

Incompatibilidad entre el Efecto Rebote y la Curva Ambiental de Kuznets

The Environmental Kuznets Curve and the Rebound Effect unsuitable relationship

Edison Vásquez Sánchez

Profesor Asociado al Departamento de Economía de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Candidato a Doctor en Ciencias Económicas en la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. evasquezsa@unal.edu.co

Fecha de recepción: 18 de junio de 2014

Fecha de aceptación: 15 de septiembre de 2015

DOI: <http://dx.doi.org/10.17141/letrasverdes.18.2015.1326>

Resumen

El Efecto Rebote y la Curva Ambiental de Kuznets son hipótesis emparentadas con los fundamentales de la teoría económica ortodoxa. Ambas se hallan conexas al proceso de innovación, la dinámica del ingreso y las externalidades del crecimiento económico de base tecnológica. Cada una representa un constructo teórico consistente, si bien resultan incompatibles entre sí cuando se las compara. La Curva Ambiental de Kuznets ha servido de sustento a la desmaterialización, una estratagema discursiva clave del desarrollo sustentable. Por su parte, el Efecto Rebote se desdice de dicha tendencia, y en su lugar, ilustra incrementos agregados en el uso de recursos cuando se presentan innovaciones que paradójicamente buscan ahorros de éstos. Este artículo tiene por

objetivo ilustrar la incompatibilidad entre hipótesis y en segundo término, elucidar la implicación inmediata de ello en el discurso de la sustentabilidad.

Palabras clave: Efecto Rebote, Curva Ambiental de Kuznets, desarrollo sustentable, cambio tecnológico.

Abstract

The Rebound Effect and the Environmental Kuznets Curve are hypothesis linked with the orthodox economic theoretical background. Both are closely related to innovation, income dynamic, and technological change externalities which support economic growth. These are consistent and well-known hypothesis, but also unsuitable when they are compared among themselves. The Environmental Kuznets Curve has been understood as dematerialization, just a spearhead discursive strategy for sustainable development. By contrast, Rebound does not match the dematerialization assumption. Instead, it shows that paradoxically the aggregate use of resources rises when some innovations to save them are displayed. The aim of this paper is to explore this unsuitable relation between both hypotheses and then try to offer a new sight about sustainability.

Keywords: Rebound Effect, Environmental Kuznets Curve, sustainable development, technological change.

Introducción

El Efecto Rebote y la Curva Ambiental de Kuznets (CAK) son hipótesis relacionadas con los cambios en el ingreso y las externalidades tecnológicas base del crecimiento. Resultan incompatibles cuando se las examina desde los efectos escala e intensidad del proceso económico, aunados a la recomposición de toda la actividad del sistema; lo mismo que consideradas desde medidas de sensibilidad de la demanda de recursos, conforme va surtiendo efecto el proceso de innovación en búsqueda de mayor eficiencia productiva. Este texto ilustra dicha incompatibilidad y expone el desafío que ello representa para los postulados de la sustentabilidad.

Aunque la trayectoria histórica de la CAK es breve comparada con la del Rebote, ha alcanzado gran resonancia en el debate ambiental de las últimas décadas. Su despliegue prevé una resolución final satisfactoria del daño causado en un sistema económico que crece y degrada por la misma razón. Se trata de una senda de retorno a los estándares ambientales previos al aumento del ingreso porque a través del crecimiento va a ser posible desligarse de la base biofísica de recursos. El avance económico conlleva desarrollos tecnológicos que permiten ahorrar recursos y evitar daño. Por esta razón la CAK ha sido considerada una punta de lanza del discurso de la sustentabilidad.

En otros términos, esta hipótesis figura como adalid de la desmaterialización, que a su vez es una premisa clave en el discurso del desarrollo sustentable. El problema reside en olvidar ciertas externalidades de la invención y la selección de técnicas productivas eficientes. La innovación tecnológica suele causar reducciones en el precio de los recursos y la aplicación de las nuevas técnicas. En consecuencia con la potenciación metabólica del sistema para transformar insumos en bienes consuntivos se exagera la demanda agregada de recursos y bienes hasta niveles imprevistos.

De esta tendencia habla el Efecto Rebote, un término más actual para referirse a la Paradoja de Jevons: incrementos agregados en el uso de recursos cuando se dan innovaciones justo en búsqueda de lo contrario, de intentar ahorrarlos a nivel del artefacto o de algún proceso productivo particular. Sin proponérselo se trata de transformaciones también conducentes a reasignaciones del tiempo, puesto que con menores esfuerzos requeridos de trabajo se liberan lapsos de éste, dedicados finalmente no tanto a una resolución más cualificada del consumo básico, y más a un consumismo creciente, orientado a la cantidad o escala de consumo como estrategia para el crecimiento.

El Rebote constituye un síntoma de avanzar hacia un sistema eficientista, hiperespecializado y potente para transformar recursos en bienes útiles, lo cual no puede más que develar la connatural tendencia expansionista inherente a todo sistema económico de intercambio y acumulación. En lugar de desmaterialización, el Rebote traza una senda de materialización y dependencia creciente de la base biofísica de sustento.

Esta idea gruesa ofrece una sonda de acercamiento preliminar a la incompatibilidad entre hipótesis, para cuyo redondeo se precisa de algunos apartados. El primer tiene por objetivo exponer cierta explicación a la existencia de una CAK, misma que ha de servir de contraste analítico a la fenomenología del Rebote. El segundo se propone elucidar lo atinente al Rebote, y así, en un tercero ha de tenerse franqueado el camino para ilustrar en detalle las razones de la incompatibilidad presente entre hipótesis. En el cuarto apartado se asentarán las resonancias de este hallazgo en el discurso de la sustentabilidad. En un quinto y último apartado se expondrán aspectos conclusivos.

La curva del retorno

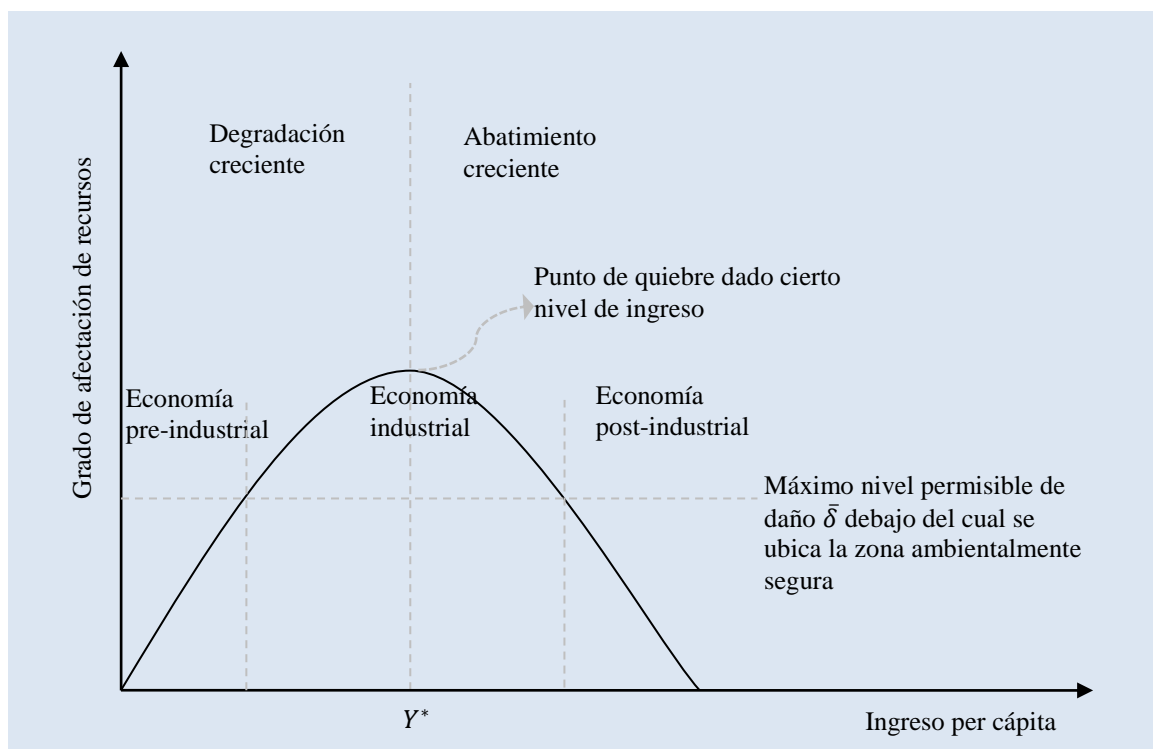
La hipótesis que entraña la CAK prevé un sistema de fuerzas productivas en plena expansión generando al tiempo daño incremental, pero con el aumento del ingreso de la población por la mayor dinámica económica también ha de estimularse la demanda de mejoras tecnológicas que promuevan una producción de menor degradación. Las transformaciones conjuntas del sistema apuntan a la configuración de una cultura de producción-consumo más limpia y menos dependiente de la base material de sustento dispensada por el ecosistema global en el largo plazo.

La hipotética senda referida queda fielmente representada mediante una forma *U-invertida* justo para cuando se pretenda relacionar los cambios en el ingreso con el daño emergido de la más intensa actividad económica, tal como lo ilustra la Figura 1.

Disponiendo de técnicas más eficientes se ahorran recursos, y también, con un ingreso más elevado tienden a consumirse comparativamente más servicios, presuntamente menos dependientes de la base biofísica de recursos. Así es como la economía ha de avanzar por una senda de transformación tecnológica-productiva hacia la desmaterialización y de retorno a los estándares previos de daño, los cuales se ubican debajo de sus máximos permisibles. Es una interpretación sino dominante acaso creíble de lo que ha de constituir un desarrollo sustentable.

Figura 1

La curva del retorno en estadios de desarrollo subsecuentes



Fuente: Adaptación a partir de: Miah et al. (2011: 60); Mythili y Mukherjee (2011: 629).

La explicación teórica más representativa, por su mayor aceptación, para la existencia de esta trayectoria *U-invertida* consiste en la conjunción de tres efectos: [1]

i) *Escala*. Una producción en ascenso requiere mayor uso y transformación de recursos, esto causa un incremento en la generación de desechos y emisiones, trayendo consigo degradación incremental del ambiente. En adición, el mayor ingreso emergente de la actividad productiva eleva la demanda final de bienes de todo tipo. El sistema alcanza en conjunto mayores volúmenes de transacción que generan mayor estrés medioambiental.

ii) *Intensidad*. El mayor ingreso permite destinar más recursos para la actividad I&D, lo cual lleva a la sustitución de unos prototipos tecnológicos por otros más limpios o eficientes; es decir, que ahorran uso de recursos y debido a ello evitan contaminantes

por unidad producida. Se trata de un efecto de reconversión tecnológica tendiente a reducir la intensidad de la degradación.

iii) *Composición*. El mayor ingreso generado induce cambios en la estructura económica. Un sistema económico (bien puede ser un país o grupo de países) bajo esta dinámica pasa a través de ciclos de vida productivos que avanzan desde sistemas agrarios, pasando por etapas intermedias de industrialización con predominancia de actividades extractivas, hasta configurar estructuras intensivas en la oferta de servicios, información y conocimiento, con un presunto menor impacto ambiental negativo asociado en comparación al de etapas precedentes.

La trama de los efectos explica la presencia de curvas de retorno. En la fase inicial del crecimiento prevalece el efecto escala y así el daño va de la mano con el aumento del ingreso. Una vez el último alcanza cierto nivel (Y^*), la consabida degradación asociada resulta contrarrestada y sobrepasada por los dos efectos restantes. [2] Es lo que causa el quiebre de la trayectoria ascendente del daño, franqueando el sobrepaso acometido en el pasado a los estándares no seguros de éste ($\bar{\delta}$).

Panayotou (1997: 29) valida esta forma explicativa de la CAK, destacando que el crecimiento genera condiciones para las mejoras ambientales al detonar la deseabilidad por éstas y proveer los recursos con los cuales llevarlas a cabo. La concreción de ello depende de las políticas, las instituciones y la funcionalidad del mercado. Políticas de regulación mejor diseñadas y sólido apoyo al sistema de garantías para ejercer los derechos de propiedad y la contratación, ayudan a que la CAK sea más platicúrtica.

Significa esto un costo en daños por crecimiento económico menor. No se trata de una explicación alterna a la CAK, es más un aspecto teórico destacando la importancia de ciertas variables estructurales en la forma final *U-invertida* por alcanzar. Lo relevante ahora es tener en mente los tres efectos explicativos de la curva y emprender con ellos una comprensión algo más detalla de la fenomenología del Rebote.

El Efecto Rebote

El Efecto Rebote es un fenómeno ligado al proceso de innovación sistemática orientado a alcanzar incrementos en la eficiencia productiva. Se busca ahorro en el uso de recursos productivos, mejora que ofrece a la firma mayor probabilidad de sobrevivir en entornos de competencia. [3] A través de ella se obtienen rentas tecnológicas forjadoras de ganancia extraordinaria porque los incrementos en la eficiencia equivalen a bajar los costos productivos, y así se eleva el margen corporativo. Una pequeña ventaja de acumulación de capital, especialmente cognitivo, a menudo permite a un agente sobreponerse a sus rivales en cualquier mercado.

Los cambios son de orden técnico, conducen a modificar los conjuntos de rutinas productivas. A veces se trata tan sólo de sustituir algunos recursos por otros de mayor calidad, más la tendencia dominante consiste en intentar transformar los artefactos, o las infraestructuras productivas conjuntas, en otras comparativamente más potentes. Cuando el proceso de innovación es exitoso, los ahorros a nivel de los artefactos productivos equivaldrán a una mayor disponibilidad de recursos productivos, incluido el saber hacer. [4]

Por supuesto, la mayor disponibilidad de recursos detona caídas en los precios marginales de éstos, e incluso, pronto llega a caer el precio de replicar las nuevas y potentes técnicas. Es difícil retener conocimiento tecnológico por mucho tiempo. Toda esta oferta incremental de insumos para la producción allana el camino hacia una sobredemanda de bienes consuntivos de todo tipo. Si el objetivo inicial era ahorrar recursos a nivel del artefacto y el resultado es una propensión creciente en el uso agregado de éstos se enfrenta un Rebote de la demanda.

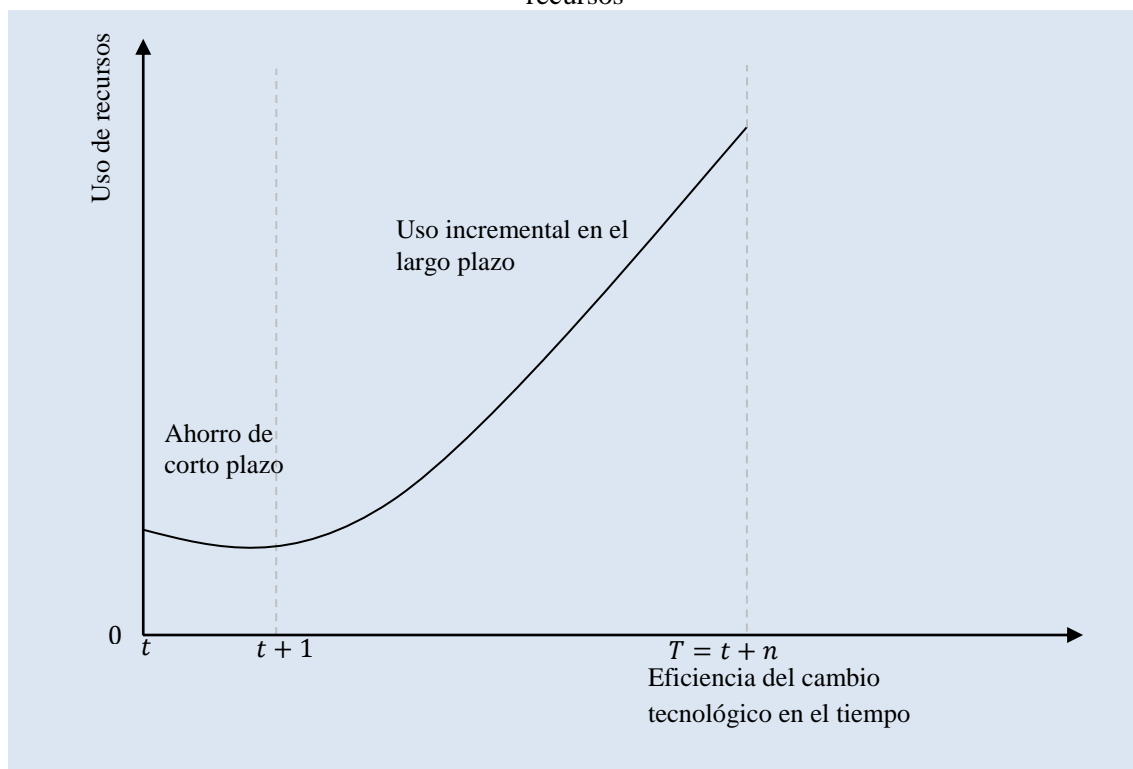
De algún modo el fenómeno puede leerse recursivamente como una cierta relación de intercambio entre la tasa de ahorro de recursos alcanzada y la tasa incremental en el uso de los mismos. Cuando la última supera a la primera se presenta el Rebote, si la supera en más de 100% se tendrá Rebote Explosivo (*Backfire*), en otro caso habrá ahorro neto de recursos.

El último escenario arroja economías externas del cambio tecnológico en favor de la conservación de recursos, pero a menudo en su lugar se tiene evidencia del Rebote. Cuanto más exitosas y radicales resulten ser las invenciones habrá mayor probabilidad de un Rebote significativo puesto que en forma proporcional ha de expandirse la frontera producción-consumo. [5]

El Rebote llega a constituir un fenómeno doble-cara: a fuerza de canalizar mayores flujos en inversión en I&D con los que bajar el costo y elevar el beneficio termina por dinamizar el crecimiento económico, y al tiempo, acelera la degradación por la sobredemanda de recursos y el estímulo servido a una transformación más acelerada de éstos. Su efecto en el bienestar no puede observarse directa ni instantáneamente, entendiendo que lo impacta simultáneamente en dos direcciones opuestas. Una representación gráfica del fenómeno, que a propósito coincide con el descubierto por William Stanley Jevons [6] (1865: 75), corresponde a la siguiente ilustración:

Figura 2

Rebote conforme a la relación esperada entre el avance en la eficiencia técnica y el uso de recursos



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 2 sugiere que la mejora por avance en la eficiencia técnica trae consigo ahorro de recursos en el corto plazo. Extendiendo el análisis a T periodos, ha de observarse un uso incremental de los mismos si es que la eficiencia reduce los precios y estimula la demanda de recursos tempranamente, generando un quiebre poco perceptible pero relevante en tanto en cuanto consolida una tendencia no decreciente en el metabolismo del sistema económico de allí en adelante. Recuérdese que los sistemas avanzan hacia la complejidad en lugar de simplificarse. Sea esta noción de complejidad entendida como creciente intensidad en la ejecución de rutinas productivas y mayores requerimientos de insumos energéticos y materiales para mantener la actividad alcanzada en su nivel contingente. Conforme sea intensa y exitosa la búsqueda de eficiencia técnica se espera una *trayectoria-J* (Jota de Jevons) en el uso de recursos.

Incompatibilidad entre hipótesis

De vuelta al asunto de la incompatibilidad, [7] la razón esencial para entender por qué el Rebote presenta un quiebre en su trayectoria a la inversa de aquel observado en la CAK es que el efecto *escala* no cede terreno. No pierde importancia relativa a causa de la fuerza de las transformaciones tecnológicas que se suceden a fin de dar salida a un cambio de composición en la estructura productiva. Éstas mantienen un impacto a nivel agregado en periodos de largo plazo de forma permanente.

Suelen dichas transformaciones corresponderse con innovaciones radicales, es el caso de los prototipos denominados Tecnología de Propósito General, que a diferencia de su contraparte, los específicos, se caracterizan por su amplia difusión y su potencial para ser mejorados, a la vez que complementados con innovaciones posteriores. [8] Se trata de macro-invencciones con fuerza suficiente para alterar la productividad factorial de modo que puedan reducirse los costos de uso de los recursos significativamente. Un resultado en materia de ahorros de eficiencia presumiblemente deseado por cualquier firma.

Siempre que una innovación incremente la eficiencia de uso de un recurso a nivel del artefacto, el consumo total de éste en lugar de caer aumenta a un nivel agregado. Detrás de ello se halla el cumplimiento de un principio económico básico: cuando se reduce el costo de usar un recurso de valía su demanda ha de aumentar. En esto consiste la

Paradoja de Jevons. Así resulta natural que el efecto escala se torne dominante en una situación en la cual el cambio tecnológico genera incentivos para ello, estimulando un nivel general de actividad económica mayor del que se hubiese presentado sin el cambio.

Una segunda razón para la incompatibilidad señalada es que el efecto composición refuerza, en lugar de compensar, la creciente demanda de recursos materiales y energéticos. Esto es así porque un sistema económico tras experimentar cambios estructurales para convertirse en una economía de servicios e información representa la cúspide de una base de consumo material considerable, en lugar de una donde ha venido predominando la abstención o desmaterialización por el tránsito de unas actividades productivas a otras.

Además en semejante estadio habrá cambiado la percepción de valor por utilidad que le es inherente a todo bien. El ingreso habrá aumentado suficiente como para descartar bienes inferiores y emplazar en su lugar demandas suntuarias, que requieren de producciones intensivas e hiper-especializadas. Exigen incorporar factores cada vez más exóticos y rebuscados con los que agregar valor y satisfacer caprichosos nichos de mercado. Estas producciones no logran desligarse de la base biofísica, todo lo contrario, con frecuencia los insumos proceden de lugares lejanos al de la factoría requiriendo consumo energético extra aplicado al transporte horizontal, al tiempo de labor e incluir insumos químicos para la manipulación y movilización segura.

Ahora, el efecto intensidad aunque permitiese el ahorro neto de recursos a nivel del artefacto productivo, incentivará al tiempo aumentos en el uso de éstos porque la innovación abre la posibilidad de diversificar las aplicaciones de una misma clase de recursos. Una gama ampliada de producto puede entrar en escena y será difícil observar firmas resistiéndose a la tentativa de variar su menú de oferta, el cual es siempre potencial fuente de ganancias, y de novedad a bajo costo para el consumidor, tanto cuanto más amplio alcance a ser.

De algún modo esta argumentación señala como el Rebote puede ser diseccionado acudiendo a los mismos tres efectos que juegan su rol en la explicación canónica de

toda CAK. Sin embargo, la importancia relativa de éstos se invierte, razón por la cual ambas hipótesis resultan incompatibles para un recurso en un mismo periodo de tiempo.

Al margen de la explicación por efectos, hay otra razón adicional de arribo a la incompatibilidad, más referida al aspecto técnico de aproximación a la medición de ambos tipos de sendas: *U-invertida* y *trayectoria-J*. La eficiencia tecnológica estimada en términos del ratio producto/insumo resulta ser la perspectiva clave en la mirada al Rebote; mientras el inverso de dicho ratio (insumo por unidad de producto) denota intensidad de uso y resulta ser esencial para la explicación del quiebre que permite mostrar la formación de toda CAK. Aun bajo neutralidad en los efectos antes descritos todavía es de esperar que las hipótesis lleven en direcciones opuestas por la forma en la cual se objetivan sus respectivas mediciones.

En el largo plazo es improbable observar una relación de tipo inverso entre el nivel de ingreso y el daño ambiental si ha de tener lugar la demanda de recursos cada vez más baratos y útiles a los fines productivos, en un sistema incentivado de modo permanente para innovar y transformarse en uno de mayor potencia metabólica.

Es lo que puede ilustrarse comparando medidas de sensibilidad en la demanda de recursos cuando se presenten cambios técnicos tendientes a reducir la intensidad de uso de éstos en un escenario de producción. Significa la puesta en escena de una última arista de contraste, pero esta vez partiendo desde la aprehensión formal del Rebote como una medida de sensibilidad del cambio en el metabolismo alcanzada por la economía en conjunto, ante incrementos en la eficiencia de uso de los recursos requeridos como insumo periodo a periodo en el ciclo producción-consumo.

Se sabe de cómo los cambios innovativos ocurren en el nivel micro-productivo, es decir, son más visibles a nivel del artefacto mejorado e inserto en la estructura de transformación de insumos en bienes finales, tras la acometida de flujos de inversión en I&D. Contemplar en el Rebote un fenómeno de producción está tan permitido como el estimar la diferenciación entre hipótesis por medio de medidas de sensibilidad. [9]

Con algún recurso R se genera un servicio útil para fines consuntivos y productivos ε_R , cuyo monto depende de un factor de conversión tecnológico positivo τ_R , además de la cantidad disponible del recurso mismo. Sea: [10]

$$\varepsilon_R = \tau_R R \quad (1)$$

En (1) τ_R denota eficiencia, es decir, unidades de servicio obtenidas por cantidad de recurso ingresado en calidad de insumo. En consecuencia, éste factor de conversión constituye un elemento determinante del producto, deliberadamente especificado así:

$$Y = y(\bar{k}\bar{l}, \tau_R R) = y(\bar{k}\bar{l}, \varepsilon_R) \quad (2)$$

No es necesario acudir a una forma funcional específica del producto. Por facilidad expositiva Y se presume determinada por los servicios provenientes de los fondos capital-trabajo, un único factor constante e integrado, lo cual libera espacio suficiente para centrar toda la atención en los servicios generados con el recurso y la potencia de la técnica disponible. Sólo cuando el entorno de mercado en relación al servicio ε_R se acerca a condiciones competitivas es posible inferir que los costos tienden a equipararse con los precios de transacción, y así:

$$p_\varepsilon \varepsilon_R \cong p_R R \quad (3)$$

De este modo está permitido emplear una medida del cambio en la demanda de algún recurso, aproximada por variaciones en el precio del servicio que ha de incorporar dicho recurso para ser producido, a fin de estimar de esta manera el Rebote. Este concepto latente de elasticidad queda elucidado en la formulación:

$$\frac{d \ln R}{d \ln \tau_R} = \frac{d \ln \left(\frac{\varepsilon_R}{\tau_R} \right)}{d \ln \tau_R} = \frac{\left(\frac{\tau_R}{\varepsilon_R} \right) \left(\frac{\tau_R d \varepsilon_R - \varepsilon_R d \tau_R}{\tau_R^2} \right)}{\frac{d \tau_R}{\tau_R}} = \frac{\frac{d \varepsilon_R}{\varepsilon_R} - \frac{d \tau_R}{\tau_R}}{\frac{d \tau_R}{\tau_R}} = \frac{d \varepsilon_R}{d \tau_R} \frac{\tau_R}{\varepsilon_R} - 1 \quad (4)$$

De (3) se tiene que:

$$\varepsilon_R = \frac{p_R}{p_\varepsilon} R \quad (5)$$

Reemplazando (5) en la ya conocida fórmula del factor tecnológico en (1), se tiene:

$$\tau_R = \frac{\frac{p_R R}{p_\varepsilon}}{R} = \frac{p_R}{p_\varepsilon} \quad (6)$$

Introduciendo la expresión (6) en (4) arroja:

$$\frac{d \ln R}{d \ln \tau_R} = \frac{d \varepsilon_R \left(\frac{p_R}{p_\varepsilon} \right)}{d \left(\frac{p_R}{p_\varepsilon} \right) \varepsilon_R} - 1 = -\eta_{p_\varepsilon} - 1 \quad (7)$$

En valor absoluto la expresión (7) constituye el Rebote:

$$ER = \eta_{p_\varepsilon} + 1 \quad (8)$$

Siendo la elasticidad η_{p_ε} una aproximación del ahorro en el uso de R a partir de un cambio tecnológico, capaz de alterar el factor de conversión lo suficiente como para alterar el precio relativo del recurso en relación con el del servicio donde tal es requerido.

Cuando toma lugar una variación uno a uno en la demanda de ε_R debido al cambio en el precio relativo se ha de cumplir $\eta_{p_\varepsilon} = -1$; y así $1 + (-1) = ER$, no hay lugar a Rebote alguno. Si la demanda tiende a ser inelástica como ocurre con los bienes básicos, entonces $\eta_{p_\varepsilon} \rightarrow 0$; en tanto que $ER \rightarrow 1$; y de este modo el Rebote será explosivo. En otro caso la innovación causa ahorro neto del recurso.

A fin de controlar por lo que corresponda a la hipotética *U-invertida* desde esta perspectiva ha de incluirse aquello resultante de la relación entre daño (D) y cambio en el uso del recurso. [11] Entendiendo que R en combinación con el factor τ_R incide directa y positivamente en la generación de producto Y , bien está acudir a una medida análoga como la identificada para el Rebote en la expresión (4). Sea ésta:

$$\frac{d \ln D}{d \ln R} = \frac{d \ln D}{d \ln \left(\frac{\varepsilon_R}{\tau_R} \right)} = \frac{\frac{dD}{D}}{\left(\frac{\tau_R}{\varepsilon_R} \right) \left(\frac{\tau_R d \varepsilon_R - \varepsilon_R d \tau_R}{\tau_R^2} \right)} = \frac{\frac{dD}{D} \frac{\tau_R}{d \tau_R}}{\left(\frac{d \varepsilon_R}{\varepsilon_R} - \frac{d \tau_R}{\tau_R} \right) \div \left(\frac{d \tau_R}{\tau_R} \right)} = \frac{\eta_{D\tau}}{1 + \eta_{p_\varepsilon}} = \frac{\eta_{D\tau}}{ER} \quad (9)$$

De (9) se tiene:

$$\eta_{p_R} = \frac{\eta_{D_\tau}}{ER} \quad (10)$$

O de modo equivalente:

$$ER = \frac{\eta_{D_\tau}}{\eta_{p_R}} \quad (11)$$

La fórmula (11) indica que cuanto menos sensible sea la generación de daño ante los cambios en el uso de R mayor será el Rebote, porque poco o nada se puede dispensar al proceso productivo de un flujo continuo y creciente de recursos a ser transformados y lo que ello aporta en términos de creación de valor, pero también de externalidades negativas en forma de costos ocultos. A su vez, el Rebote será mayor cuanto más sensible sea el daño ante cambios tecnológicos. En otras palabras, el Rebote es un fenómeno que se intensifica con el cambio tecnológico si éste reduce el precio relativo del recurso.

Esta caída en precio eleva el ingreso y también inevitablemente el daño. Comprenderlo algo mejor exige destacar el caso en el cual la demanda del servicio producido ε_R tiende a ser inelástica. Sólo hasta entonces $ER \rightarrow 1$; y la expresión (11) deviene en $\eta_{p_R}(1) = \eta_{D_\tau}$. Es decir, cuando el Rebote tiende a ser significativo (Explosivo), la generación de daño tiende a ser sensible ante el cambio tecnológico tanto como si de variaciones en la demanda de recursos se tratase. Y así es como estas formulaciones asientan con suficiencia la incompatibilidad entre hipótesis.

Resonancia discursiva en la sustentabilidad

Alcanzado este punto difícilmente se halla material refractario para la premisa de que toda evidencia en favor del Rebote es una en contra de la CAK. De otro modo no podría el primero representar un desafío a los postulados del desarrollo sustentable, soportados en la tesis de desmaterialización, cuya evidencia se acopia a través de la curva del retorno. [12]

El Rebote habla de materialización creciente por sobredemanda. Una *trayectoria-J* indexa la inercia de fuerzas explicadas, *grosso modo*, desde la búsqueda de beneficio económico: expansión continua del sistema, especialización creciente de los procesos productivos y de intercambio, establecimiento de una red más densa de rutinas de operación soportada necesariamente en un gasto energético creciente. Por su parte una curva en *U-invertida* habla del rompimiento de este tipo de tendencias.

Posicionar la búsqueda de beneficio como explicación envolvente de la tendencia de expansión-complejización descrita da sentido a que los prototipos tecnológicos menos eficientes deban ser reemplazados por los más exitosos. La selección de los mejores eleva necesariamente la potencia de transformación, la capacidad metabólica, y permite expandir la actividad de la mano con el trazado de nuevas metas.

Renovar las metas siguiendo lógicas de racionalidad económica significa siempre desear más, y ello se traduce en intensificar la escala de operación y de interacción en el sistema. Es inevitable una mayor presión sobre los recursos disponibles. En adición, la búsqueda de eficiencia mina la capacidad de adaptación al reducir la diversidad de opciones. La diversidad es una condición de la resiliencia, esa propiedad de los sistemas para resistir ante crisis y restablecer la funcionalidad precedente. Por estas razones el cambio tecnológico ha de estar en el centro del discurso del desarrollo sustentable, aunque lejos de la forma acostumbrada en la cual se ha privilegiado exclusivamente el rol de las externalidades positivas y prometeicas de la innovación.

La aplicación de los prototipos tecnológicos más potentes para obtener rentas extractivas y tecnológicas ha de estar regulado de un modo escrupuloso. Particular mención del Rebote, de la velocidad de agotamiento de los inventarios y de generación de daño, no pocas veces aceptado como contra-partida de puntos porcentuales de incremento en el ingreso. Tratándose de un fenómeno doble-cara, el Rebote llega a operar conflictivamente en relación con el bienestar.

La puesta en operación de ciertas innovaciones para resolver problemas productivos es un aspecto a considerar explícitamente en las metas desarrollistas. No puede continuar siendo un paradigma de engaño prometeico, debe ser dimensionado a completitud. Acercarse a metas ajustadas pasa por mantener la diversidad técnica y, moderar el

mecanismo de extracción de rentas tecnológicas ejercido en la explotación de recursos naturales, los cuales son los factores flujo objeto de transformación. Singular atención merece la escala de operación, dada su incidencia en los niveles de inventario, y por lo tanto, en las propiedades que restan sobre éstos para recuperarse o mantenerse.

Se trata de imaginar el desarrollo como un balance dinámico entre la tasa de expansión económica y la forma en que ésta es mediada por los principios de eficiencia y adaptabilidad. Preservar la diversidad de los recursos sin obstaculizar la potencia del nuevo conocimiento útil disponible ha sido un paradigma distante a las efervescentes posturas del desarrollo sustentable, guiadas por un optimismo tecnológico vigoroso si la innovación ha de ser la responsable de hacer crecer más el pastel (ingreso), usando menos ingredientes (recursos), y sin presuntamente despertar apetitos metabólicos más voraces en los comensales, vía en la cual aparecen fronteras idealizadas del tipo CAK.

Se dice que la sustentabilidad puede adoptar dos formas. Conforme una versión pesimista ésta emerge pasivamente como consecuencia de consumir menos. La versión optimista predica lo innecesario de tal sacrificio, ya que las innovaciones ahorran permitiendo incrementar la producción por unidad de recurso usado. En adición, con el tiempo se transita hacia un sistema más limpio intensivo en servicios.

El Rebote teóricamente y conforme a los argumentos antes expuestos, implica inviabilidad de la versión optimista de sustentabilidad. Los ahorros difícilmente se alcanzan, Sun (1998: 93) estimó que en el periodo 1973-1990 se alcanzó globalmente por año, un incremento en la eficiencia energética de 2%; en tanto, el uso agregado de la misma varió 2,7%, presentándose un incremento neto anual en la utilización de ésta de 0,7% que corresponde a Rebote Explosivo.

Ahora, estimada con justeza la inercia histórica de cualquier fuerza de demanda es difícil observar sacrificios de consumo, excepto los estrictamente obligatorios durante crisis económicas severas, y es así que el altruismo residente en la versión pesimista luce tan vulnerable como difuso. Una clara señal de la conveniencia en entender de otra forma la sustentabilidad.

El discurso del desarrollo sustentable parece haber naufragado en un mar de interpretaciones tentativas, que en cualquier caso velaron los efectos crudos de transformar los flujos de recursos en bienes consuntivos finales con técnicas significativamente potenciadas, en sistemas prestos a premiar determinadas espirales cerradas de inversión y patrones de remuneración de factores productivos. A propósito, en los que el trabajo y los recursos extractivos son asimétricamente ubicados a la baja en favor de rentas tecnológicas y financieras.

Recuperar lo que se pueda de este propósito idealizado de desarrollo exige desenmascarar la laxitud de la hipotética curva del retorno e introducir en su lugar la regulación de los prototipos tecnológicos atendiendo el principio de resiliencia. Un plan de inversión compatible con políticas de sustentabilidad en materia de generación de nuevo conocimiento útil consiste en la búsqueda de soluciones específicas, a cambio de descartar costosas políticas de uniformidad tecnológica en lugares con problemas atávicos.

Los riesgos del Rebote recaen en la sobredemanda de recursos, al margen de lo que ocurre a nivel del artefacto respecto a sus ahorros relativos de eficiencia en el uso de recursos, responsables del efecto intensidad por reconversión tecnológica. Es algo análogo al impacto del consumo humano que, con independencia de una tasa de crecimiento poblacional tendiente a cero o el tamaño de la familia media en descenso, será aun considerable a nivel agregado sólo porque la escala permanece cubriendo los deseos de miles de millones ya posicionados. Tal volumen es atinente con el mayor apetito de la demanda, confiablemente atendida por la expansión y avance de las estructuras de oferta a precios de realización cada vez más bajos. Incontables costos ocultos residen en estos ciclos de retroalimentación entre fuerzas económicas (Kapp, 2006; Rosenberg, 1971). Es hora de ocuparse de los riesgos de ciertas transformaciones tecnológicas, especialmente las más radicales y homogenizantes.

Conclusiones

Un examen a la forma en cómo están construidas las explicaciones del Rebote y la CAK permite concluir que esas hipótesis son incompatibles. La concurrencia de ambas no puede presentarse para un recurso en un mismo lapso de tiempo. Tal incompatibilidad

puede explorarse de manera formal proyectando los efectos que explican la CAK hacia el Rebote, o bien, desde la formulación del último como fenómeno productivo proyectado de vuelta hacia la CAK, en forma de medidas de sensibilidad a la demanda de recursos a partir de cambios tecnológicos que buscan mayor eficiencia.

Toda evidencia en favor del Rebote pone en duda la posibilidad de alcanzar la sustentabilidad, puesto que su estrategia central recae en la desmaterialización, cuya evidencia se acopia a través de la CAK. Glosar el impacto de los prototipos tecnológicos y adherir al concepto de resiliencia como categoría necesaria de soporte de estrategias de conservación ha de resultar de utilidad. Obliga a incorporar el Rebote en calidad de categoría analítica ineludible en la sustentabilidad, es decir, la doble-cara de sus externalidades, lo cual ha sido soslayado por largo tiempo en el discurso de la sustentabilidad.

Notas

[1] Ver Grossman y Krueger (1991: 3-6). Una explicación alterna y menos elaborada se encuentra en Shafik y Bandyopadhyay (1992: 11). Explican la CAK exclusivamente desde las fuerzas de la demanda, si con el aumento del ingreso la población presta mayor atención a los aspectos no económicos que afectan su calidad de vida y ello conduce a la fijación de estándares ambientales más estrictos. Un punto de vista desde el cual se emplaza la calidad de los recursos y los servicios ecosistémicos en la categoría bien de lujo. Idea reproducida en trabajos subsiguientes, caso Selden y Song (1994).

[2] Algunos trabajos empíricos señalan que el rango más probable para el quiebre de tendencia se ubica entre los USD \$3.000-\$10.000 año/persona (Dinda, 2004: 442). Los autores interesados en estas precisiones pragmáticas no terminan de ponerse de acuerdo en el monto, llegando a desviar la atención debida a los aspectos relevantes de soporte teórico de la explicación de la CAK y sus implicaciones discursivas.

[3] Ver (Herring y Sorrell, 2009: 49, 103).

[4] Conocimiento tecnológico. Ver (Mokyr, 2005: 1119-1123).

[5] Ver el caso de las mejoras introducidas en la máquina de vapor de Watt en 1765 (Basalla, 1991: 52-57).

[6] *It is wholly a confusion of ideas to suppose that the economical use of fuel is equivalent to a diminished consumption. The very contrary is the truth.* En Saunders se encuentra la cita: *An historical note: the term 'Khazzoom-Brookes' Postulate was first coined with the intent of crediting [those authors] with being the first in the profession to discuss the concept of rebound [...] Both these researchers generously credit Jevons (1865) with being the first* (Saunders, 2000: 440).

[7] El Efecto Rebote y la CAK son en últimas dos tesis sometidas a un extenso proceso de verificación empírica, y consideras de manera insular cada una de ellas representa un constructo teórico consistente.

[8] Ver (Bresnahan y Trajtenberg, 1995: 83-84; Jovanovic y Rousseau, 2005).

[9] Al repasar algo del problema primigenio en Jevons (1865: 78) se halla la cita: *In less than one hundred years, then, the efficiency of the engine has been increased at least ten-fold; and it need hardly be said that it is the cheapness of the power it affords that allows us to [...] put in motion the great system of our machine labor [...] Future improvements of the engine can only have the same result, of extending the use of such a powerful agent [...] As a rule new modes of economy will lead to an increase of consumption.*

[10] Tomando prestados de modo recursivo algunos planteamientos hallados en (Herring y Sorrell, 2009: 49, 103).

[11] Todo uso de recursos genera daño en dos momentos diferentes. El primero corresponde al momento de la transformación misma del flujo de recursos en otra clase de bienes y las consabidas emisiones asociadas con tal transformación. El segundo ha de esperar el cumplimiento de la vida útil del bien creado y la respectiva restitución en forma de desecho a cualquier resumidero del ecosistema global. En otras palabras, únicamente una porción de los recursos usados es de utilidad por una fracción de tiempo

acotada. Una amplia referencia de las consecuencias de las dos primeras leyes termodinámicas en el proceso económico se encuentra en la obra de Georgescu-Roegen (1996).

[12] Al menos para el caso de países de elevado ingreso. Ver el caso de la Unión Europea (Bermejo, 2005: 27).

Referencias citadas

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

Bermejo, Roberto (2005). *La gran transición hacia la sostenibilidad: principios y estrategias de economía sostenible*. Madrid: Catarata.

Bresnahan, Timothy y Manuel Trajtenberg (1995). “General Purpose technologies ‘Engines of growth’?” *Journal of Econometrics*, No. 65, pp. 83–108. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/030440769401598T> (visitada el 06 de octubre de 2010).

Dinda, Soumyananda (2004). “Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey”. *Ecological Economics*, No. 49, pp. 431–455. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800904001570> (visitada el 21 de septiembre de 2010).

Georgescu-Roegen, Nicholas. (1996). *La ley de la entropía y el proceso económico*. Madrid: Argenteria.

Grossman, Gene y Alan Krueger (1991). “Economic Growth and the Environment”. *The Quarterly Journal of Economics*, No. 2, Vol. 110, pp. 353–377. Disponible en <http://www.jstor.org/stable/2118443> (visitada el 07 de octubre de 2010).

Herring, Horace y Steve Sorrell (2009). *Energy Efficiency and Sustainable Consumption: The Rebound Effect*. Hampshire: Palgrave.

Jevons, William Stanley (1865). *The Coal Question: An Inquiry Concerning to the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal-Mines* (2nd ed.). London: Macmillan.

Jovanovic, Boyan y Peter Rousseau (2005). “General Purpose Technologies”. En *Handbook of Economic Growth Vol. 1B*, Elsevier B.V., pp. 1181-1224, Aghion, P. y Durlauf, S. (eds.). Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S157406840501018X> (visitada el 26 de diciembre de 2009).

- Kapp, William (2006). *Los costes sociales de la empresa privada* (Antología, edición privada de Federico Aguilera Klink). Madrid: Catarata.
- Miah, Danesh, Farhad Masum, Masao Koike, Shalina Akther y Nur Muhammed (2011). “Environmental Kuznets Curve: the case of Bangladesh for waste emission and suspended particulate matter”. *The Environmentalist*, No. 1, Vol. 31, pp. 59–66. Disponible en <http://link.springer.com/article/10.1007/s10669-010-9303-8> (visitada el 20 de junio de 2013).
- Mokyr, Joel (2005). “Long-term economic growth and the history of technology”. *Handbook of Economic Growth Vol. 1B*, Elsevier B.V., pp. 1113–1180, Aghion P., Durlauf, S. (eds.). Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574068405010178> (visitada el 08 de agosto de 2011).
- Mythili, Gurumurthy y Shibashis Mukherjee (2011). “Examining Environmental Kuznets Curve for river effluents in India”. *Environment, Development and Sustainability*, No. 3, Vol. 13, pp. 627–640. Disponible en <http://link.springer.com/article/10.1007/s10668-010-9280-6> (visitada el 02 de julio de 2013).
- Rosenberg, Natan (1971). “Technology and the Environment: An Economic Exploration”. *Technology and Culture*, No. 4, Vol. 12, pp. 543–561. Disponible en <http://www.jstor.org/stable/3102570> (visitada el 08 de agosto de 2015).
- Panayotou, Theodore (1997). “Demystifying the Environmental Kuznets Curve: turning a black box into a policy tool”. *Environment and Development Economics*, No. 2, pp. 465–484. Disponible en <http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=69548&fileId=S1355770X97000259> (visitada el 11 de octubre de 2010).
- Saunders, Harry (2000). “A view from the macro side: rebound, backfire, and Khazzoom-Brookes”. *Energy Policy*, No. 28, pp. 439–449. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421500000240> (visitada el 21 de abril de 2012).
- Selden, Thomas y Daqing Song (1994). “Environmental quality and development: is there a Kuznets Curve for air pollution emissions?” *Journal of Environmental Economics and Management*, No. 27, Vol. 2, pp. 147–162. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S009506968471031X> (visitada el 11 de mayo de 2000).
- Shafik, Nemat y Sushenjit Bandyopadhyay (1992). *Economic growth and environmental quality: time-Series and cross-country evidence*. World Bank Policy Research Working Paper WPS 904. Disponible en http://www-wds.worldbank.org/servlet/WDSContentServer/WDSP/IB/1992/06/01/000009265_3961003013329/Rendered/PDF/multi_page.pdf

Sun, J. W. (1998). "Changes in energy consumption and energy intensity: A complete decomposition model". *Energy Economics*, No. 20, pp. 85–100. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988397000121> (visitada el 20 de septiembre de 2010).