

# De la Teoría del Crecimiento Económico hacia un cambio de paradigma tecnológico sustentable

From the Economic Growth Theory Towards  
a Sustainable Technological Paradigm Shift

---

Artículo recibido: 19/01/2017

Aceptado: 16/04/2017

Raúl Arturo Alvarado López\*

## RESUMEN

Ante la problemática del cambio climático, urge transitar hacia un nuevo patrón tecnológico y de producción que haga compatibles el crecimiento económico y el cuidado del medio ambiente. Diferentes modelos han abordado la relación entre crecimiento económico y cambio técnico, dando poca importancia al medio ambiente. El objetivo del presente trabajo es realizar un análisis exploratorio y descriptivo del papel que tiene el cambio tecnológico como determinante del crecimiento económico desde los modelos de Solow de 1957 y de Kaldor y Mirrlees de 1962; y plantear la necesidad de transitar a modelos de crecimiento sustentables, basados en un nuevo patrón tecnológico y formas de producción más eficientes, que garanticen una economía verde apoyada en los principios de la ecología industrial y el uso intensivo de las energías renovables.

**Palabras clave:** crecimiento económico, ecología industrial, sustentabilidad.

---

Profesor-Investigador. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, asignado al Centro de Investigación e Innovación en Tecnologías de la Información y Comunicación. México.

## ABSTRACT

Given the current environmental problems such as climate change, it is urgent to move towards a new technological and production pattern that allow economic growth and care for the environment to be compatible with each other. Different economic growth models have addressed the relationship between this and technical change, however, they have given little importance to the environment. For this reason, the objective of the current paper is to perform an exploratory and descriptive analysis of the role of technological change as a determinant of economic growth from the Solow (1957) and Kaldor & Mirrlees (1962) models, as well as to raise the need to move towards more sustainable growth models based on a new technological pattern and more efficient forms of production that guarantees a green economy, some principles of Industrial Ecology and the intensive use of renewable energy, sustainability.

**Keywords:** Economic growth, industrial ecology, sustainability.

### Cómo referenciar este artículo

Alvarado, R. (2017). De la Teoría del Crecimiento Económico hacia un cambio de paradigma tecnológico sustentable. En *Administración y Organizaciones*, 20 (38), 13-34.

## Introducción

El crecimiento económico de las naciones es uno de los temas recurrentes que se plantea como meta de toda sociedad, bajo el supuesto de que ello implicaría un mejor nivel de vida para las personas tal como se ha visto en muchos países con tasas de crecimiento altas. Los distintos enfoques de la teoría económica coinciden en que son varios los factores que determinan el crecimiento económico: la dotación de recursos naturales, el capital humano, la productividad, etc. Sin embargo, uno de los más importantes y que interactúa con los demás factores, es el cambio tecnológico (CT) y la innovación, sustentada en la generación y acumulación del conocimiento.

El CT es un factor que se ha explicado desde diferentes enfoques, como el principal determinante del crecimiento económico. Tal es el caso de algunos modelos neoclásicos que lo conciben como un factor exógeno al sistema económico, tal es el caso del modelo de Solow (1957), “El cambio tecnológico y la función de producción agregada” y otros modelos de corriente keynesiana que lo incorporan de forma endógena, como el de Kaldor y Mirrlees (1962). “Crecimiento con progreso técnico inducido”.

El objetivo central de este ensayo es hacer un análisis exploratorio y descriptivo del papel que tiene el cambio tecnológico como determinante del crecimiento económico desde los modelos de Solow (1957) y de Kaldor y Mirrlees (1962), y plantear la necesidad de transitar a modelos de crecimiento más sustentables basados en un nuevo patrón tecnológico y formas de producción más eficientes que garanticen una economía verde, que se apoye en los principios de la ecología industrial y el uso intensivo de las energías renovables.

Durante años se ha considerado que el CT y la innovación tienen como propósito la generación de beneficios económicos que dejan en segundo término el medio ambiente. En este sentido la pregunta que fundamenta este trabajo es la siguiente: ¿es posible garantizar modelos de crecimiento económico, cambio técnico, y procesos productivos sin ejercer mayores presiones sobre el medio ambiente?

En cuanto al abordaje metodológico es menester señalar que se apoyó en un análisis teórico-descriptivo, partiendo de los modelos de crecimiento económico antes mencionados para visualizar la interrelación que guardan con el CT, y de esta manera plantear la necesidad de transitar a modelos alternativos de crecimiento económico, como el caso de la incorporación de estrategias propuestas por la ecología industrial y el uso intensivo de los recursos energéticos renovables.

El trabajo se divide en dos apartados, en el primero se analizan brevemente los modelos de Solow y Kaldor y Mirrlees, con el fin de describir cómo ellos

conciben al CT; en el segundo apartado se describen los elementos centrales en los que se fundamenta la ecología industrial y la relevancia en el aprovechamiento de las energías renovables. Por último, se presentan las conclusiones.

## 1. Antecedentes teóricos de los modelos de crecimiento económico

Los primeros modelos de crecimiento económico que aparecieron en la literatura fueron diseñados casi simultáneamente por Harrod (1939). “Estos modelos se fundamentan en el principio de ajuste vía acervo de capital y son clasificados como *post-keynesianos*, lo que implica que utilizan los agregados macroeconómicos keynesianos llegando más allá de Keynes, en la sofisticación de su desarrollo” (...). En ambos modelos existe una relación razonablemente estable entre el acervo de capital y la capacidad productiva. Sin embargo, sus autores introducen esta relación a sus modelos de forma diferente. “Domar usa lo que se conoce como *coeficiente de capital o razón capital-producto*, mientras que Harrod utiliza el concepto de *acelerador*” (Altamirano, 2005: 15).

Es hasta el modelo neoclásico de Solow (1957) y el keynesiano de Kaldor y Mirrlees (1962) cuando se destacó el papel del CT como detonante del crecimiento económico, aunque con un abordaje diferente en ambos modelos, ya que mientras el primero considera al CT exógeno, el segundo lo incorpora como endógeno al sistema. A continuación se presentan brevemente un análisis a ambos modelos.

### 1.1. El cambio técnico y la función de producción agregada

Solow (1957) realizó un esfuerzo por entender cómo afecta el CT al crecimiento económico. Su trabajo consistió en tratar de diferenciar las variaciones del producto *per cápita* atribuibles al CT y las variaciones atribuibles a cambios en la disponibilidad del capital en términos *per cápita*, por tal razón hizo una formalización de lo que es el CT, mediante una función de producción que se representa en la ecuación (1).

$$Q = F(K, L; t) \quad (1)$$

La ecuación es similar a cualquier función de producción, sólo que en ella introduce la variable  $t$ , que representa el CT, y define a éste como la expresión abreviada de cualquier tipo de desplazamiento de la función de producción.

De esta manera, los retardos, las aceleraciones, las mejoras en educación de la fuerza de trabajo, y demás acciones posibles aparecen agregadas como CT.

Posteriormente define como CT neutral a aquel que deja constantes las tasas marginales de sustitución y sólo aumenta o disminuye la producción resultante con insumos dados. Por tal razón, la ecuación (1) se puede expresar de la forma (1a).

$$Q = A(t) F(K, L; ) \quad (1a)$$

Donde el multiplicador  $A(t)$  mide el efecto acumulado de los desplazamientos de la función a través del tiempo.

Después de diversas aplicaciones algebraicas, Solow demuestra que el CT es exógeno, ya que funciona como un factor de desplazamiento de la función de producción de un período a otro, con lo que se mantiene el supuesto de rendimientos constantes a escala, mientras que a los factores de producción se les pagan sus productividades marginales. En este sentido, el CT se introduce al sistema como un multiplicador que hace que se incremente la producción con el mismo número de insumos factoriales<sup>1</sup>.

## 1.2. Modelo de crecimiento con progreso técnico inducido

Kaldor y Mirrlees (1962), propusieron un modelo keynesiano donde parten de los siguientes supuestos:

- a) Reconocen de manera explícita que el progreso técnico<sup>2</sup> (PT) se incorpora al sistema económico mediante la creación de equipo nuevo derivado del gasto corriente en inversión (inversión bruta).
- b) El modelo supone también que independientemente de que la planta y el equipo tengan o no una duración física finita, su duración operativa se determina por un complejo de actores económicos que gobiernan la tasa de caducidad, y no por el desgaste material.

---

<sup>1</sup> Es importante señalar que Solow realizó una aplicación estadística para Estados Unidos de América, retomando un período de cuarenta años (1909-1949), de la cual concluye que el CT es neutral, por lo menos durante este lapso de tiempo, y que es el principal determinante del crecimiento económico porque sus resultados demostraron que el producto por hora-hombre se duplicó en el intervalo. El 87.5% donde este aumento es imputable al CT, y el 12.5% restante al uso de mayor capital, o lo que es lo mismo 7/8 al CT, sólo un 1/8 al incremento en el capital.

<sup>2</sup> En el presente trabajo se utiliza los conceptos Cambio Técnico y Progreso Técnico como sinónimos, sin embargo, para fines de explicar el presente modelo se utiliza únicamente el segundo, puesto que así lo manejan originalmente los autores.

- c) Se introducen los supuestos de comportamientos relativos a las actitudes de los inversionistas hacia la incertidumbre; esto en lo referente a las decisiones de inversión.
- d) Se toma en cuenta el hecho de que cierta proporción del acervo del equipo existente desaparece cada año por causas físicas accidentales (incendios, desastres naturales, etc.) lo que genera cierta depreciación física “radioactiva” adicionalmente a la caducidad.
- e) Bajo el PT continuo y la caducidad, no hay manera de medir el “acervo de capital” ya que evita el uso del concepto de inversión bruta fija como variable del sistema, y sólo ocupa el gasto corriente de inversión, así el aumento de la productividad depende de la incorporación de nuevas máquinas en el proceso productivo.
- f) Como en todos los modelos económicos keynesianos supone que el “ahorro” es pasivo: el nivel de la inversión se basa en el volumen de las decisiones de los empresarios, y es independiente de las propensiones al ahorro.
- g) El modelo supone que la inversión es primordialmente inducida por el crecimiento de la producción, y que las condiciones subyacentes son tales que el equilibrio de crecimiento lleva necesariamente consigo a un estado de pleno empleo en forma continua.

Bajo el supuesto de pleno empleo se tiene que el volumen de las decisiones de inversión para el conjunto de la economía estará determinado por el número de trabajadores disponibles, por período unitario, para “operar” el equipo nuevo, y por la cantidad de inversión por operario. Además, se supone que el equipo de cualquier producción dada se encuentra en una relación de “limitación” con la mano de obra, es decir, que no es posible aumentar la productividad de la mano de obra de este aspecto reduciendo el número de trabajadores empleados para un equipo ya existente. Esto significa que el equipo de cualquier producción requerirá una cantidad fija de mano de obra para mantenerse en operación.

Si se representa  $n_t$  como el número de trabajadores disponibles para operar el nuevo equipo por período unitario,  $i_t$  por la cantidad de inversión por operario de las máquinas, y  $I_t$  como inversión bruta fija, tenemos que:

$$i_t = \frac{I_t}{n_t} \quad (2)$$

Y utilizando,  $Y_t$  producto nacional bruto en  $t$ ,  $N_t$  para la fuerza de trabajo y  $y_t$  para el producto *per cápita*, se tiene:

$$y_t = \frac{Y_t}{N_t} \quad (3)$$

De esta manera fundamentan su análisis, suponiendo que las máquinas de cada cosecha son de eficiencia física constante durante su vida útil, de modo que el aumento en la productividad de la economía se debe por entero a la incorporación de máquinas nuevas mediante la inversión bruta. Así, la función de PT es la tasa anual de crecimiento de la productividad por trabajador operario de equipo nuevo, es decir, es una función de la tasa de crecimiento de la inversión por trabajador, como se representa en la ecuación (4):

$$\frac{\dot{p}}{p} = f \left( \frac{\dot{i}}{i} \right) \quad \text{con } f > 0, f' > 0, f'' < 0 \quad (4)$$

En lo referente a la forma en que los empresarios afrontan el riesgo y la incertidumbre, los autores hacen un supuesto importante, éste es: que el empresario supone que la suma de los beneficios esperados de la operación del equipo durante su período esperado de operación [o vida útil],  $T$ , después de la amortización completa, ganará una tasa de beneficio, por lo menos, igual a la tasa de beneficios supuesta sobre la inversión nueva de la economía en general.

Después de un desarrollo algebraico, los autores demuestran que el sistema produce una solución de crecimiento sostenido (o de edad de oro), donde la tasa de crecimiento del producto per cápita se iguala a la tasa de crecimiento de la productividad del equipo nuevo, y ambas son iguales a la tasa de crecimiento de la inversión por trabajador y a la tasa de crecimiento de los salarios, como se expresa en la ecuación (5).

$$\frac{\dot{p}}{p} = \frac{\dot{y}}{y} = \frac{\dot{i}}{i} = \frac{\dot{w}}{w} \quad (5)$$

Esta es una solución en términos de un equilibrio y crecimiento sostenido<sup>3</sup> porque se supone que el período de caducidad del equipo  $T$ , la participación de los beneficios en el ingreso  $\pi$ , y la participación de la inversión en el producto  $I/L$  son constantes. Para esto, los autores demuestran que la tasa de crecimiento de la productividad y la tasa de crecimiento de la inversión por operario son iguales, y como se relacionan la tasa de crecimiento de los salarios y la tasa de

---

<sup>3</sup> Los autores manejan el concepto de crecimiento sostenido en el sentido de la igualdad, entre el crecimiento de producto, la productividad, la inversión y los salarios; y no en el sentido que se abordará en el siguiente apartado, de un crecimiento sostenido que sea compatible con el medio ambiente.

crecimiento del producto, las cuales son iguales y, en última instancia, crecen en la misma medida que la inversión por operario. Con esto, plantean que los supuestos relativos a la forma del PT implican que hay un valor para la tasa de crecimiento de la productividad tal que:

$$\frac{\dot{p}}{p} = \frac{\dot{i}}{i} = \gamma \quad (6)$$

El equilibrio sólo es posible cuando se da esta igualdad, además, que debe cumplirse la condición respecto a que la tasa de crecimiento de los salarios no se aparte demasiado de la tasa de crecimiento de la productividad, de esta manera existirá convergencia de los valores en relación con la tasa de crecimiento de la inversión por operario, por lo tanto, se alcanzaría un punto de equilibrio estable.

Hasta aquí, se han planteado algunas de las fórmulas fundamentales que determinan el crecimiento económico mediante PT, con las cuales se puede observar que fuera del equilibrio (edad de oro) no existe una tasa de beneficio sobre la inversión, sino en el sentido de una tasa de beneficio supuesta, basada en una mezcla de convención y creencia que permita a los empresarios decidir si un proyecto particular pasa la prueba de la rentabilidad adecuada.

Hay que destacar que el modelo es keynesiano en cuanto a su modo de operación y marcadamente no neoclásico en lo que respecta a los factores tecnológicos. En este sentido, los autores reconocieron al CT o bien PT, como el motor principal de crecimiento económico que no sólo determina la tasa de crecimiento de la productividad sino también la tasa de caducidad; el promedio de vida del equipo; la participación de la inversión en el ingreso; la participación de los beneficios; y la relación entre la inversión y la producción potencial. Así el CT está basado principalmente en la decisión de inversión de los empresarios.

Finalmente hay que subrayar que ambos modelos han planteado que el CT es el principal determinante del crecimiento económico. El primero plantea al CT como un multiplicador que se incorpora exógenamente al sistema y sólo desplaza a la función de producción; el segundo de igual manera llega a la conclusión, que CT (o bien PT, como lo denominan los autores) es el motor del crecimiento económico, pero a diferencia del primero este modelo explica al CT como endógeno, ya que éste se encuentra determinado, entre otras cosas, por la decisión de inversión de los empresarios.

Sin embargo, hay que subrayar que ninguno de los dos modelos antes analizados ha planteado la importancia que tiene la degradación ambiental, la disponibilidad de los recursos naturales y la mala utilización de éstos como un límite para el crecimiento económico. Por lo tanto, en el siguiente apartado se

aborda la importancia que tiene el CT alineado a la sustentabilidad, ésto desde la visión de la ecología industrial y la importancia que tiene la explotación de los recursos energéticos renovables.

## **2. Un nuevo patrón tecnológico hacia la sustentabilidad y el crecimiento económico**

En los modelos antes descritos, se reconoce el importante papel que juega el CT como determinante del crecimiento económico, pero no se plantean los graves problemas ambientales que la explosión demográfica y las tecnologías implementadas en el sistema productivo han causado.

En este sentido, es a partir del Informe Brundtland, presentado a la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y Desarrollo de la Organización de Naciones Unidas (ONU)<sup>4</sup> en 1987, que se recomienda transitar a un modelo que incentive un crecimiento económico justo, desde el punto de vista ecológico, declarando que el desarrollo sustentable<sup>5</sup> debe ser aplicado, tanto a la gestión económica como al desarrollo de tecnologías, y al manejo de los recursos naturales, acompañado de una renovación en los propósitos de la sociedad y orientado a un cambio de actitud de mayor respeto hacia los ecosistemas, la biodiversidad, y los recursos naturales. En síntesis, lo que persigue esta declaración es hacer compatible el crecimiento económico y el desarrollo del entorno ecológico.

Lo anterior considerando que gran parte del crecimiento económico, social e industrial ha representado el decremento y deterioro de los recursos naturales, crecimiento industrial que inicia con las llamadas cinco revoluciones tecnológicas o paradigmas “tecnoeconómicos” como los llama Pérez, (2004): la Revolución Industrial (1771); la era del vapor y los ferrocarriles (1829); la era del acero, la electricidad y la ingeniería pesada (1875); la era del petróleo, el automóvil y la producción en masa (1908); y hasta el día de hoy, con la era de la informática y las telecomunicaciones (1971). Revoluciones tecnológicas que estuvieron basadas principalmente en el crecimiento económico, sin considerar en la mayoría de los casos el problema de la degradación ambiental.

---

<sup>4</sup> La Comisión fue creada por la ONU en 1987 y dirigida por la sueca Gro Harlem Brundtland, en ella se buscaba concienciar a las naciones participantes sobre la importancia de generar un desarrollo de largo plazo, que garantizara el crecimiento económico y la conservación del entorno natural.

<sup>5</sup> Utilizó el concepto de “desarrollo sustentable” como aquel modelo de desarrollo que permite satisfacer hoy las necesidades de la especie humana, sin poner en peligro el bienestar de las generaciones futuras, en pocas palabras un modelo desarrollo que sea soportable a largo plazo sin poner en riesgo el medio ambiente.

Desde Brundtland hasta nuestros días se han impulsado diferentes iniciativas, planes, programas, y estrategias para el cuidado al medio ambiente así como para hacer frente al cambio climático, un ejemplo de ello es la iniciativa de la “Economía Verde”, lanzada en el 2008 por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la cual busca fomentar la inversión pública y privada en aquellos sectores que sean amigables con el medio ambiente o el Programa de Naciones Unidas para el Cambio Climático, que mediante diferentes iniciativas busca promover estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático, donde las tecnologías verdes ocupan un papel central, en particular aquellas dirigidas al aprovechamiento de los recursos renovables, lo que ha derivado en la necesidad de analizar modelos como: la ecología industrial para impulsar la transición hacia la economía verde y las energías renovables como un instrumento central para alcanzarlo.

## **2.1. Ecología industrial y energías renovables en la transición a un paradigma tecnológico sustentable**

La ecología industrial, propone “analizar el sistema industrial desde el punto de vista de la circulación de materiales, energía e información, para evaluar las posibilidades de desarrollo de nuevas estrategias ambientales para la empresa así como para plantear la nueva forma de interrelación entre distintas empresas” (Mtz. Alier y Racci 2000: 284), y entre las diferentes industrias, en unión con los gobiernos, empresarios, responsables de la planta y organizaciones civiles. Como realidad práctica, es relativamente nueva, aun cuando en algunos países de Europa surgieron las primeras experiencias en la década de 1970, fue hasta los años noventa que en Europa y América del Norte se empezó a desarrollar ampliamente (Cervantes, 2012: 2007).

Mediante diferentes principios e iniciativas, busca que los “sistemas económicos no sean vistos como algo aislado del sistema formado por el entorno sino en correspondencia con él. Esto es, el estudio de todas las interrelaciones entre los sistemas industriales y el medio ambiente” (Carpintero, 2005: 120). De esta manera, la propuesta teórica de la ecología industrial es “observar al sistema industrial como un todo, no se dirige sólo a la contaminación del ambiente, sino que considera de igual importancia la tecnología, los procesos económicos, las interrelaciones de negocios, el financiamiento, las políticas de gobierno, y los aspectos que involucran la administración de las empresas” (Carrillo, 2009: 7).

En este sentido, la ecología industrial es objeto de un trabajo multidisciplinario, en el cual participan científicos de la física, química, ingeniería, así como expertos de las ciencias naturales y económicas, siendo el objetivo central, la inte-

gración de los sistemas económico y social con el sistema ambiental. Para ello, se proponen estrategias para reducir la presión del sector industrial sobre los sistemas naturales, mediante la reducción de las tasas de extracción de insumos a partir del aprovechamiento exhaustivo y eficiente de los subproductos que la industria genera, los cuales generalmente se consideran como desechos (Alvarado, 2013).

Asimismo, la ecología industrial busca impulsar un uso más eficiente y extensivo de los diferentes recursos materiales (reciclaje y reducción de residuos) y el uso de diversas tecnologías limpias como las tecnologías asociadas al aprovechamiento de las energías renovables.

Carrillo (2005) identifica y analiza exhaustivamente tres enfoques sobre los que se finca la construcción teórica de la ecología industrial, éstos son: La analogía con los sistemas naturales; el proceso de desmaterialización y el metabolismo industrial. En este sentido, Alvarado (2009) plantea que dichos enfoques, parten de una interpretación diferenciada, se encuentran puntos de confluencia al interpretar las experiencias empíricas ya que un elemento recurrente es la importancia que tiene la cooperación y/o complementariedad entre empresas del mismo o diferente sector para alcanzar sus objetivos, lo que inevitablemente conlleva al cambio tecnológico.

Así, la ecología industrial busca que el progreso tecnológico se oriente hacia la creación de innovaciones que garanticen la eficiencia económica, pero también la conservación del medio ambiente, además de que asuma las semejanzas que existen entre la vida económica y la vida biológica, las cuales son realmente versiones paralelas del mismo proceso evolutivo. De esta manera, se destaca la posibilidad de generar un crecimiento sostenido amigable con el medio ambiente a través del impulso al CT.

Rosenberg (1979: 88), plantea que el éxito en el proceso de difusión de las nuevas tecnologías “depende de una corriente de mejoras en las características de rendimientos de una innovación, pero principalmente de su modificación y adaptación progresiva para adecuarse a las necesidades especializadas de los mercados”. En la actualidad, los mercados demandan más tecnologías, que no sólo contribuye a que los procesos y sistemas productivos sean más eficiente, también permite que sean una garantía a largo plazo y se tornen compatibles con los sistemas naturales.

Por años el uso indiscriminado de combustibles fósiles para la generación de energía (eléctrica y de transporte), ha sido una de las principales causas de los problemas medioambientales que se viven hoy en día, al ser una de las fuentes primordiales en la emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Es por eso que gobiernos, empresas y academia, deben centrar sus esfuerzos en incrementar el uso de las fuentes renovables de energía, con el fin de alcanzar, a mediano plazo, un futuro bajo en carbono, y garantizar a la vez el suministro

energético. Este es un compromiso que deben asumir los diferentes actores, tanto del sector público como privado, ya que se tendrían que generar diversas soluciones conjuntas y multifactoriales (Alvarado, 2015).

En esta línea, es que se plantea que el futuro de las energías renovables es viable y prometedor, pero sobre todo necesario en la diversificación de las matrices energéticas de los países. Según *Special Report on Renewable Energy Source and Climate Change Mitigation (SRREN-IPCC)* (2011), las energías renovables tienen un enorme potencial mitigante de las emisiones de GEI.

Sin embargo, hay que puntualizar que si bien las energías renovables son una alternativa central, no es la única. También es necesario subrayar que las diferentes estrategias y alternativas para hacer frente al cambio climático, deben considerar: la inercia de los sistemas climático, ecológico y socioeconómico, así como el carácter irreversible de las interacciones entre éstos, ya que refuerza la importancia de acciones preventivas [principio de precaución] en materia de adaptación y mitigación (Alvarado, 2005).

Sobre este mismo eje, hay que considerar que mientras mayor y más rápida sea la reducción de emisiones, menor y más lento será el calentamiento global proyectado, en donde la explotación/exploración de las energías renovables juegan un papel central, por sus potencialidades para generar beneficios en el ámbito social, económico y ambiental.

Actualmente se reconoce que el sector energético es una condición necesaria para el crecimiento económico de los países, debido a la estrecha relación que existe entre el crecimiento del Producto Interno Bruto y la demanda de energía de cada país. El incremento en el nivel de vida de la población ha generado un aumento persistente de la demanda energética mundial. Las energías renovables actualmente son un tema prioritario en las agendas energéticas, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo, gracias a sus efectos positivos.

Dentro de los principales beneficios en la explotación de fuentes de energías renovables se encuentra: el ambiental; el impulso a actividades de I+D en nuevas tecnologías; la comercialización de las innovaciones, la creación de nuevos empleos; la conservación de recursos energéticos no renovables; la reducción en la dependencia de fuentes de energía de origen fósil; el aprovechamiento energético de recursos locales; el acceso al servicio eléctrico en lugares donde no se cuenta con el mismo; entre muchos más.

Así, modelos de gestión como el de la ecología industrial y el desarrollo tecnológico para el aprovechamiento de las energías renovables, son elementos medulares para garantizar mayor accesibilidad de servicios y crecimiento económico, sin generar más presiones al medio ambiente.

## 2.2. Crecimiento económico y el nuevo patrón tecnológico

La importancia del medio ambiente en el crecimiento económico radica en que “la naturaleza aporta todos los materiales<sup>6</sup> y fuentes de energía indispensables para la producción de bienes, asimila y capta las diversas formas de contaminación que resultan de la producción y el consumo, aporta valores de opción, de existencia, de recreación, etc., que los seres humanos consideramos importantes para nuestro bienestar, y también hace del planeta un lugar adecuado para la existencia de las múltiples formas de vida, y de la propia civilización” (Gómez, 2003: 247).

El medio ambiente es un activo escaso sobre el que pesan muchas demandas, ya que las sociedades modernas siempre desean consumir más de los mismos bienes, por lo cual buscan generar un mayor crecimiento económico. Sin embargo, bajo la lógica del modelo actual la consecuencia es una mayor presión sobre el medio ambiente, esto se planteó desde inicios de los años setenta con el documento de “los límites al crecimiento económico” de Meadows. Tal idea surgió al reconocer que el crecimiento económico inevitablemente repercutía en la degradación ambiental, causalidad que no era reconocida en los primeros modelos de crecimiento no se reconocía, o al menos no se le daba la importancia que merece.

Para Roca (1998:1) “el hecho de que se imponga el consumo (y en particular el consumo de bienes y servicios intensivos en energía y materiales), no implica que no exista una alternativa mejor, incluso para gran parte de los que hoy disfrutan de un elevado nivel consumo”. En esta línea, una de las principales estrategias, probablemente sea transitar a una sociedad y sistemas industriales más igualitarios, que fomenten un mayor consumo de servicios públicos en relación al consumo privado (por ejemplo, el transporte), pero principalmente que se oriente más a los procesos productivos para adquirir nuevas y mejores tecnologías que marquen un límite a la degradación ambiental.

Cabe destacar, que gran parte del desarrollo tecnológico ha resultado en la eficiencia de la producción, en la calidad de vida, y el crecimiento económico en general, pero también ha mostrado su lado oscuro, ya que gran parte de las innovaciones tecnológicas han sido orientadas hacia actividades bélicas o actividades manufactureras que están determinadas bajo condiciones de alto consumo de recursos naturales. Ésto ha provocado que, durante muchos años, diversos resultados de la innovación tecnológica hayan sido criticados por sus aspectos destructivos y perjudiciales.

---

<sup>6</sup> Romer (1990) plantea la importancia que existe entre CT y materias primas, ya que CT, genera un mejoramiento de las instrucciones para la combinación de las materias primas, y por lo tanto ambas se encuentran en la base del crecimiento económico.

Por lo anterior, hoy más que nunca, desde diferentes frentes, se plantea la necesidad de que el CT se oriente hacia la creación de innovaciones que garanticen el crecimiento económico y a la vez la conservación del medio ambiente, resaltando las semejanzas que existen entre la “vida económica y la vida biológica, las cuales son versiones paralelas del mismo proceso básico evolutivo” (Rothschild, 1997: 21).

La transición hacia un nuevo patrón tecnológico y un mejor sistema productivo es claramente una necesidad urgente, donde este cambio de paradigma abandone el “patrón tecnológico basado en el uso intensivo de la energía y materias primas, y adopte uno fundamentado en el uso intensivo de la información y materia gris (conocimiento)” (Pérez, 1999: 4). Lo anterior al reconocer que la vigente revolución tecnológica podría hacer realidad estas potencialidades.

Freeman y Pérez (1988) plantean que anteriores paradigmas tecnoeconómicos, se basaron en diferentes factores, tales como:

- Una nueva práctica óptima.
- Nuevas habilidades laborales.
- Nuevos productos intensivos en factores clave.
- Nuevas tendencias de innovación.
- Nuevos patrones de inversión.
- Inversiones en nueva infraestructura (como podría ser el caso de las orientadas a frenar la degradación ambiental).
- Nuevas firmas innovadoras.
- Nuevos patrones de consumo.

Estos factores siguen siendo clave para el actual paradigma y lo serán para futuros paradigmas tecnoeconómicos, sin embargo, ahora tienen que ser dirigidos hacia un CT que garantice la sustentabilidad sin poner en riesgo el crecimiento económico, ya que desde la teoría económica evolutiva se ha planteado que el CT, así como el sistema económico en su conjunto, puede generar los cambios que el mercado requiera, al reconocer en principio que el sistema económico guarda estrecha relación con los sistemas biológicos, y que ambos evolucionan, se transforman y se adaptan.

Pérez (1999) considera que en las actuales economías globalizadas, la competitividad lleva paulatinamente a la adaptación y transformación. Hoy existe una tendencia a hacer productos más pequeños, a preferir lo natural, lo renovable, lo reciclable y revalorizar al capital humano, por lo tanto, existe el potencial para una producción más flexible que debe considerarse para el cambio de paradigma, lo cual se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1. CAMBIO DE PATRÓN TECNOLÓGICO EN PRODUCTOS Y PROCESOS

Categoría 1	Categoría 2
La práctica de la producción en masa	El potencial de la producción flexible
Energía y materias primas (uso intensivo).	Microelectrónica e información baratas.
Preferencia por materias primas energético-intensivas: plásticos, petroquímicos, aluminio, acero, etc.	Ahorro de materias primas y energía (preferencia por el reciclaje).
Uso intensivo de energía eléctrica o de transporte físico con combustible.	Uso intensivo de la microelectrónica, información y telecomunicaciones.
Reemplazo de servicios por productos y de materiales naturales por sintéticos y desechables.	Reemplazo de productos físicos por intangibles o servicios, tendencia a la excelencia y durabilidad.
Procesos energético-intensivos de transformación.	Empeño en el ahorro de insumos, medición constante (cero defectos y desperdicios).
Uso intensivo de insumos y generación de subproductos vistos como desechos.	Subproductos valorizados o reciclados, sistema de ciclo cerrado sin efluentes.
Producción centralizada desdénan distancias de transporte físico.	Economías especialización y producción en red en interacción con clientes, optimización de costos en toda la cadena.
Contaminación inconsciente.	Plena conciencia del impacto ecológico.

**Fuente:** elaboración propia a partir de Pérez (1999).

Un elemento esencial para que estas prácticas puedan llegar a establecer procesos de crecimiento económico en armonía con el medio ambiente es, sin duda, el CT, “ya que el dominio tecnológico, la capacitación, las formas modernas de organización y la disposición constante a innovar, es un proceso necesario a todos los niveles y escalas, desde la empresa más pequeña, grandes conglomerados y parques industriales, hasta países o regiones” (Pérez, 1999: 13). Por lo anterior, la ecología industrial resulta pertinente al proponer nuevas formas de producción, mediante la gestión y colaboración entre todas las entidades involucradas en el sistema económico, teniendo como unos de los factores determinantes para su éxito la orientación del CT, que además garantice la sustentabilidad a largo plazo sin limitar el crecimiento económico.

En la actualidad, es un hecho que la tecnología no puede analizarse de forma aislada, sin considerar al resto de la economía, el sistema social y, por supuesto, al sistema natural; teniendo en cuenta que “un sistema técnico modifica factores como: la competencia, la demanda, el mercado de trabajo, el crédito, la inversión estatal” (Boyer, 1988) y, por lo tanto, también al medio ambiente.

También se considera que las innovaciones “hablando en términos económicos, no es un acto único y bien definido sino una serie de actos unidos al

proceso inventivo. La innovación adquiere importancia económica sólo a través de un proceso extensivo de rediseño, modificación y mil pequeñas mejoras” (Rosenberg, 1979: 89), según requiera el mercado.

Pérez (2004), plantea que los cambios de paradigma se han venido produciendo cada cincuenta o sesenta años, como resultado de sucesivas revoluciones tecnológicas, lo que permite aprender de la historia identificando los fenómenos recurrentes y reconociendo la especificidad de cada paradigma tecnoeconómico. Aunque la identificación y la adopción de las nuevas tendencias no es siempre sencilla, ya que “las fuerzas de las viejas ideas y de las prácticas tradicionales está tan enraizada en la mente y en los hechos que lo nuevo viene envuelto en lo viejo y no siempre se distingue fácilmente” (Pérez, 1999: 6).

Bajo esta misma línea, Rosenberg (1979), criticó el análisis schumpeteriano<sup>7</sup>, planteando que las innovaciones no suelen suponer un rechazo total de prácticas anteriores sino más bien un rechazo selectivo. El éxito comercial de las innovaciones tecnológicas, por lo general, envuelve o implica una cuidadosa discriminación de aquellos aspectos de prácticas pasadas que necesitan ser rechazadas (como es el caso de la contaminación y el uso indiscriminado de los recursos naturales) y aquellas que necesitan ser extendidas, como puede ser el caso de la utilización de la energía cinética del viento que emplearon los molinos hace muchos años en Europa y que hoy en día, bajo diversas modificaciones tecnológicas, son utilizados para producir energía eléctrica a gran escala: “energía eólica” (Alvarado, 2015).

Un elemento esencial del cambio de patrón tecnológico lo constituye la posibilidad de establecer procesos de crecimiento en armonía con el medio ambiente. Ya que “la tecnología no es más que el instrumental disponible en el escenario de los procesos sociales” (Pérez, 1999: 8). Cada vez más se demanda el cuidado al medio ambiente a través de la adopción de nuevas tecnologías, tal es el caso de la “revolución informática y biotecnológica, que empieza a impulsar un amplio y poderoso conjunto de métodos de medición, evaluación, control y protección al ambiente que hace posible la aplicación de medidas de conservación y manejo armónico de los recursos” (Pérez, 1999: 10).

La posibilidad de lograr la integración del crecimiento económico en armonía con el medio ambiente es posible, mediante transformaciones radicales a los

---

<sup>7</sup> Aquí, Rosenberg (1979), se refiere al estricto sentido de la destrucción creadora de Schumpeter, que no considera la importancia de las innovaciones anteriores como la punta de lanza para las actuales y futuras.

sistemas tecnológicos que permitan utilizar menos materias primas de forma más eficientes y planeada para alcanzar un desarrollo balanceado en todo el territorio.

Un modelo que contemple un CT sustentable no necesariamente tiene que alejarse de la estructura capitalista actual, sin embargo, si tienen que equilibrar los intereses privados y sociales. Si se considera que la introducción de CT tiene como fin obtener beneficios y además es el motor de la economía, es un interés privado, por tal razón los “intereses sociales, encarnados en el gobierno y en las diversas organizaciones de la sociedad civil deben de dar forma a las condiciones del crecimiento, y a la distribución de los esfuerzos y de sus frutos” (Pérez, 2004: 221).

Según Pérez (1999: 15), “la clave del éxito está en comprender el nuevo paradigma. Aprovechando sus opciones más positivas, por lo tanto, aplicar el lema de los ecologistas pensar globalmente, actuar localmente es el modo más coherente de abordar la transformación requerida”. Bajo esta observación, la principal implicación práctica de un tipo de modelo de crecimiento económico que contemple un paradigma tecnológico sustentable, radica en aprovechar las enseñanzas del pasado para considerar políticas que apunten a un blanco móvil, y que evolucionen constantemente.

Finalmente, hay que aclarar que la importancia del CT, en la sustentabilidad, radica en que es endógeno al sistema, no como el modelo de Solow (1957), donde éste se reconoce como un motor de crecimiento que incrementa la productividad al funcionar como un factor de desplazamiento incorporado al sistema exógenamente. Pero tampoco es endógeno en el sentido de Kaldor y Mirrlees (1962), quienes plantean que el CT, y por lo tanto el crecimiento económico, se encuentra determinado por la decisión de inversión de los empresarios.

Es así que, se puede afirmar que es endógeno en el sentido de que el CT tiene que estar determinado, por la decisión de inversión y por factores institucionales, como: las regulaciones que impone el gobierno o impulsa la sociedad para no contaminar y por la cooperación que surge entre empresarios que buscan operar en armonía con el medio ambiente sin poner en riesgo su tasa de beneficio.

## Conclusiones

Desde los modelos pioneros de Harrod (1939) y Domar (1946), se destacaba la importancia del crecimiento económico de las naciones, sin embargo, dichos modelos no plantean la importancia del CT como determinante del crecimiento económico; factor que hoy se reconoce y que trataron de explicar modelos como el de Solow (1957), el cual considera al CT como un factor que se introduce al sistema de manera exógena; y el de Kaldor y Mirrlees (1962), que a diferencia del primero, considera al CT como un factor estrictamente endógeno.

El análisis de Solow (1957) demostró que el CT es exógeno, ya que funciona sólo como un factor de desplazamiento de la función de producción, que se introduce al sistema económico como un multiplicador, lo que hace que se incremente la producción con el mismo número de insumos factoriales. En tanto que el modelo de Kaldor y Mirrlees (1962), analiza al CT como un factor endógeno al sistema, el cual, igual que el primer modelo, considera a éste como el motor del crecimiento económico.

El común denominador entre ambos modelos es el papel que juega el CT en el crecimiento económico, sin embargo, no se plantean los graves problemas al ambiente que los sistemas productivos y las tecnologías implementadas causan al crecimiento económico.

Los problemas ambientales fueron puestos en la agenda económica, política y social, de una manera importante desde el Informe de Brundtland (1987) en donde se planteó la posibilidad de generar crecimiento económico sin seguir con el deterioro al medio ambiente. Una de estas soluciones proviene del uso de tecnologías menos contaminantes, un cambio en la forma de producir que esté en concordancia con los ecosistemas, la biodiversidad, el medio ambiente y los recursos naturales.

Lo anterior considerando que la problemática de la degradación al medio ambiente ha estado determinada, en gran medida, por sistemas productivos y tecnologías que despilfarran gran parte de los insumos en los sistemas productivos y disipan gran cantidad de contaminantes a la atmósfera (cambio climático). Pero no sólo ha sido la industria la que ha agudizado este problema, las grandes concentraciones urbanas también han jugado un papel importante.

Aunado a lo anterior, no se debe dejar de lado la estrecha relación que guarda el crecimiento económico y los recursos naturales; es necesario tratarlos de una manera sistémica, ya que el medio ambiente aporta todos los materiales y fuentes de energía indispensables para la producción de bienes y servicios.

Una de las alternativas para hacer posible esto, es la que propone la ecología industrial, que busca crear la interrelación entre los sistemas económicos, los sistemas industriales, y el medio ambiente. En otras palabras, la propuesta teórica de la ecología industrial es observar al sistema industrial como un todo, es decir, no se dirige sólo a la contaminación del ambiente sino que considera de igual importancia la tecnología, los procesos económicos, la cooperación entre firmas, el financiamiento, las políticas de gobierno, y los aspectos que involucran la gestión de las empresas. Para la ecología industrial, las tecnologías y los sistemas productivos tendrían que estar determinados por una dinámica tecnológica que cubra las necesidades del mercado y esté acorde con las necesidades que los sistemas biológicos requieran.

En esta perspectiva, un elemento central es el papel que juegan las tecnologías limpias, relacionadas con el aprovechamiento de las energías renovables como estrategia para garantizar el abasto energético sin necesidad de aplicar mayores presiones al medio ambiente, pero sí reduciendo las emisiones de GEI que genera el sector energético.

En este sentido, y retomando la pregunta planteada al inicio respecto a ¿si es posible garantizar modelos de crecimiento económico, cambio técnico y procesos productivos sin ejercer mayores presiones al medio ambiente?, se puede afirmar que ello requiere mayores esfuerzos para direccionar las dinámicas económicas y tecnológicas que permitan garantizar el crecimiento económico de las naciones sin poner en riesgo en los sistemas naturales, ya que desde el enfoque de la teoría evolutiva se ha planteado que el CT, así como el sistema económico en su conjunto, puede generar los cambios que el mercado requiere, reconocer que el sistema económico guarda estrecha relación con los sistemas biológicos, puesto que ambos evolucionan, se transforman y se adaptan constantemente.

Un elemento esencial del cambio de patrón tecnológico lo constituye la posibilidad de establecer procesos de crecimiento en armonía con el medio ambiente, lo anterior, al considerar que en la actualidad se han agudizado las demandas del cuidado al medio ambiente, a través de la adopción de nuevas tecnologías.

La posibilidad de lograr la integración del crecimiento económico en armonía con el medio ambiente es posible, mediante transformaciones radicales a los sistemas tecnológicos que permitan usar menos materias primas, pero haciéndolas más eficientes, utilizando inteligentemente los recursos naturales, y alcanzando un desarrollo balanceado de todo el territorio. Esto con el fin de transitar al uso extensivo de tecnologías que favorezcan el cuidado al medio ambiente, como aquellas relacionadas al aprovechamiento de las energías renovables.

## Bibliografía

- Alfranca, O. (2007). Política fiscal, crecimiento económico y medio ambiente, *En Nuevas tendencias en política fiscal*, pp. 77-93.
- Altamirano, A. (2005). *Crecimiento económico: Teoría y evidencia empírica del enfoque neoclásico*, México: Coedición UNIPUEBLA-Asesoría y Consultoría Económica Galilei, Taller de Creatividad Infantil.
- Alvarado, R. (2015). *Capacidades tecnológicas del sector eólico en México: Análisis y perspectivas*, (Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Economía), Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Alvarado, R. (2013). Cooperación empresarial y ecología industrial: el reciclado de PET en Carrillo, Graciela (Coordinadora), *La ecología industrial en México*, México, UAM-Xochimilco.
- Alvarado, R. (2009). *Cooperación entre Firmas y Ecología Industrial. Un estudio de caso: Industria Mexicana de Reciclaje*, [Tesis presentada para obtener el grado de Maestro en Economía y Gestión de la Innovación], Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México.
- Boyer, R. (1988). Technical change and the theory of Regulation. En Dossi, Giovanni; et al (eds), *Technical change and economic theory*. Londres: Pinter Publishers.
- Carpintero, O. (2005). *El metabolismo de la economía española. Recursos naturales y huella ecológica (1955-2000)*, Lanzarote. España: Fundación César Enrique.
- Carrillo, G. (2009). Una revisión de los principios de la ecología industrial. *En Argumentos* 22 (59).
- Carrillo, G. (2005). *Ecología Industrial y Sustentabilidad: el proyecto sinergia de subproductos en Altamira-Tampico*, [Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales] Universidad de Barcelona, España.

- Cervantes, G. (2012). Ecología Industrial: innovación y desarrollo sostenible en sistemas industriales en *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*. Recuperado de [http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/11914/5878%20Cervantes\\_Ecologia%20ind.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/11914/5878%20Cervantes_Ecologia%20ind.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cervantes, G. (2007). *Ecología Industria*. Barcelona: Carlos P, I Sunyer.
- Fundación Pi i Sunyer Domar, E Evsey; (1946). Capital expansion, Rate of Growth, and Employment en *Econometría*, (14) 137-147.
- Freeman, C. y C. Pérez (1988). Structural crises of adjustment, business cycles and investment behaviour, en Dosi, Giovanni; *et al* (eds) *Technical Change and Economic Theory*, Londres: Francis Pinter.
- Gómez, C. (2003). Población, medio ambiente y crecimiento económico: ¿Tres piezas incompatibles del desarrollo sostenible?. España Universidad de Alcalá. Recuperado de: [http://www3.uah.es/econ/Papers/cmgomez\\_EuskadiGerizan.pdf](http://www3.uah.es/econ/Papers/cmgomez_EuskadiGerizan.pdf)
- Harrod, R. (1939). An essay in dynamic theory. En *Economic Journal* 49, 14-33.
- Kaldor, N. y J. Mirrlees (1962). Modelo de crecimiento con progreso técnico inducido, en Sen, Amartya; (1970), *Crecimiento económico*; lecturas del FCE.
- Mtz. A. J. y Roca J. (2000). *Economía ecológica y política ambiental*. México: FCE.
- Pérez, C. (2004). *Revoluciones tecnológicas y capital financiero*, México: Siglo XXI.
- Pérez, C. (1999). Cambio de patrón tecnológico y oportunidades para el desarrollo sustentable, *Colección de ideas para el diálogo* (3).
- Roca, J. (1998). El debate sobre el crecimiento económico desde la perspectiva de la sostenibilidad y la equidad; en Dubois, A. *et al.* (coordinadores), *Capitalismo, desigualdades y degradación ambiental*, Barcelona: Icaria Editorial.
- Romer, P. (1990). El cambio tecnológico endógeno. *El trimestre económico*, 58 (2319, México: FCE.

Rosenberg, N. (1979). *Tecnología y economía*. España: Editorial Gustavo Gili, S. A.

Rothschild, M. (1997). *La bionomía: economía como ecosistema*, México: EDAMEX.

Solow, R. (1957). El Cambio Tecnológico y la función de producción agregada en Rosenberg, *La economía del Cambio Tecnológico*. México: FCE.

SRREN-IPCC (2011). Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation of the Intergovernmental Panel on Climate Change.