cual puede abrir opciones complementarias para el diseño de estrategias y políticas de mitigación.

Mónica Santillán Vera

Posgrado de Economía, UNAM

<monicasv@comunidad.unam.mx>

Abstract

Studying climate change in economics holds the idea that technology, funding, and public policy (if it is necessary) enable compatibility between economic growth and

¹ La autora agradece los comentarios de Angel de la Vega y Alicia Puyana que retroalimentaron este trabajo, elaborado en el contexto de su investigación doctoral “La demanda de bienes y servicios de los hogares por nivel de ingreso y las emisiones de CO₂: el caso de México, 1990-2014” que realiza en el Posgrado de Economía de la UNAM. Asimismo agradece las sugerencias de los dictaminadores anónimos.

113

climate change mitigation. That is a kind of extended mainstream which has focused on supply. Ignoring demand, it has overlooked the influence of consumption activities on climate change, e.g., an increase in energy demand as an adverse effect of energy efficiency (Jevons paradox), or a possible energy demand so high that it cannot be satisfied by forms of clean energy. In order to include the demand to climate change analysis, some alternative approaches have proposed assessing emissions based on consumption activities, as well as taking into account economic inequality and consumption patterns by income level within countries. These both alternatives lead economics to rethink the effect of consumption patterns on climate change and the allocation of mitigation responsibilities among countries and individuals, thus opening up complementary options for designing mitigation strategies and policies.

Introducción

En la ciencia económica, el estudio del cambio climático se ha abordado principalmente a través de elementos teóricos con raíces neoclásicas provenientes de la economía ambiental. “El enfoque convencional”, así denominado en este documento, se ha centrado principalmente en la perspectiva de la oferta (sectores productivos) y ha dejado a un lado un amplio espectro de estudio del lado de la demanda (consumidores finales).

En este trabajo se hace una revisión crítica de dicho enfoque y adicionalmente se estudian dos perspectivas alternativas del lado de la demanda: 1) los inventarios de emisiones basados en consumo; y 2) la desigualdad económica y los patrones de consumo por nivel de ingresos. Ambas perspectivas contribuyen a cerrar las brechas de estudio que el enfoque convencional ha dejado. Incorporar este tipo de análisis puede resultar de gran utilidad en el diseño de estrategias y políticas de mitigación de emisiones, tanto a nivel nacional como en el ámbito internacional, importante sobre todo a la luz del poco alcance que las estrategias de mitigación actuales han mostrado.

El enfoque convencional... y algunos cuestionamientos

Desde que la obra “Nuestro futuro común” (WCED, 1987), también conocida como “Informe Brundtland”, acuñó de manera “formal” el término “desarrollo sostenible”,² este concepto cobró gran fuerza y, dada su flexibilidad, se ha aplicado en el estudio de prácticamente todos los problemas de tipo medioambiental, incluido el cambio climático.³ “Nuestro futuro común” constituye una propuesta optimista que buscó conciliar aspectos económicos, ambientales y sociales del desarrollo. Fue un llamado a la acción para cambiar las estrategias de desarrollo y revertir el deterioro ambiental a través del desarrollo sostenible. El Informe planteó que el desarrollo sostenible

² Desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias (WCED, 1987).

³ Diversos autores sugieren que el concepto de desarrollo sostenible es ambiguo, incluso contradictorio. La imprecisión del concepto lo vuelve flexible y proclive a múltiples interpretaciones, con lo que ha ganado una aceptación casi general, consolidándose como una poderosa herramienta de consenso. Ver, por ejemplo, Lelé (1991) y Mebratu (1998).

implica limitaciones, pero no límites absolutos, sino limitaciones que imponen a los recursos del medio ambiente el estado actual de la tecnología y de la organización social, así como la capacidad de la biosfera de absorber los efectos de las actividades humanas. Ordenar y mejorar la tecnología y la organización social serían entonces las formas para abrir camino a una nueva era de crecimiento económico, el cual se consideró indispensable para abatir la pobreza, mayor causa y efecto de los problemas ambientales.

Sobre estas ideas se han articulado la mayor parte de las estrategias de mitigación del cambio climático, denominadas aquí “enfoque convencional”. Este enfoque se basa en principios fundamentales neoclásicos, pero reconoce la existencia de fallas de mercado y la pertinente intervención de Estado. Se trata de una especie de “*mainstream* ampliado”, como lo denomina de la Vega (2015):

Si bien se mantiene la idea de que la “economía pura” establece con rigor la norma de la economía perfectamente competitiva, de manera pragmática se debe intentar acercar la realidad lo más cerca de esa norma. Aquí es donde se sitúa el papel del Estado, a quien se le otorga el estatuto de implantar las condiciones para que un mercado funcione: un Estado regulador (p. 99).

Para mitigar emisiones, de forma inicial se supone que el mercado, con precios correctos, envía las señales para estimular las inversiones, tanto en proyectos concretos de mitigación, como en actividades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación que contribuyan a ella. Si el mercado no logra estos estímulos, se aboga por la intervención del Estado e incluso de la comunidad internacional. Este pragmatismo guía la elaboración de las políticas públicas para el cambio climático y es evidente su predominio en prácticamente todos los documentos de análisis del tema, incluidos los del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), que mucho peso tienen en el tratamiento del cambio climático.

En un marco amplio, planteamientos como “producción limpia”,⁴ “ecoeficiencia”,⁵ “economía verde”,⁶ entre otros, apuntan a una producción creciente de bienes y servicios conjugada con una menor utilización de recursos naturales (materia y energía) y menores impactos ambientales (contaminación, emisiones de CO₂, etc.). En un marco más específico para el cambio climático, el Proyecto de Rutas de Descarbonación

⁴ Minimización de desechos de la actividad productiva, en la que los gobiernos establecen regulaciones específicas que el sector productivo debe cumplir (Leal, 2005).

⁵ Productividad de los recursos naturales y reducción de los impactos ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida de los productos. El sector privado es el protagonista del proceso de mejoramiento ambiental, en un contexto en que sus objetivos de producir, generar empleo, obtener ganancias e invertir no aparecen como nuevos enemigos del medio ambiente, sino como aliados (Leal, 2005).

⁶ Concepto gestado al interior del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) que se refiere a aquella economía que tiene bajas emisiones de carbono, utiliza los recursos de forma eficiente y es socialmente incluyente. La economía verde otorga un papel fundamental a las inversiones verdes, ya que identifica a la asignación incorrecta de capital como la principal causa de la crisis ambiental (PNUMA, 2011).

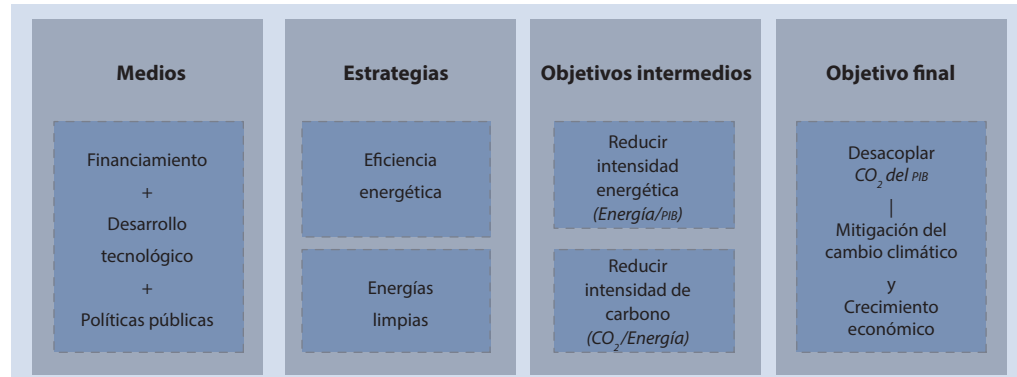
Profunda (DDPP, del inglés *Deep Decarbonization Pathways Project*), una iniciativa de colaboración global de investigación formada en 2013, sugiere compatibilizar el crecimiento económico con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente de CO₂ relacionado con la energía.

En el DDPP actualmente participan 16 países,⁷ los cuales en 2010 emitieron 74% del CO₂ global relacionado con la energía. Este proyecto plantea que los países (individualmente) pueden transitar a una economía baja en carbono y contribuir para limitar el incremento de la temperatura debajo de los 2° C. La idea primordial es que una descarbonación profunda del sistema energético es técnicamente posible y puede adaptarse al crecimiento económico y demográfico, siempre y cuando se impulsen los tres pilares para lograrlo: eficiencia energética y conservación; descarbonación de la electricidad y los combustibles; y cambio a fuentes de bajo carbono en los usos finales de la energía. Así, según el DDPP, la descarbonación profunda permitirá simultáneamente expandir el acceso a la energía en países en desarrollo, continuar con el transporte de pasajeros y mercancías, proveer viviendas y servicios públicos iguales o mejores, y soportar altos niveles de actividad industrial y comercial (DDPP, 2015).

De acuerdo al DDPP, la escala de inversión necesaria para mejorar la infraestructura y lograr la descarbonación profunda es mayor que los niveles de inversión energética actuales, lo cual crea oportunidades económicas; pero más que un gran incremento en la inversión energética, se trata de un cambio en el destino de esta inversión, de las tecnologías fósiles hacia las de bajo carbono. En la misma línea, el IPCC ha señalado que a pesar de que no hay definiciones acordadas para la inversión climática o la financiación climática, los flujos financieros asociados con la mitigación y la adaptación del cambio climático están disponibles (IPCC, 2014).

De forma sintética, el Esquema 1 muestra la idea esencial del enfoque convencional. El financiamiento, la tecnología y las políticas públicas (en caso necesario) son los medios que permiten implementar las estrategias de mitigación: eficiencia energética y energías limpias, principalmente. Éstas reducen la intensidad energética del PIB y la intensidad de carbono de la energía, respetivamente. De tal modo, las estrategias de mitigación posibilitan la compatibilidad entre la mitigación del cambio climático y el crecimiento económico al desacoplar la actividad económica de las emisiones de CO₂ $\left(\frac{\text{CO}_2}{\text{PIB}} = \frac{\text{Energía}^*}{\text{PIB}} \frac{\text{CO}_2}{\text{Energía}} \right)$.

Esquema 1
La mitigación del cambio climático desde el enfoque convencional



Fuente: elaboración propia.

El desacoplamiento economía- CO_2

Sobre el desacoplamiento de la actividad económica de las emisiones de carbono ha habido algunos avances, empero, todas las actividades que producen un valor económico, por muy sofisticadas que sean, requieren del ecosistema como base material (insumos diversos y energía) y sus procesos de transformación necesariamente generan algún tipo de residuo (CO_2 y otros) y mayor entropía.⁸ No es posible que haya un desacoplamiento absoluto, e incluso, para algunos autores, habría que estudiar con mayor detalle los desacoplamientos más “exitosos” mostrados en las economías desarrolladas, pues estos podrían obedecer, no solo a la inversión en tecnologías de bajo carbono, sino también al cambio en su estructura productiva acompañado de importaciones de bienes intensivos en el uso de fósiles provenientes de economías en desarrollo (García Ochoa, 2010; Jackson, 2009; Simms, Johnson, & Chowla, 2010). Así, el alcance de mitigación de algunos podría estar relacionado con mayores emisiones de otros.

Según Jackson (2009), para lograr que toda la población tuviera un ingreso promedio equivalente al de Estados Unidos en 2007 y sin ir más allá de 450 ppm (partes por millón) de CO_2 , las emisiones de carbono por cada dólar de PIB tendrían que reducirse 55 veces entre 2009 y 2050 (poco más de 98%). Por su parte, el DDPP (2015) estimó que de llevar a cabo la descarbonación profunda, las emisiones de CO_2 promedio del sistema energético por unidad de PIB reducirían 87% entre 2010 y 2050 en el conjunto de sus 16 países miembros. Estas estimaciones disímiles sugieren que si se pretende trazar una trayectoria de crecimiento económico incluyente y bajas emisiones de CO_2 , la relativamente menor caída de la razón CO_2/PIB que apunta el DDPP tendría que ser compensada por una mayor caída de dicha razón en el resto del mundo, donde se prevé más complicado reducir las emisiones de CO_2 .

Mientras la trayectoria de emisiones de CO_2 relacionadas con la energía del DDPP al 2050 es compatible con la probabilidad 66-100% de limitar el incremento de la temperatura debajo de los $2^\circ C$, si se consideran las emisiones de CO_2 relacionadas

⁸ En términos simplificados, la entropía es energía no disponible para la ejecución de trabajo.

con la energía de países no miembros del DDPP, las emisiones de los *bunkers* internacionales⁹ y las emisiones de CO₂ no relacionadas con la energía, dicha probabilidad cae en el rango 33 a 66%¹⁰ (DDPP, 2015). Para superar esta caída, el DDPP reconoce la importancia de generar trayectorias de descarbonación más profundas en los países miembros, ampliar el análisis a todas las fuentes de emisiones de CO₂ e incluir trayectorias de descarbonación del resto del mundo.

De introducir el último punto, los pronósticos de descarbonación podrían ser menos alentadores que los actuales del DDPP. El conjunto de países no miembros del DDPP comprende una gran parte de países en desarrollo, donde se espera incrementar la actividad económica (principalmente de sectores industriales intensivos en carbono) y ampliar el acceso energético entre la población. Además, en este conjunto de países se espera un crecimiento demográfico de 73% entre 2010 y 2050,¹¹ lo que sin grandes cambios o incluso con incrementos en los patrones de emisión per cápita,¹² redundaría en un alto crecimiento de las emisiones de CO₂ en términos absolutos.

Estas y otras reflexiones, ponen en jaque el enfoque convencional para enfrentar el cambio climático. Una discusión aguda tiene que ver con el hecho de que dadas las dimensiones de la cantidad de energía que en el futuro sería demandada si se mantienen los patrones de comportamiento de la sociedad de consumo vigente y continúa una trayectoria de crecimiento económico (así sea bajo), el desarrollo tecnológico y el financiamiento de tecnologías bajas en carbono serían insuficientes para reducir las emisiones de CO₂ al nivel propuesto en las trayectorias de descarbonación o en los acuerdos internacionales.

Sobre el desarrollo tecnológico y las tendencias en el consumo _____

Sobre el desarrollo tecnológico, persiste una confianza excesiva en que éste resuelve los problemas ambientales sin requerir ningún cambio en la sociedad de consumo capitalista (Brey, 1999; Trainer, 2007). Se considera, incluso, que ya existen muchas tecnologías capaces de resolver los problemas ambientales, pero que los políticos incompetentes han fallado en implementarlas (Trainer, 2011). Este optimismo tecnológico viene dado por diversos factores. Primero, por la observación de que los estándares de vida actuales se han elevado drásticamente en comparación con los de siglos anteriores, debido en buena medida, al desarrollo tecnológico, por lo que se le confiere un papel central en casi cualquier desafío para los seres humanos. Además, por el reconocimiento de que el impacto ambiental de la actividad económica está ampliamente determinado por el ritmo y la dirección del cambio tecnológico; y que

⁹ Transporte marítimo y aéreo internacional.

¹⁰ Se utilizan los rangos de probabilidad propuestos por el IPCC (2014).

¹¹ En contraste, en el conjunto DDPP el crecimiento demográfico esperado entre 2010 y 2050 es de 17%. Ambos porcentajes utilizan estimaciones con fertilidad media de Naciones Unidas (2015).

¹² Incluso, para el conjunto de países con emisiones bajas e ingreso moderado miembros del DDPP (Brasil, India, Indonesia y México) se espera que entre 2010 y 2050 el consumo de energía final per cápita se duplique y las emisiones de CO₂ per cápita se mantengan aproximadamente en el mismo nivel (DDPP, 2015).

al paso del tiempo, la tecnología se afianza como solución de los problemas ambientales porque sus costos tienden a caer, su calidad tiende a aumentar y una amplia variedad tecnológica tiende a estar disponible (Popp, Newell, & Jaffe, 2010).

En este sentido, un planteamiento muy optimista es el reconocido Factor 4 (Von Weizsäcker, Lovins, & Lovins, 1998), según el cual es posible duplicar el bienestar y reducir a la mitad los impactos ambientales con base en los avances técnicos.¹³ Para obtener cuatro veces más beneficios de los recursos, la clave es una “revolución de la eficiencia” que incremente su productividad; esta revolución es posible, incluso con costos negativos, es decir, con ganancias. Aunque los autores sugieren algunos cambios en las políticas y esquemas de inversión, ponen mucho mayor énfasis en la rentabilidad de la eficiencia para impulsar el Factor 4, por lo que identifican al sector privado como el actor clave.

Popp, Newell y Jaffe (2010) esbozan otra perspectiva, si bien optimista sobre el alcance de la tecnología para enfrentar los problemas ambientales (centrándose principalmente en la contaminación), distinta en el sentido de que dan más fuerza al papel de las políticas públicas. Los autores subrayan el rol de las políticas ambiental y tecnológica para corregir fallas de mercado, pues mientras la contaminación genera externalidades negativas, la inversión en investigación, desarrollo, innovación y tecnología genera externalidades positivas. En ausencia de políticas, las firmas tienen pocos incentivos para invertir en tecnologías que reduzcan sus niveles de contaminación y el avance técnico en cuestiones ambientales podría rezagarse. Pero con el soporte de las políticas públicas, los autores afirman que estas dificultades pueden superarse y consolidar al desarrollo tecnológico como solución a la emisión de contaminantes.

No obstante, los beneficios ambientales del desarrollo tecnológico, ya sea impulsado por el sector público o por el privado, podrían ser anulados por la dinámica de consumo de la sociedad capitalista, un hecho incluso reconocido por los promotores del Factor 4: para 2050, con una población prevista de 10 mil millones de personas y crecimiento en el consumo de 1.5% anual entre 1995 y 2050, los beneficios ambientales del Factor 4 (si tal revolución ocurre) podrían ser devorados por el crecimiento de la población y del consumo per cápita (Von Weizsäcker, Lovins, & Lovins, 1998). En la parte final del libro, los autores afirman que cuando el crecimiento sea desenfrenado y las oportunidades de ganancias sean eventualmente agotadas, no se podrá escapar de establecer límites civilizatorios al crecimiento, lo que implicará un mejor entendimiento del bienestar y la satisfacción.

Duchin & Lange (1994, citados en (Suh & Kagawa, 2009)), por su parte, analizaron las consecuencias de los supuestos del Informe Bruntland respecto al cambio tecnológico y el desarrollo económico. Mediante un modelo insumo-producto (I-P) global con múltiples regiones, concluyeron que las mejoras en la eficiencia y la reducción de la contaminación no serían suficientes para compensar el impacto del crecimiento

¹³ El Factor 10, un planteamiento aún más optimista desarrollado por Schmidt-Bleek a principios de la década de 1990, propone un salto radical en la eficiencia del uso de los recursos (excluido del análisis de este documento por considerarlo extremo). Para referencias concretas, visitar la página <http://www.factor10-institute.org/>.

de la población y la mejora en los estándares de vida. Otros estudios consideran que ni la tecnología, ni la adaptación de las empresas alcanzará 65 a 80% de reducción de las emisiones mundiales recomendados por el IPCC para permanecer dentro del límite de 2°C y que la adaptación de los modelos de consumo será requerida (Parry *et al.*, 2008; Parry y Palutikov, 2008; Meinhausen, 2006; Hansen *et al.*, 2008, citados en (Dubois & Ceron, 2015)).

La eficiencia energética _____

La tecnología, además, no es neutral y tiene efectos colaterales inesperados y, tal vez, no deseados (Brey, 1999). En relación con las estrategias para mitigar el cambio climático, los efectos de la eficiencia energética sobre la demanda de energía total han sido cuestionados con lo que se conoce como “efecto rebote” o “paradoja de Jevons”.¹⁴ En la economía energética, este planteamiento sugiere que la eficiencia energética podría tener un impacto menor al esperado sobre la caída de la demanda energética o incluso podría suscitarse un incremento en ésta (efecto de retroceso o *backfire*).

El efecto rebote puede ocurrir por diversos mecanismos (Font Vivanco, McDowall, Freire-González, Kempd, & van der Voet, 2016; IPCC, 2014b):

Directos

a) Efecto sustitución: se origina en el sector de demanda final de los hogares, cuando las medidas de eficiencia energética reducen los costos de cierta energía y como consecuencia impulsan el consumo de ésta. Por ejemplo, conducir un auto más eficiente, cuyo ahorro en combustible induce a recorrer distancias más largas; o usar un foco ahorrador y dejarlo encendido más tiempo que un foco incandescente. *b) Efecto I-P:* surge en la producción cuando una reducción en los costos de los servicios energéticos conduce a una caída de los costos de producción y, posteriormente, del precio de bienes y servicios, lo que incrementa la demanda de esos bienes y servicios y la demanda de energía.

Indirectos

a) Efecto ingreso del lado del consumo (re-spending): la reducción del gasto en energía por mejoras en la eficiencia energética deriva en mayor ingreso disponible de los consumidores, que es usado para la compra de otros bienes y servicios que pueden consumir energía directamente o la consumieron para ser producidos. Por ejemplo, el ahorro en la factura de electricidad que se utiliza para comprar un nuevo teléfono celular. *b) Efecto ingreso del lado de la producción (re-investment):* el ahorro en energía en el proceso productivo libera recursos para invertir en otros bienes de capital.

¹⁴ Esta denominación deriva de la sentencia que Jevons planteó en 1865 al observar el incremento en el uso del carbón después de ser creada la máquina de vapor: “aumentar la eficiencia disminuye el consumo instantáneo pero incrementa el uso del modelo, lo que provoca un incremento del consumo global” (Jevons, 1865).

Macroeconómicos _____

El efecto agregado de los impactos anteriores, que puede incidir en los precios de mercado de los energéticos, el crecimiento económico, entre otros.

Sobre la magnitud del efecto rebote, las estimaciones son diversas y van desde efectos nulos hasta efectos de retroceso. La mayoría de las estimaciones descansan en métodos econométricos y han estudiado los efectos directos, principalmente el efecto sustitución en países desarrollados. En estos países, una revisión de 500 estudios sugiere efectos rebote directos de aproximadamente 10%.¹⁵ Otras revisiones han mostrado rangos amplios: entre 0 y 60%. Para las medidas de eficiencia energética en los hogares, la mayoría muestra rebotes entre 20 y 45% (directos e indirectos). En el transporte privado, algunos estudios señalan efectos rebote entre 57 y 62% en general, de 30% en Estados Unidos y entre 30 y 50% en Alemania e Italia (Hertwich, 2005; IPCC, 2014).

En países en desarrollo el efecto rebote podría ser mayor (IPCC, 2014b). Es más probable que haya efectos rebote fuertes cuando el consumo energético está limitado por los costos, es decir, cuando los costos energéticos representan una gran proporción de los costos totales, como en países pobres y grupos de ingresos bajos, que registran una alta elasticidad precio de la demanda de energía (Hertwich, 2005). En países en desarrollo, es menos probable que la eficiencia energética conduzca a una estabilización o disminución del consumo de energía, ya que el consumo no se mantiene estático, sino que sigue aumentando debido a factores demográficos, económicos y sociales (García Ochoa, 2010).

De acuerdo con Trainer (2007), el efecto rebote debe ser entendido en relación con el imperativo fundamental de la sociedad de consumo capitalista: maximizar el producto y el consumo siempre. De hecho, desde la perspectiva de la política económica, el efecto rebote puede dar lugar a efectos propagación que impulsan el crecimiento económico, lo cual no es un resultado indeseable (Hertwich, 2005). En la misma línea, Lezama (2014) señala que "...en última instancia, la política de ahorro y eficiencia energética que deriva del discurso eficientista internacional funcionaría más para hacer sostenible la reproducción de los capitales que para la sostenibilidad ambiental" (p. 18).

Las energías limpias _____

La sustitución de energías fósiles por energías limpias, al igual que la eficiencia energética, es cuestionable y podría ser limitada. Trainer (2007) argumenta que los altos niveles de producción y consumo característicos de la sociedad de consumo capitalista no pueden ser sostenidos por energías limpias (renovables, nuclear, captura y almacenamiento de carbono, biocombustibles), mucho menos si en el futuro se

¹⁵ La estimación del efecto rebote de 10% significa que se ahorra 10% menos energía que lo proyectado en las medidas de eficiencia energética, es decir que la eficiencia energética solo alcanza 90% de su meta original.

espera que toda la población mantenga estándares de vida similares a los de países desarrollados hoy día.

Para la generación de electricidad, las fuentes de energía renovable presentan diversos inconvenientes. La generación eléctrica solar, eólica, hidráulica o geotérmica solo es factible en algunas regiones; la solar y la eólica muestran una alta variabilidad que las obliga a contar con plantas de respaldo; las plantas geotérmicas podrían tener una baja eficiencia por la cantidad de energía usada para perforar hasta la profundidad requerida, y más aún, la geotermia podría considerarse no renovable debido a que se extrae calor acumulado lentamente en el tiempo geológico; los biocombustibles solo pueden proveer una pequeña fracción de la demanda de combustibles para la generación eléctrica; y en general, los costos de la producción eléctrica renovable son altos, aunque muchas veces reportados engañosamente, refiriendo a los costos en el punto de generación máximo o sin incluir los costos de interconexión o de la planta de respaldo (*Ibidem*).

Además, aunque el avance tecnológico ha reducido costos y mejorado perspectivas para las energías renovables, y muchos analistas suponen que seguirá ocurriendo, es un hecho que estas energías aun no logran ser competitivas si no hay intervención gubernamental, como incentivos económicos, políticas industriales y tecnológicas, etc.; menos aún en el contexto de precios bajos del petróleo. Además, hay quienes consideran que la energía eólica es ya técnicamente madura y no es realista esperar reducciones importantes en los costos, salvo en algunos materiales; y que tampoco es posible bajar más los costos de los componentes de las celdas fotovoltaicas (de la Vega, 2013). Las variaciones en los costos nivelados para la generación eléctrica en años recientes apuntan a que efectivamente los costos de algunas tecnologías han detenido su trayectoria a la baja, mientras que otras continúan tal tendencia;¹⁶ y las perspectivas para el mediano plazo mantienen al ciclo combinado como una opción más rentable que la eólica o la solar.¹⁷ En este escenario, el papel de las políticas públicas seguirá siendo determinante.

Por otro lado, un problema adicional que podría frenar la expansión de las renovables, observado principalmente en los parques eólicos y en las grandes hidroeléctricas,¹⁸ es el surgimiento de conflictos relacionados con el uso del suelo e impactos ambientales, sociales, económicos y culturales a nivel local (Guijarro, Lumbreras, Habert, & Guereña, 2009; Ledec, Rapp, & Aiello, 2011; WEC, 2015).

¹⁶ Según datos de IRENA (2016), entre 2010 y 2015 las variaciones de los costos nivelados para la generación eléctrica por fuente fueron: solar fotovoltaica -56%; solar térmica -35%; eólica *onshore* -16%; eólica *offshore* +1%; geotermia +1%; mientras que hidráulica y biomasa prácticamente no registraron cambios.

¹⁷ Los costos nivelados estimados para las nuevas plantas de generación que entraran en operación en 2022 en Estados Unidos (sin créditos fiscales) reportan el menor costo para la energía geotérmica, seguida de las tecnologías de ciclo combinado, la eólica, la hidroeléctrica y la solar fotovoltaica (EIA, 2016).

¹⁸ En diversas fuentes de información, las grandes hidros no son consideradas energías renovables por los impactos que causan en los ecosistemas locales.

Respecto a la generación nuclear, Leeuwin and Smith (2003 y 2005, citados en (Trainer, 2007)) analizaron los recursos globales de uranio y los costos energéticos, y concluyeron que hay muy poco uranio con grado suficiente para sostener una era nuclear más allá de pocos años y que existe una gran cantidad de uranio de baja ley, por lo que extraerlo usaría más energía de la que efectivamente podría proveer. Aunque la industria nuclear rechaza este análisis, los autores consideran que no es posible una era nuclear a menos que se pueda demostrar que existe aproximadamente más de cien veces la cantidad de uranio que ellos estiman. Además, consideran que el uso de torio en vez de uranio, no haría una gran diferencia, y que adicionalmente algunos procesos requerirían el uso de plutonio, lo que multiplicaría los riesgos de la generación nuclear.

Sobre la seguridad de la generación nuclear, socialmente existen muchas controversias que implican de hecho limitantes en su expansión. De la Vega (2013), por ejemplo, señala que después del accidente de la planta nuclear Fukushima Daiichi, la energía nuclear se ha visto cuestionada nuevamente, cuando parecía recuperarse de Three Miles Island y Chernobil e incrementar su presencia en los primeros años de este siglo. Algunos gobiernos ya han puesto un freno, Alemania ha decidido eliminarla de su matriz energética hacia 2022, y otros revisan a fondo sus instalaciones y proyectos de expansión y deciden no construir nuevas centrales nucleares, como España y Suecia.

Respecto a las tecnologías de captura y almacenamiento de carbono, algunas de sus limitaciones son las siguientes: únicamente aplican para instalaciones de energía fijas, por lo tanto, solo pueden capturar una fracción del CO₂ generado; no son compatibles con la mayoría de las plantas eléctricas existentes, por lo que habría que esperar largo tiempo para que éstas sean reemplazadas con plantas con captura y almacenamiento de CO₂; el proceso de separación del CO₂ incrementa el uso de combustibles fósiles; son costosas y requieren infraestructura y sitios para el almacenamiento del carbono (Trainer, 2007). Las tecnologías de captura y almacenamiento de carbono aún no se aplican en gran escala, y además hay preocupación en torno a la toxicidad del ciclo de vida de algunos de los solventes usados para la captura, la seguridad operacional, la integridad en el largo plazo del almacenamiento de CO₂ y los riesgos de su transporte (IPCC, 2014). Captura y almacenamiento de carbono sigue siendo una tecnología experimental, cara y riesgosa, con pocas posibilidades de ser un alivio en el largo plazo (Simms, Johnson, & Chowla, 2010).

Sobre el uso de los biocombustibles en el transporte, se observa que éstos solo pueden aportar una pequeña fracción de la alta demanda de este sector (Trainer, 2007). Entre sus limitantes, se encuentra que los biocombustibles de procedencia agrícola¹⁹ requieren grandes extensiones de tierra y compiten por el uso del suelo y

¹⁹ Incluyen fundamentalmente a los de primera generación, pero podrían incluir también a los de tercera generación (Álvarez Maciel, 2009). Los biocombustibles de primera generación se obtienen de cereales, semillas oleaginosas, grasas animales y aceites vegetales de desecho; los de segunda generación utilizan, por ejemplo, residuos agrícolas y forestales compuestos fundamentalmente por celulosa; y los de tercera generación se derivan de materias primas como algas y cultivos energéticos avanzados (IPCC, 2012, pág. 955). Una cuarta generación se encuentra en

los recursos hídricos con la producción de alimentos (IPCC, 2012); de hecho, diversos estudios señalan su relación con la escalada del precio de los alimentos que tuvo lugar en segunda mitad de la década de 2000 (FAO, 2008; Hélaïne, M'barek, & Gay, 2013; WB, 2013; Wise, 2012). Mientras que los combustibles no agrícolas aún no constatan su aplicación a gran escala.

Por otro lado, la viabilidad de los biocombustibles para producir energía y evitar la generación de emisiones de GEI es un constante debate y depende en buena medida de la materia prima utilizada, el proceso de producción del biocombustible y sus efectos netos en el uso del suelo. Patzek, *et al.* (2005), por ejemplo, advierten que la producción de etanol a partir de maíz reporta un balance energético negativo y un efecto nulo sobre las emisiones de CO₂. Álvarez Maciel (2009) señala que los biocombustibles de segunda generación presentan poca ganancia en disminución de las emisiones de GEI respecto a los biocombustibles de primera generación. Otros estudios discuten la capacidad real de los biocombustibles para mitigar emisiones si se considera su ciclo de vida completo (Bird, Cowie, Cherubini, & Jungmeier, 2011; IPCC, 2012). Fargione, Hill, Tilman, Polasky, & Hawthorne (2008) consideran que el efecto neto sobre las emisiones dependerá de cómo se produzcan los biocombustibles y muestran que la conversión de selvas tropicales, humedales, sabanas o pastizales para producir biocombustibles a partir de cultivos de alimentos en diversas regiones ha creado una deuda neta de carbono de los biocombustibles. Searchinger, *et al.* (2009) consideran necesario corregir el marco de la contabilidad de emisiones propuesto por el IPCC y usado en la UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*), ya que éste exige el registro de las emisiones de CO₂ del uso de la bioenergía (asumiendo erróneamente que todas las fuentes de biomasa son neutras en carbono) y contabiliza las emisiones de CO₂ de la producción de biocombustibles en la categoría de cambio de uso de suelo y no en la categoría energía, lo que genera incentivos perversos para la producción de biocombustibles.

Un sitio para el análisis de la demanda en el estudio del cambio climático

A lo largo de este documento se ha enfatizado la prevalencia del análisis de la oferta y la poca atención a la demanda en el estudio del cambio climático y en las estrategias de mitigación convencionales. En otras palabras, que en el enfoque convencional no se ha visibilizado el papel del consumidor final como generador de emisiones o como posible mitigador de ellas.

En este sentido, vale la pena aclarar que la eficiencia energética es una estrategia que descansa tanto en la oferta como en la demanda. Por un lado, el sector productivo desarrolla nuevas tecnologías para mejorar el rendimiento energético de aparatos y equipos; así también, adopta estas nuevas tecnologías en sus procesos productivos. Por otra parte, los consumidores finales sustituyen el uso de ciertos bienes (lámparas, electrodomésticos, autos, etc.), generalmente “viejos”, por bienes

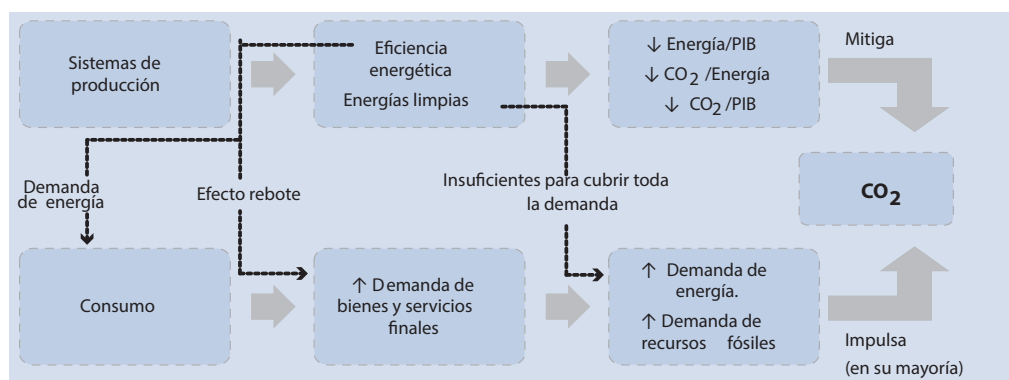
fase teórica, la cual podría producir biocombustibles a través de bacterias genéticamente modificadas (Álvarez Maciel, 2009).

“modernos” que utilizan menos energía. Así, la participación del consumidor para reducir la demanda de energía queda ceñida, en cierta medida, por el avance tecnológico y el mercado que le proporciona las opciones para usar bienes y servicios más eficientes. Por lo tanto, el papel de la oferta mantiene un peso fuerte. Pero además, es importante notar que con la eficiencia energética no se considera la demanda total, sino solamente la demanda de energía.

La demanda total de bienes y servicios finales ha sido prácticamente ignorada, como si ésta no influyera sobre el cambio climático y como si la producción baja en carbono fuera garantía de consumo sostenible. Y aunque las estrategias de mitigación convencionales han evitado la generación de miles de emisiones de CO₂, dichas estrategias no han logrado un punto de inflexión que apunte hacia una reducción significativa en la generación de emisiones. El rezago en las metas de mitigación del cambio climático y la urgencia de frenar el fenómeno llaman a flexibilizar el foco de atención de dichas estrategias, fijado hasta ahora en gran medida en la oferta, y hacer algo simultáneamente desde la demanda.

Es necesario considerar que los sistemas de producción interactúan invariablemente con los sectores de consumo, y por lo tanto, la dinámica de uno y otro se retroalimentan mutuamente. Mientras los sistemas de producción aparentemente intentan frenar emisiones, la dinámica de consumo impulsa dichas emisiones al alza (Esquema 2).

Esquema 2
Las emisiones de CO₂ en el ciclo económico completo



Fuente: elaboración propia.

Enfoques alternativos

Para integrar el análisis de la demanda al estudio del cambio climático, diversos enfoques alternativos han realizado esfuerzos importantes desde hace décadas, empero son aun minoría en estudio del tema y su difusión es igualmente reducida. En la revisión que se presenta en este trabajo se exponen básicamente dos perspectivas analíticas: 1) la responsabilidad de las emisiones de CO₂ puede ser asignada al consumidor mediante el uso de los inventarios de emisiones basados en consumo; 2) el nivel de emisiones de CO₂ derivadas del consumo es heterogéneo entre hogares (o individuos) y las diferencias podrían estar altamente relacionadas con los niveles de ingreso y los patrones de consumo.

Los inventarios basados en consumo

Como es bien sabido, el uso de los inventarios de emisiones es una de las herramientas más utilizadas para analizar los avances en torno a la mitigación. Los inventarios generalmente usados, de hecho adoptados en el marco de la UNFCCC, son los “inventarios de emisiones con enfoque territorial”,²⁰ que contabilizan las emisiones generadas por el sector productivo doméstico y externo dentro de un territorio, usualmente un país, así como las emisiones derivadas directamente del consumo de energía mediante la quema de un combustible (gas, gasolina, diesel, etc.) realizado por los hogares, el sector público y el transporte en el país.

Una alternativa a estos inventarios son los denominados “inventarios de emisiones basados en consumo”, que combinan técnicas de la metodología I-P y el análisis de la huella ecológica y constituyen una forma de contabilizar la responsabilidad de emisiones del consumidor (Turner, Lenzen, Wiedmann, & Barrett, 2007). Estos inventarios miden el impacto de la demanda interna de bienes y servicios finales,²¹ generalmente de un país, en la generación de emisiones de GEI, principalmente de CO₂. La contabilidad de emisiones de CO₂ basada en consumo considera: **1) emisiones de CO₂ indirectas**: las emisiones de CO₂ incorporadas en la demanda interna de bienes y servicios finales (producidos en el país o en el extranjero) realizada por los sectores residencial, público y privado; y **2) emisiones de CO₂ directas**: las emisiones de CO₂ derivadas directamente del consumo de energía mediante la quema de un combustible (gas, gasolina, diesel, etc.) de los sectores residencial y público.²² Con esta composición, los inventarios de CO₂ basados en consumo excluyen las emisiones de CO₂ generadas en la producción doméstica de los bienes exportados.²³

El análisis I-O aplicado a los efectos ambientales asociados con el comercio remonta al estudio de Walter (1973, citado en (Wiedmann, Lenzen, Turner, & Barrett, 2007)), que estimó la contaminación contenida en los productos americanos comerciados.²⁴ Dos décadas después emergieron más estudios, muchos de ellos enfocados en la contabilización de emisiones de CO₂ contenidas en el comercio interna-

²⁰ Aunque a los “inventarios de emisiones con enfoque territorial” también se les denomina “inventarios de emisiones basados en producción”, aquí se opta por utilizar el primer término por considerarlo más apropiado, ya que de hecho incluyen una fracción de emisiones relacionadas con el consumo (consumo energético directo) y no solo las emisiones relacionadas con la producción.

²¹ La demanda interna final de una economía se compone de bienes y servicios finales que son comprados por los hogares, el sector público y el sector privado (DI=C+G+I).

²² Las emisiones de CO₂ relacionadas con el transporte se atribuyen a cada sector de consumo, a diferencia de los balances energéticos tradicionales que consideran de forma independiente al sector transporte.

²³ Para una discusión más detallada de la integración de los inventarios, ver, por ejemplo, Aall & Hille (2010).

²⁴ Previo al análisis I-O ambiental aplicado, Leontief (1970) fue el primero en exponer cómo la contaminación, un subproducto de la actividad económica, podría ser incorporado al marco convencional I-O.

cional; y en los últimos años este interés se ha intensificado,²⁵ principalmente por la posibilidad que brindan para expandir el alcance de las políticas climáticas y aportar nuevas alternativas en las complicadas negociaciones internacionales (Davis & Caldeira, 2010; Dubois & Ceron, 2015; Peters & Hertwich, 2008).

La mayoría de los estudios iniciales utilizaron modelos I-O de una sola región, en los que se asume que los bienes y servicios importados son producidos con la misma tecnología que la tecnología doméstica en el mismo sector, lo cual resta calidad a los resultados, pues las importaciones de un país proceden de variados países y regiones, con tecnologías, estructuras e intensidad de emisiones de producción distintas. Una alternativa a este problema es el uso del modelo insumo-producto multi-región (*Multi-Region Input-Output*, MRIO), donde los países y regiones son distinguidos y los flujos de comercio internacional están internalizados dentro de la demanda intermedia. La interdependencia entre los sectores externos con tecnología de producción, uso de recursos e intensidad de emisiones diferentes puede ser cuantificada y los análisis arrojan resultados más específicos. Los modelos MRIO son actualmente más usados, aunque aún presentan algunas debilidades que se espera puedan ser superadas con mayor investigación, como mejoras en la disponibilidad y calidad de los datos, así como en la exactitud de la modelización (Wiedmann, 2009).

Las dimensiones tiempo-espacio de los estudios de contabilidad de emisiones basada en consumo han sido variadas, muchos han hecho análisis en un punto del tiempo y para ciertos países o regiones, otros han estudiado periodos largos con un alcance territorial amplio. En la práctica, la contabilidad de emisiones basada en consumo ha sido difícil de realizar por la cantidad de información requerida y por las variaciones en la definición de las categorías de actividades, actores, sectores, regiones, países, etc. No obstante, esta línea de investigación ha avanzado. Actualmente, ya hay sets de datos disponibles a nivel mundial, basados en el modelo MRIO, que reportan información sobre energía y emisiones, la cual es utilizada en múltiples investigaciones para redistribuir las emisiones de producción a las actividades de consumo. Por ejemplo: *Eora* (Lenzen, Moran, Kanemoto, & Geschke, 2013), *Exiobase* (Wood, y otros, 2015), *GTAP* (Aguiar, Narayanan, & McDougall, 2016), *WIOD* (Genty, Arto, & Neuwahl, 2012), entre otros. Más aún, ya hay bases de datos disponibles con los inventarios basados en consumo para prácticamente todos los países del mundo. Por ejemplo: los inventarios del *Global Carbon Project* del CDIAC (*Carbon Dioxide Information Analysis Center*) (Le Quééré, y otros, 2016) y los reportes del proyecto *The Environmental Footprints Explorer: a Database for Global Sustainable Accounting de*

²⁵ Hoekstra (2010, citado en (Tukker & Dietzenbacher, 2013)) refiere más de 300 *papers* de análisis I-O con enfoque ambiental publicados entre 1995 y 2010, y señala que a partir de 2005 proliferaron más estudios que analizan la contaminación envuelta en bienes comercializados. En el artículo de Wiedmann, Lenzen, Turner, & Barrett (2007) es posible consultar una revisión amplia de estudios previos a 2007, los cuales mediante análisis I-O evaluaron el impacto ambiental de las actividades de consumo. En Wiedmann (2009) se examinan estudios publicados entre 2007 y 2009, que usan modelos I-O para la contabilidad de emisiones basada en consumo; tan solo en esos dos años, el autor refiere a más de 50 estudios, sin que la revisión sea exhaustiva. De 2009 a la fecha, el desarrollo y divulgación de este tipo de estudios continúa.

la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología (NTNU, por sus siglas en noruego) (Stadler, Lonka, Moran, Pallas, & Wood, 2015).

El contraste entre la contabilidad con enfoque territorial y con enfoque de consumo puede ser drástico. La tabla 1, con base en fuentes diversas, muestra la diferencia entre los inventarios de emisiones territoriales y de consumo para algunos países, los cuales en términos absolutos representan una cantidad importante de exportación o importación neta de emisiones. La diferencia fue calculada como la tasa de cambio del inventario de emisiones de consumo con respecto al inventario territorial, expresada en términos porcentuales. Así, los valores positivos expresan que el país es importador neto de emisiones, mientras que los valores negativos indican que el país es exportador neto de emisiones. Es importante mencionar que dada la variedad de fuentes de información y metodologías, esta tabla no debe leerse como una tendencia en el tiempo, ya que cada columna refleja los hallazgos de diferentes estudios que no estiman estrictamente el mismo contenido.

Tabla 1
Diferencias entre “inventarios de CO₂ basados en consumo” e “inventarios de CO₂ territoriales” (%)

País / Año	2004 ^a	2009 ^a	2011 ^a	2011 ^a	2011 ^a	2012 ^a	2013 ^a	2014 ^b
Fuente	Davis & Caldeira (2010)	WIO-Dr2013, referido en Stadler, <i>et al.</i> (2015)	Fernández-Amador, Francois & Tomberger (2016)	Wiebe & Yamano (2016)	GTAP9, referido en Stadler, <i>et al.</i> (2015)	Exiobase3.3, referido en Stadler, <i>et al.</i> (2015)	Eora. v199.82, referido en Stadler, <i>et al.</i> (2015)	Le Quéré, <i>et al.</i> (2016)
Alemania	28	20		11	20	3	4	13
China	-23	-22	-15	-13	-15	-16	-16	-13
EUA	12	12	8	9	9	12	13	6
Francia	43	43		51	39	41	43	35
India	-7	-3	-3	-7	-3	-4	-11	-9
Japón	22	16	21	16	19	5	14	14
Reino Unido	46	18		30	35	23	52	36
Rusia	-19	-22	-11	-32	-10	-15	-19	-15

^aEstimaciones de emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles. ^bEstimaciones de emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles, venteo de gas y producción de cemento. Elaboración propia con base en revisión de literatura.

Las conclusiones fundamentales apuntan a que los países desarrollados importan emisiones de los países en desarrollo a través de la importación de diversos productos; es decir, que una fracción importante de la producción de los países en desarrollo satisface las necesidades de consumo de los países desarrollados, cuyas emisiones hasta ahora solo se consideran responsabilidad del país productor. Así, los inventa-

rios basados en consumo enfatizan el papel de los patrones de consumo y la heterogeneidad entre países que conlleva a diferentes responsabilidades de emisiones.

La desigualdad económica y los patrones de consumo ---

En relación también con las formas de consumo, existen otras aproximaciones que incorporan en su análisis la desigualdad al interior de los países, una preocupación que ocupa un lugar central en la dinámica económica actual (Cordera, 2017). Chakravarty, *et al.* (2009), por ejemplo, desarrollaron un esquema para asignar objetivos de reducción de emisiones con base en el principio “responsabilidades comunes pero diferenciadas”, pero en contraste con la UNFCCC, el principio se aplica entre individuos y no entre naciones. Los autores proponen una regla sencilla para estimar un tope de emisiones individuales globales y con ello encontrar los límites correspondientes de emisiones nacionales agregadas. Con información sobre la distribución del ingreso nacional y la intensidad de carbono de la economía, y asumiendo una elasticidad unitaria entre ingreso y emisiones,²⁶ calcularon las emisiones individuales al interior de los países, de donde resaltan el hecho de que hay “altos emisores” en todo el mundo, no solo en los países desarrollados, y proponen que sean tratados por igual respecto a la obligación de reducir emisiones, independientemente dónde vivan.

Para encontrar los límites de emisiones individuales y nacionales, por un lado especificaron un objetivo de emisiones (30 GtCO₂ en 2030), y por otro, escalaron la distribución del ingreso (asumiendo que no hay cambios en el tiempo) a las proyecciones de población y emisiones bajo el escenario *Business As Usual (BAU)*. De tal modo, fijaron un tope de emisiones individuales de 10.8 tCO₂/año en 2030, que en el escenario *BAU* sería rebasado por 1.13 miles de millones de personas en el mundo. La responsabilidad de mitigación de cada nación sería entonces la suma de las emisiones excedentes de los “altos emisores” individuales (*Ibidem*).

Gluber & Pachauri (2009) consideraron que el análisis de Chakravarty, *et al.* (2009) descansa en supuestos altamente cuestionables teórica y empíricamente, aludiendo principalmente a dos: la distribución del ingreso constante y la elasticidad unitaria ingreso-emisiones. La primera porque contrasta con la curva de Kuznets; y la segunda porque empíricamente se han encontrado elasticidades ingreso-emisiones diferentes entre países, regiones, estados de desarrollo, etc. Gluber y Pachauri reclamaron usar teorías establecidas y datos empíricos sólidos para tener cabida en las negociaciones internacionales.

No obstante, el estudio de Chakravarty, *et al.* (2009) representa una alternativa novedosa para estudiar la importancia del consumo entre individuos al interior de los países, de hecho, estudios posteriores han retomado estrategias metodológicas similares y superado algunos de los inconvenientes de este primer análisis, tales como el hecho de incluir únicamente emisiones de CO₂ de combustibles fósiles (no CO₂ por

²⁶ Los autores justifican el uso del supuesto de elasticidad ingreso-emisiones unitaria por considerar que los resultados son bastante insensibles al valor de la elasticidad (realizan estimaciones con elasticidades entre 0.7 y 1.0, rango usual de oscilación); así mismo para mantener la simplicidad del análisis.

cambio de uso de suelo y otros gases de GEI), omitir en el análisis las emisiones incorporadas en exportaciones e importaciones, y no tomar en cuenta la responsabilidad histórica de las emisiones.

Un enfoque que ha logrado incorporar estos elementos es el *Climate Equity Reference Project (CERP)* (EcoEquity; Stockholm Environment Institute, 2015), que deviene de una iniciativa anterior formada en 2004, el *Greenhouse Development Rights Project*. El principio general sobre el que se funda este proyecto es la distribución justa de la carga de las obligaciones para enfrentar el cambio climático, con base en una combinación de responsabilidades (contribución al problema) y capacidades (posibilidad de pagar) individuales, es decir, bajo el principio “responsabilidades comunes, pero diferenciadas y capacidades respectivas” entre individuos (Baer, 2013). El CERP calcula un “índice de responsabilidad y capacidad” (RCI, del inglés Responsibility and Capacity Indicator) para cada nación.²⁷ Como medida de capacidad utiliza el ingreso per cápita de los individuos dentro de un país, usando los coeficientes de Gini para tomar en cuenta la inequidad; y como medida de responsabilidad utiliza criterios como la fecha de inicio de la responsabilidad en la generación de emisiones, los diferentes tipos y fuentes de emisiones, el propósito de las emisiones, la riqueza o pobreza del emisor (emisiones de supervivencia vs emisiones de lujo, mediante la separación de emisiones en las categorías debajo y encima de un umbral de desarrollo), y los beneficiarios de las emisiones (directamente, mediante la importación de bienes intensivos en carbono, o indirectamente, mediante, por ejemplo, externalidades positivas de las actividades intensivas en emisiones) (Baer, 2013).

Los RCI permiten la asignación de la “participación justa” a cada nación como un porcentaje de las obligaciones globales totales, ya sean definidas como reducción de emisiones físicas o como costos monetarios de mitigación o adaptación, y dado que todos los países tienen al menos una pequeña proporción de gente rica, incluso los países en desarrollo tendrán obligaciones en torno a la mitigación/adaptación del cambio climático. Bajo el supuesto de elasticidad unitaria entre consumo y emisiones, el CERP calcula las emisiones de los individuos. Con base en esta estimación distribuye la carga de la descarbonación del desarrollo y propone que ésta sea pagada por aquellos que ya están consumiendo en el nivel de lujo (los emisores debajo del umbral de desarrollo son excluidos de la responsabilidad de descarbonación).

Otro estudio similar es el de Chancel & Piketty (2015), que aunque su objetivo es buscar opciones para la financiación de un fondo global de adaptación al cambio climático, gran parte de su análisis se centra en la asignación de responsabilidades de emisiones, no solo entre países, sino también al interior de ellos. Los autores utilizan un modelo de elasticidad ingreso-CO₂e simple entre 1998 y 2013 a nivel mundial (el análisis cubre aproximadamente 95% del PIB, 90% de la población y ligeramente debajo de 90% de las emisiones de CO₂e); a diferencia del marco del CERP, Chancel & Piketty no analizan la responsabilidad histórica de las emisiones. Los datos del ingreso se basan en la simulación de la distribución del ingreso al interior de los países

²⁷ En la página <https://calculator.climateequityreference.org/> es posible obtener los RCI de cada nación de acuerdo con criterios definidos por el usuario.

en 11 observaciones (una para cada uno de los nueve deciles más bajos, una para los percentiles 90-99 y otra para 1% más alto), mientras que los datos de CO₂e se basan en una estimación con enfoque de consumo. En el modelo de elasticidad simple, utilizan diversos valores de elasticidad ingreso-CO₂e, que van desde 0.6 hasta 1.5, aunque el centro de sus resultados está basado en la elasticidad de 0.9, como valor medio de las estimaciones existentes.

Algunos de sus resultados son: los grupos de bajos ingresos de Honduras, Mozambique, Ruanda y Malawi forman parte de los más bajos emisores, con emisiones de 0.1 tCO₂e/año per cápita (resultado similar al de otras estimaciones); el top 1% de los más ricos en Estados Unidos, Luxemburgo, Singapur y Arabia Saudita son los mayores emisores individuales en el mundo, con emisiones anuales per cápita alrededor de 200 tCO₂e (estimación que contrasta con otros análisis, pero que los autores consideran plausible porque en los datos usados para la distribución del ingreso hicieron adecuaciones para mejorar la aproximación del consumo de 1% más rico). Los altos emisores viven en prácticamente todo el mundo y no exclusivamente en países ricos: 10% de los mayores emisores vive en todos los países, un tercio de ellos en las economías emergentes. Asumiendo una elasticidad ingreso-CO₂e de 0.9, derivan la regla “ten-fifty”: 10% de los mayores emisores son responsables de 50% de las emisiones; y 50% de los menores emisores son responsables de 10% de las emisiones. Finalmente concluyen que la desigualdad de emisiones entre países se ha reducido, mientras que al interior de ellos ha aumentado (*ibidem*).

Por otra parte, el análisis global de Oxfam (2015) para 2008, con información de la distribución del ingreso (o consumo) a nivel de percentiles y emisiones basadas en consumo, y asumiendo una elasticidad unitaria entre las dos variables, apunta que el consumo individual es responsable de 64% de las emisiones mundiales.²⁸ Oxfam expone amplias diferencias entre ciudadanos ricos y pobres en el nivel de emisiones de carbono derivadas de sus hábitos de consumo. El estudio subraya que la desigualdad de las emisiones de carbono no solo se da entre países, sino también al interior de ellos, por lo que no tiene mucho sentido tratar a los ciudadanos como si fueran bloques homogéneos. En la misma línea que el estudio de Chancel & Piketty (2015), Oxfam concluye que la mitad más pobre de la población mundial genera alrededor de 10% de las emisiones de CO₂ atribuidas al consumo individual, mientras que 50% de dichas emisiones puede atribuirse a 10% más rico. Más aún, la huella de carbono media de 10% más rico es 60 veces superior a la de 10% más pobre; la de 1% más rico podría multiplicar por 175 la de 10% más pobre. En consecuencia, Oxfam (2015) sostiene que los ciudadanos más ricos, independientemente de dónde vivan, pueden y deben contribuir individualmente a reducir sus propias emisiones, modificando para ello su estilo de vida; empero es imposible que den solución a la crisis climática únicamente a través de sus iniciativas voluntarias.

²⁸ El resto se atribuye al consumo de los gobiernos, las inversiones (por ejemplo, infraestructura) y el transporte internacional.

Reflexiones finales

La contribución de la economía al estudio del cambio climático ha permanecido claramente sesgada a la teoría económica neoclásica, aunque con una configuración un poco más amplia al reconocer la existencia de fallas de mercado y la pertinente intervención del Estado e incluso de la comunidad internacional. Dentro de esta perspectiva, el análisis de la mitigación del cambio climático se ha ceñido a la exploración de opciones del lado de la oferta, donde el financiamiento, el desarrollo tecnológico y las políticas públicas (en caso necesario) representan las piezas clave para implementar las estrategias de mitigación –eficiencia energética y energías limpias, principalmente– y transitar a un sistema de producción de bajas emisiones que permita desacoplar el crecimiento económico de las emisiones de CO₂.

Al dejar fuera el análisis del lado de la demanda, se ha pasado por alto la influencia de las actividades de consumo sobre el cambio climático, lo cual podría obstaculizar o incluso revertir los beneficios esperados de las estrategias de mitigación convencionales. Por ejemplo, que el impulso a la eficiencia energética genere un efecto rebote en la demanda de energía (paradoja de Jevons); o que exista una demanda energética tan alta, que no sea factible satisfacerla con energías limpias. Estos posibles inconvenientes, la evidencia del alcance insuficiente de las estrategias de mitigación convencionales para reducir las emisiones de CO₂ y la urgencia de frenar el cambio climático, exigen un tratamiento integral del fenómeno, que considere el ciclo económico completo (oferta y demanda) para el análisis del cambio climático y la gestación de estrategias de mitigación.

Los inventarios de emisiones basados en consumo representan una alternativa para incorporar el rol de las actividades de consumo en el cambio climático y de cuantificar la responsabilidad de las emisiones del consumidor con base en su demanda final. En ciertos países, estos inventarios presentan fuertes contrastes con los inventarios territoriales (comúnmente usados) y sugieren que una fracción importante de la producción de los países en desarrollo satisface las necesidades de consumo de los países desarrollados, cuyas emisiones hasta ahora solo se consideran responsabilidad del país productor.

Adicionalmente, el rol del consumo puede ser aproximado con el análisis la desigualdad y las formas de consumo por nivel de ingresos al interior de los países. Las investigaciones que han avanzado en este tema sugieren la existencia de una desigualdad extrema en la generación de emisiones entre ciudadanos ricos y pobres. Ya que los altos emisores se encuentran en prácticamente todos los países y no solo en los desarrollados, estos análisis promueven que la responsabilidad de las emisiones debería distribuirse entre individuos y no solo entre países.

Las dos alternativas expuestas para analizar la influencia de la demanda sobre el cambio climático representan un avance en la comprensión exhaustiva del fenómeno, que en un terreno más amplio cuestionan los paradigmas del modelo económico actual. En la misma dirección, se observa la proliferación de publicaciones centradas en el cambio climático relacionadas con el consumo y la equidad, así como la inclusión de estos tópicos en diversos programas de investigación climática de alto nivel. Asi-

mismo, a diferencia de informes anteriores, en el Quinto Informe del IPCC (2014) dedicado a la mitigación se observó la introducción de aspectos sociales y relacionados con el consumo, aunque aún de forma marginal. Más aún, para el Sexto Informe de dicho organismo, que se publicará en el año 2022, se espera que el análisis de estos aspectos se amplíe considerablemente.

Con todo y estos avances, por ahora, hace falta más investigación para incorporar efectivamente los hallazgos de los enfoques alternativos en las estrategias de mitigación y así complementar las estrategias convencionales e incluso aportar alternativas en las complicadas negociaciones internacionales. Las estrategias para orientar el consumo de bienes y servicios con el fin de mitigar el cambio climático son pocas. Si bien existen algunos instrumentos de política suave, como la información ambiental en el etiquetado para promover patrones de consumo menos intensivos en carbono, políticas más duras, como impuestos o regulaciones que fijen cuotas de emisión per cápita son mucho más debatidos (Aall & Hille, 2010). Dubois & Ceron (2015) señalan que el enfoque de la mitigación basado en el consumo está limitado por cuestiones prácticas y de aceptabilidad política. El desarrollo de estudios consistentes que contribuyan a esta línea de investigación será crucial en el necesario replanteamiento de la mitigación.

En el desafío del diseño de estrategias de mitigación del lado de la demanda, la participación de la ciencia económica requerirá ampliar su visión más allá de la teoría neoclásica dominante e interactuar en mayor medida con otras ciencias sociales.

Bibliografía

- AALL, C., & HILLE, J. (2010). Consumption – a missing dimension in climate policy. En R. Bhaskar, & J. PARKER, *Interdisciplinarity and Climate Change. Transforming knowledge and practice for our global future* (págs. 85-99). New York: Routledge.
- AGUIAR, A., NARAYANAN, B., & MCDOUGALL, R. (2016). An Overview of the GTAP 9 Data Base. *Journal of Global Economic Analysis*, 1(1), 181-208.
- ÁLVAREZ Maciel, C. (julio-agosto de 2009). Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional. *Economía Informa* (359), 63-89.
- BAER, P. (enero-febrero de 2013). The greenhouse development rights framework for global burden sharing: reflection on principles and prospects. *WIREs Clim Change*, 4, 61-71.
- BIRD, N., COWIE, A., CHERUBINI, F., & JUNGMEIER, G. (2011). *Using a Life Cycle Assessment Approach to Estimate the Net Greenhouse Gas Emissions of Bioenergy*. IEA Bioenergy.
- BREY, P. (1999). Sustainable Technology and the Limits of Ecological Modernization. *Ludus Vitalis*, VII(12), 153-167.
- CHAKRAVARTY, S., CHIKKATUR, A., DE CONINCK, H., PACALA, S., SOCOLOW, R., & Tavoni, M. (21 de julio de 2009). Sharing global CO2 emission reductions among one billion high emitters. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 106(29), 11884-11888.
- CHANCEL, L., & PIKETTY, T. (noviembre de 2015). Carbon and inequality: from Kyoto to Paris. Trends in the global inequality of carbon emissions (1998-2013) & prospects for an equitable adaptation fund. Paris: Paris School of Economics.

- CORDERA, R. (2017). Globalización en crisis; por un desarrollo sostenible. *Economía UNAM*, 14(40), 4-12.
- DAVIS, S. J., & CALDEIRA, K. (23 de marzo de 2010). Consumption-based accounting of CO2 emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 107(12), 5687-5692.
- DDPP. (2015). *Pathways to deep decarbonization 2015 report*. SDSN - IDDRI.
- DE LA VEGA, A. (mayo de 2013). La transformación energética en México como productor de petróleo. Perspectivas de un nuevo crecimiento. *Análisis Político*. México: Fundación Friedrich Ebert Stiftung.
- DE LA VEGA, A. (2015). Apuntes acerca del lugar del conocimiento económico en los análisis del IPCC. En X. Cruz Nuñez, G. C. Delgado, & Ú. Oswald, *México ante la urgencia climática: ciencia, política y sociedad* (págs. 89-110). México: CEIICH-UNAM, CRIM-UNAM, PINCC-UNAM.
- DUBOIS, G., & CERON, J.-P. (2015). Consommation et modes de vie : une autre perspective sur les politiques d'atténuation du changement climatique. *Natures Sciences Sociétés*(23, supplément), S76-S90.
- ECO-EQUITY; Stockholm Environment Institute. (2015). *Climate Equity Reference Project*. Recuperado el 25 de agosto de 2016, de <https://climateequityreference.org/>
- EIA. (2016). *Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2016*.
- FAO. (2008). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades*.
- FARGIONE, J., Hill, J., TILMAN, D., POLASKY, S., & HAWTHORNE, P. (29 de febrero de 2008). Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt. *Science*, 319, 1235-1238.
- FERNÁNDEZ-AMADOR, O., FRANCOIS, J., & TOMBERGER, P. (2016). Carbon dioxide emissions and international trade at the turn of the millennium. *Ecological Economics*, 125, 14-26.
- FONT Vivanco, D., MCDOWALL, W., FREIRE-GONZÁLEZ, J., KEMPD, R., & VAN DER VOET, E. (2016). The foundations of the environmental rebound effect and its contribution towards a general framework. *Ecological Economics*, 125, 60-69.
- GARCÍA Ochoa, R. (2010). Hacia una perspectiva de la sustentabilidad energética. En J. Lezama, & B. Graizbord, *Los grandes problemas de México. Medio Ambiente*. (págs. 337-372). México, D.F.: El Colegio de México.
- GENTY, A., ARTO, I., & NEUWAHL, F. (2012). *Final database of environmental satellite accounts: technical report on their compilation*. WIOD Doc.
- GRUBLER, A., & PACHAURI, S. (27 de octubre de 2009). Problems with burden-sharing proposal among one billion high emitters. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 106(43), E122-E123.
- GUIJARRO, A., LUMBRERAS, J., HABERT, J., & GUEREÑA, A. (2009). *Impacto de los proyectos MDL sobre el desarrollo humano. Análisis de experiencias en Marruecos, Guatemala y México*. Intermón Oxfam.
- HÉLAINE, S., M'BAREK, R., & GAY, H. (2013). *Impacts of the EU biofuel policy on agricultural markets and land use*. Luxemburgo: European Commission.
- HERTWICH, E. G. (2005). Consumption and the rebound effect. *Journal of Industrial Ecology*, 9(1-2), 85-98.
- HERTWICH, E. G. (2005). Consumption and the rebound effect. *Journal of Industrial Ecology*, 9(1-2), 85-98.
- IPCC. (2012). *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. New York: Cambridge University Press.

- IRENA. (2016). *International Renewable Energy Agency*. Recuperado el 29 de septiembre de 2016, de Data and Statics. LCOE 2010-2015: <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=3&subTopic=33>
- JACKSON, T. (2009). *Prosperity without growth*. London: Earthscan.
- JEVONS, W. S. (1865). *The Coal Question; An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal Mines*. Reino Unido: Macmillan Publishers.
- LE QUÉRÉ, C., ANDREW, R. M., CANADELL, J. G., SITCH, S., KORSBAKKEN, J. I., PETERS, G. P., y otros. (2016). Global Carbon Budget 2016. *Earth System Science Data*, 8, 605-649.
- LEAL, J. (2005). *Ecoeficiencia: marco de análisis, indicadores y experiencias*. Santiago de Chile: CEPAL. Serie Medio Ambiente y Desarrollo.
- LEDEC, G. C., RAPP, K. W., & AIELLO, R. G. (2011). *Greening the wind. Environmental and social considerations for wind power development*. Washington: The World Bank.
- LÉLÉ, S. M. (1991). Sustainable Development: A Critical Review. *World Development*, 19(6), 607-621.
- LENZEN, M., MORAN, D., KANEMOTO, K., & GESCHKE, A. (2013). Building Eora: A Global Multi-regional Input-Output Database at High Country and Sector Resolution. *Economic Systems Research*, 25(1), 20-49.
- LEONTIEF, W. (agosto de 1970). Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach. *The Review of Economics and Statistics*, 52(3), 262-271.
- LEZAMA, J. L. (2014). *Política energética y sustentabilidad. La estrategia mexicana de ahorro y eficiencia de energía eléctrica en los hogares y la experiencia internacional*. México: El Colegio de México-CEDUA.
- MEBRATU, D. (1998). Sustainability and sustainable development: historical and conceptual review. *Environmental impact assessment review*, 18(6), 493-520.
- NACIONES Unidas. (2015). *World Population Prospects: The 2012 Revision*. Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
- OXFAM. (2015). *La desigualdad extrema de las emisiones de carbono*.
- PATZEK, T. W., ANTI, S.-M., CAMPOS, R., HA, K. W., LEE, J., LI, B., y otros. (2005). Ethanol from corn: clean renewable fuel for the future, or drain on our resources and pockets? *Environment, Development and Sustainability*, 7, 319-336.
- PETERS, G., & HERTWICH, E. (2008). CO2 Embodied in International Trade with Implications for Global Climate Policy. *Environmental Science & Technology*, 42(5), 1401-1407.
- PNUMA. (2011). *Hacia una economía verde: Guía para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza*.
- POPP, D., NEWELL, R. G., & JAFFE, A. B. (2010). Energy, the environment, and technological change. En B. HALLAND, & N. ROSENBERG, *Handbook of the Economics of Innovation- Vol-II* (págs. 873-938). Burlington: Academic Press.
- SEARCHINGER, T. D., HAMBURG, S. P., MELILLO, J., CHAMEIDES, W., HAVLIK, P., KAMMEN, D. M., y otros. (23 de octubre de 2009). Fixing a critical climate accounting error. *Science*, 326(5952), 527-528.
- SIMMS, A., JOHNSON, V., & CHOWLA, P. (2010). *Growth isn't possible. Why we need a new economic direction*. . NEF- Schumacher College.
- STADLER, K., LONKA, R., MORAN, D., PALLAS, G., & Wood, R. (2015). The Environmental Footprints Explorer - a database for global sustainable accounting. *EnviroInfo & ICT4S, Adjunct Proceedings (Part 2)*. Norwegian University of Science and Technology.
- SUH, S., & KAGAWA, S. (2009). Industrial Ecology and Input-Output Economics: A Brief History. En S. Suh, *Handbook of Input-Output Economics in Industrial Ecology* (págs. 45-58). Saint Paul: Springer.
- TRAINER, T. (2007). *Renewable Energy Cannot Sustain A Consumer Society*. Australia: Springer.

- TRAINER, T. (2011). The radical implications of a zero growth economy. *Real-World Economics Review*, 71-82.
- TUKKER, A., & DIETZENBACHER, E. (2013). Global Multiregional Input-Output Frameworks: an introduction and outlook. *Economic Systems Research*, 25(1), 1-19.
- TURNER, K., LENZEN, M., WIEDMANN, T., & BARRETT, J. (2007). Examining the global environmental impact of regional consumption activities—Part 1: A technical note on combining input–output and ecological footprint analysis. *Ecological Economics*(62), 37-44.
- VON WEIZSÄCKER, E., LOVINS, A., & LOVINS, L. (1998). *Factor Four: doubling wealth, halving resource use. The new report to the Club of Rome*. London: Earthscan.
- WB. (2013). *Global Economic Prospects, Volume 7, June 2013: Less volatile, but slower growth*.
- WCED. (1987). *Nuestro futuro común*. Naciones Unidas.
- WEC. (2015). *World Energy Resources: Charting the Upsurge in Hydropower Development 2015*. London.
- WIEBE, K. S., & YAMANO, N. (2016). *Estimating CO₂ Emissions Embodied in Final Demand and Trade Using the OECD ICIO 2015*. OECD Science, Technology and Industry Working Papers 2016/05. Paris: OECD.
- WIEDMANN, T. (2009). A review of recent multi-region input–output models used for consumption-based emission and resource accounting. *Ecological Economics*(69), 211-222.
- WIEDMANN, T., LENZEN, M., TURNER, K., & BARRETT, J. (2007). Examining the global environmental impact of regional consumption activities — Part 2: Review of input–output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade. *Ecological Economics*(61), 15-26.
- WISE, T. A. (2012). *The Cost to Developing Countries of U.S. Corn Ethanol Expansion*. Global Development and Environment Institute.
- WOOD, R., STADLER, K., BULAVSKAYA, T., LUTTER, S., GILJUM, S., DE KONING, A., y otros. (2015). Global sustainability accounting-developing EXIOBASE for multi-regional footprint analysis. *Sustainability*, 7(1), 138-163.