



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**  
**FACULTAD DE ECONOMÍA**  
**Economía Internacional**

**“EL IMPACTO EN LA CONCENTRACIÓN DE CO<sub>2</sub> ATMOSFÉRICO DEL  
CRECIMIENTO ECONÓMICO Y SU CONSECUENTE USO DE ENERGÍA FÓSIL. UN  
ANÁLISIS GLOBAL. 1980-2010”**

**TESIS**  
**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE**  
**MAESTRO EN ECONOMÍA**

**PRESENTA:**  
**MIGUEL YASSER VICENTE ROSALES**

**TUTOR: DR. GABRIEL ALEJANDRO MENDOZA PICHARDO**  
**FACULTAD DE ECONOMÍA**

**México D.F. Enero 2013**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS

*Este trabajo es uno de los resultados de la labor colectiva que en últimos años ha realizado un grupo de cinco personas, prueba de que el esfuerzo conjunto en busca del bien común genera resultados sólidos y satisfactorios. Así, para mis padres, Eva y Miguel, y mis hermanos, Alberto y Alan, más que mi agradecimiento, mi total y profundo reconocimiento por su cabal y desinteresada labor por el bien del equipo. Son lo mejor que hay en mi vida.*

*Gracias a toda mi familia: abuelos, tíos y primos, por el apoyo brindado durante toda mi vida; en especial a mis abuelitos, Mauro y Soledad, así como mi tía Elia, muchas gracias.*

*A mi tutor, Dr. Gabriel Alejandro Mendoza Pichardo, por apoyarme tanto y siempre confiar en mi trabajo, sin usted no habría podido, muchas gracias.*

*A mis sinodales, por su tiempo y valiosas recomendaciones, gracias.*

*A todas las personas que han estado conmigo en las buenas y malas, a aquellos que creen en mí y me han apoyado, a quién siempre me ha demostrado su cariño, gracias.*

*Mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México, en especial a la Facultad de Economía, institución pública a la que debo mi formación académica.*

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO 1. GENERALIDADES HISTÓRICAS DE LA RELACIÓN CRECIMIENTO, ENERGÍA Y CO2.....</b>	<b>5</b>
1.1 Breve historia del uso de hidrocarburos.....	5
1.2 Calentamiento global.....	7
1.3 La curva de Keeling.....	10
1.4 Mitigación.....	14
1.5 La Curva Ambiental de Kuznets.....	15
<b>CAPÍTULO 2. REGULARIDADES EMPÍRICAS DE LA RELACIÓN CRECIMIENTO-CONSUMO DE ENERGÍA-EMISIONES DE CO2.....</b>	<b>22</b>
2.1. Presentación de diversos datos a estudiar.....	22
2.2. El fenómeno China.....	27
2.3. ¿La Nueva División Internacional del Trabajo ha Potenciado las Emisiones de CO2?.....	34
2.4. Consumo energético y Cambio Climático.....	37
<b>CAPÍTULO 3. PROPUESTAS TEÓRICAS RELEVANTES.....</b>	<b>53</b>
3.1. Análisis de los textos.....	54
3.2. Análisis para México.....	71
3.3. Consideraciones generales de los textos.....	75
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>76</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>79</b>

## INTRODUCCIÓN.

En las últimas décadas, la cuestión del cambio climático se ha convertido en un tema de sumo interés en muchos ámbitos de los círculos académicos, políticos y sociales de la mayor parte de los países del mundo. Hoy en día, se da por hecho en prácticamente todos los campos de debate que este fenómeno es responsabilidad directa de las actividades humanas, y es que si bien existen pruebas de la existencia de periodos cálidos en etapas anteriores a la aparición del hombre en el planeta, la evidencia empírica indicaría que nunca habían llegado a los niveles que hemos alcanzado en la actualidad.

En general, se señala a la quema de combustibles de origen fósil como la causa principal de la potenciación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que son los responsables del proceso de calentamiento de la superficie terrestre que hoy padecemos. Sin embargo, aunque existen responsables señalados directamente, no es sencillo poner en marcha estrategias que permitan abatir los índices de concentración de CO<sub>2</sub>, y cualquier otro GEI, en la atmósfera terrestre.

Y es que si bien la lógica indicaría que la solución es disminuir la utilización de combustibles fósiles, ya sea sustituyéndolos por otros o elevando su eficiencia de forma significativa, existen fuertes restricciones para que esto pueda ocurrir. En la actualidad, prácticamente todas las actividades humanas dependen directa o indirectamente de uno o varios servicios energéticos<sup>1</sup>, incluso las actividades más básicas como la alimentación dependen de el consumo de energía del transporte que pone los alimentos al alcance de nuestra mano, de la energía necesaria para la refrigeración de los mismos, etc.

Así, en una sociedad tan dependiente de la energía, quizá como nunca antes en la historia, se vuelve muy complicado disminuir el consumo energético a nivel global, más aún cuando países tan grandes como China y la India están experimentando ritmos de crecimiento acelerados, que se traducen en una mejora de vida de sus habitantes y, por tanto, en un incremento de la demanda energética global (hay que tener muy en cuenta, que estos dos países concentran casi un tercio de la población mundial).

El punto anterior refleja la complejidad del problema, pues la mayor parte de los países del mundo tiene un significativo potencial de crecimiento, que quiere decir una gran capacidad de elevar los niveles de emisiones contaminantes globales en el futuro. Hoy en día sólo un puñado de países han alcanzado un elevado nivel de desarrollo, y con ello las afectaciones al ambiente son ya muy preocupantes. Como se verá en el capítulo 1, los datos estadísticos muestran que en los últimos 50 años se ha elevado la temperatura

---

<sup>1</sup> Los servicios energéticos se refieren a la aplicación de energía dirigida específicamente a satisfacer cualquier necesidad de los consumidores.

promedio de la tierra en más de medio grado Celsius y hay estudios que indican que una elevación en dos grados Celsius tendría consecuencias catastróficas para el planeta.

El crecimiento económico de un país, bajo ciertos supuestos, se debe traducir en una mejora del nivel de vida de su población. De esta forma, es válida y entendible la búsqueda de crecimiento en todos los países aún no desarrollados del mundo, es una condición a la que su población tiene derecho, de la misma forma en que los países ahora desarrollados tuvieron la misma legítima aspiración en su momento. Así que en lo que debe enfocarse cualquier investigación a este respecto no es en satanizar a los países que ahora desean alcanzar su desarrollo, sino en ofrecer vías alternas a las antes utilizadas por los ahora desarrollados, que permitan el desarrollo con baja intensidad de emisiones.

De esta forma, la presente investigación gira sobre la siguiente hipótesis:

*Ya que en el contexto histórico en que nos encontramos el crecimiento económico es una meta de todos los países, y dado que existe una relación directa entre tal crecimiento económico, el consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>, la mejor forma de crecer económicamente con bajos niveles de emisiones es disminuyendo la intensidad energética.* Pues si bien las emisiones de GEI, que provocan el calentamiento global, son un mal que necesita ser atacado, también los países en desarrollo necesitan tener el crecimiento económico que les permita incrementar su calidad de vida.

Así, esta investigación postula que todos los esfuerzos por combatir el cambio climático deben centrarse en alcanzar nuevas técnicas (mecanizadas o no) que permitan eficientar el uso de energía en el mayor grado posible. Con ello, no estamos de acuerdo con el enfoque que afirma que para tener un nivel de crecimiento y de emisiones óptimos, lo que debe hacerse es asignar precios que hagan eficiente el proceso.

Estamos de acuerdo con la visión que postula que la tecnología no es la solución absoluta al problema, pero consideramos que nos encontramos en un momento histórico en el que, en términos realistas, los combustibles de origen fósil no dejarán su lugar preponderante en la matriz energética global en el corto plazo, la tasa de crecimiento poblacional no se verá abatida en una cuantía tan considerable que permita disminuir significativamente el consumo de energía, y que los problemas de pésima distribución de la riqueza lamentablemente no podrán ser revertidos en el mediano plazo. Así, vivimos en un contexto de búsqueda de crecimiento por parte de las economías, en el que los combustibles fósiles son la principal fuerza de tal proceso, por lo que, desde nuestro enfoque, la principal herramienta para combatir el cambio climático es buscar nuevos elementos que nos permitan obtener la mayor cantidad de producto posible por unidad de energía utilizada.

Este trabajo parte del supuesto de que históricamente la productividad del trabajo se ha venido incrementando y que la relación producto-capital ha disminuido (esto es demostrado estadísticamente por Taylor y Marquetti-Mendoza Pichardo para los periodos 1990-2004 y 1963-2010 respectivamente [Taylor: 2010; Marquetti-Mendoza Pichardo: 2012]). Ambas tendencias implican un incremento en el uso de energía y en el nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>: si se eleva la productividad del trabajo, ahora un trabajador generará más producto y por tanto se utilizará más energía por unidad de trabajo elevando también las emisiones por trabajador; si cae la relación producto capital, ahora se obtiene menos producto por unidad de capital empleada, al disminuir la eficiencia del capital se utiliza más energía por producto y por tanto hay más emisiones.

Toda esta problemática es, desde nuestro punto de vista, un aspecto vital en las relaciones económicas, sociales y ambientales de la realidad actual que vivimos. Este carácter de aspecto vital, es lo que ha motivado el desarrollo del presente texto, el cual se enfocará en hacer una revisión histórica, empírica y teórica, de los aspectos que consideramos más importantes del tema. Los datos, investigaciones, relaciones y modelos que aquí se presentan, no son todos los que existen, pero desde un punto de vista muy nuestro, son los que parecen englobar de forma más concreta los distintos enfoques existentes al respecto. Lo que pretendemos, es ofrecer un panorama general del comportamiento histórico de la relación antes señalada, mostrar las principales características que el fenómeno de la concentración de CO<sub>2</sub> presenta en la actualidad, y analizar las aportaciones teóricas que dentro del campo de la economía creemos son más ajustadas a la realidad.

En esta investigación hablaremos principalmente de energía primaria, pues así evitamos el probable problema de contabilizar al doble ciertos usos de energía y simplificamos el análisis en el afán de hacerlo de sencilla comprensión, además, dentro de esta energía primaria los fósiles son los que, por mucho, contribuyen en mayor proporción. Hay que aclarar también que no hablaremos de todos los gases de efecto invernadero (GEI), sólo nos referiremos al CO<sub>2</sub> por considerarlo el principal GEI antropogénico, esto es, el que más producimos los seres humanos, pues se estima que contribuye con más del 80% del total de emisiones de GEI en la actualidad. Por último, el crecimiento económico lo mediremos principalmente en función del PIB, para casi todos los casos, estamos tomando datos del PIB medido en dólares internacionales de 2005 en Paridad de Poder Adquisitivo.

Es importante dejar claro, también, que las anteriores son las principales variables utilizadas, pero que habrá casos muy puntuales en los que se utilizaran otras según la conveniencia del caso, sin embargo, en cada ocasión será previamente explicado el uso de una u otra. Lo que consideramos central, es ofrecer al lector un panorama lo más claro

posible, pues nuestro principal interés es transmitir nuestro objetivo de la mejor forma que podamos.

Los objetivos de las tesis son:

- En general, demostrar que el aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> es debido al bajo nivel de eficiencia energética que hay en los países y actividades con mayor dinamismo económico. A partir de ello, plantear que la forma de combatir al cambio climático en el corto plazo es haciendo más eficiente el uso de la energía fósil.
- En lo particular se plantean cuatro objetivos fundamentales:
  - Mostrar que hay una relación directa entre la actividad económica, el consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>.
  - Evidenciar que las emisiones de CO<sub>2</sub> se han potenciado en las últimas décadas debido a que la mayor actividad económica industrial global se lleva a cabo en países que son relativamente menos eficientes en el uso de energía.
  - Analizar las regularidades que ofrecen los autores seleccionados para apoyar teóricamente la hipótesis de esta investigación. Esto es, mostrar que los modelos econométricos analizados ponen como punto central la cuestión de la eficiencia energética como principal herramienta para combatir el cambio climático.
  - Contrastar las regularidades teóricas que presentan los autores con los datos estadísticos mostrados en el trabajo.

Así, hemos planteado de forma general nuestros motivos y los temas generales a abordar, ahora resulta pertinente indicar de forma concreta como está organizada la presente investigación. En el primer capítulo ofreceremos una breve revisión histórica de los tres elementos a analizar: crecimiento, uso de energía y emisiones de CO<sub>2</sub>; así, como la manera en que se han relacionado históricamente y algunas formas en las que tal relación ha sido estudiada. Con lo anterior, abordamos el objetivo planteado referente a mostrar la relación histórica existente entre el crecimiento económico, la utilización de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

En el segundo capítulo, el lector encontrará una revisión empírica del comportamiento de las variables antes mencionadas para el periodo 1980-2010. El objetivo de este capítulo es mostrar las principales regularidades que presenta el fenómeno de estudio en un lapso de tres décadas, o como lo hemos planteado en los objetivos de esta investigación, hacer evidente que en las últimas décadas las emisiones de CO<sub>2</sub> se han potenciado debido a la relocalización a escala global de las actividades más contaminantes en países relativamente menos eficientes. Este periodo de tiempo fue elegido en función de analizar



la etapa del neoliberalismo y de la mayor integración regional del mundo. Existen análisis que se harán a partir de 1960 o 1963 hasta 2010 cuándo consideremos pertinente mostrar un comportamiento temporal más amplio de alguna o varias variables. Un aspecto central de este capítulo es plasmar, con evidencia estadística, el comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel global y como estas se han potenciado a partir de lo que consideramos una nueva división internacional del trabajo, además, queremos hacer evidente que la actividad económica impacta directamente sobre el consumo de energía fósil y este, a su vez, lo hace sobre el nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>. Pretendemos, también, mostrar que el potencial de crecimiento de las emisiones es aún muy amplio, pues los países con economías más dinámicas aún no se encuentran desarrollados, por lo que tienen expectativas de crecimiento altas que se traducen en elevadas demandas de energía fósil y en general son relativamente menos eficientes en el uso de tales servicios energéticos.

Por último, en el capítulo tres hacemos una revisión de textos que, a nuestro juicio, engloban de forma clara y concreta distintos enfoques que se ha dado al tema en función de la teoría con que se trate de analizar. Algunos de estos textos contienen un modelo econométrico que relaciona a la energía, el producto y el CO<sub>2</sub>; otros ofrecen revisiones empíricas sobre el problema y planteamientos teóricos sobre regularidades y soluciones. Este capítulo tiene la intención de mostrar teóricamente que en los distintos enfoques que existen dentro del campo de la economía, parece haber cierto consenso en el sentido de que eficientar el uso de energía es una de las principales herramientas con que se cuenta para combatir el calentamiento global. Así, con la presentación y contrastación de estos textos con las regularidades empíricas que ofreceremos, intentamos dar más solidez a nuestra hipótesis y con ello contribuir a su comprobación. En este capítulo abordamos los objetivos planteados al inicio del trabajo referentes tanto a analizar las regularidades teóricas como a contrastarlas con la evidencia empírica obtenida de los resultados del capítulo 2.

Con la revisión histórica, empírica y teórica que se llevan a cabo a lo largo del texto, intentamos, además de ofrecer un amplio panorama del tema al lector, dejar abierta la veta para que en una próxima investigación nos enfoquemos en la generación de un modelo propio que trabaje el problema a escala global.

De tal suerte, resulta conveniente hacer hincapié en el hecho de que esta investigación plantea que debemos pasar a un proceso de crecimiento económico con bajas emisiones contaminantes, pues estas implican un costo económico y social elevado para nosotros (por ejemplo, alzas en los precios de los alimentos que afectan a todos pero más a los económicamente más vulnerables), pero que será aún mayor para las generaciones

futuras. Hay que señalar, que el daño no sólo es para los humanos, sino para la naturaleza en general. No solo ponemos en peligro a la especie humana, si no a todas las demás que comparten el medio con nosotros, situación que debería ser un dilema moral para nosotros.

Así, puede ser conveniente iniciar por mostrar cuestiones históricas del problema, tanto en la relación de las variables citadas, como en los análisis más sobresalientes de estas.

## **CAPÍTULO 1. GENERALIDADES HISTÓRICAS DE LA RELACIÓN CRECIMIENTO, ENERGÍA Y CO<sub>2</sub>.**

### **1.1. Breve historia del uso de hidrocarburos.**

Los servicios energéticos han sido fundamentales para el desarrollo de la humanidad, cualquier actividad de transformación del medio ha requerido necesariamente del uso de energía. En un principio los combustibles sólidos como el carbón y la madera, principalmente, dieron al hombre la posibilidad de utilizar una energía ajena a la que poseía intrínsecamente. El carbón fue el combustible predominante al menos desde la Edad Media y hasta el siglo XVIII cuando cede su lugar al petróleo. Este carburante, el carbón, fue el sustento de los primeros procesos metalúrgicos e industriales. La primer Revolución Industrial tuvo en él su fuerza motriz. Sin embargo, debido a factores como abundancia, desempeño energético, distribución geográfica, entre otros, gradualmente fue perdiendo su importancia relativa respecto al petróleo y sus derivados.

Desde mediados del siglo XVIII el uso de maquinaria en gran escala para los procesos de producción terminó de transformar totalmente la forma de hacer bienes y, con ello, las relaciones productivas y sociales. Sin embargo, el utilizar maquinaria en gran proporción también trajo consigo necesariamente la generación de una gran cantidad de desperdicios (sólidos, líquidos y gaseosos) tanto de las máquinas mismas como de los combustibles necesarios para hacerlas funcionar. Lo anterior no quiere decir que antes no se utilizaran energéticos o que estos no produjeran residuos, lo que cambia, y de forma más que considerable, es la escala de ellos, pues los niveles industriales son muy superiores a los artesanales y de autoconsumo. Este hecho generó una de las mayores contradicciones históricas entre el necesario desarrollo de las fuerzas productivas y la naturaleza, lo que condujo al calentamiento global producto de altos niveles de emisiones de gases causantes del efecto invernadero (GEI).

La emisión de GEI en enormes cantidades es resultado del proceso de combustión de combustibles de origen fósil (petróleo, carbón y gas), los que se han utilizado en enormes cantidades desde que se empezaron a emplear máquinas. En un principio, el combustible mayormente utilizado fue el carbón. Este era, por ejemplo, la gran fuerza motriz de las primeras máquinas de vapor, y aunque no ha dejado de usarse, a principios del siglo XX cedió su lugar preponderante al petróleo. Fue en 1859 cuando se perforó el primer pozo petrolero a una profundidad cercana a los 20 metros, esto ocurrió en Pennsylvania a manos de Edwin Drake quien, sabiéndolo o no, daba el primer paso en la utilización de un combustible que revolucionaría los medios de comunicación y de producción de forma

inédita. Para 1880 casi toda la producción de petróleo se concentraba en EEUU y esta no superaba el millón de toneladas<sup>2</sup>.

A partir de 1885 comienzan a ser utilizados con mayor frecuencia algunos derivados del petróleo, en el periodo 1885-1900 los aceites vegetales fueron sustituyéndose por aquellos obtenidos a partir del crudo. Para 1900 la producción anual era ya de 20 millones de toneladas. A principios del siglo XX la aparición del automóvil significó un factor que estimularía el uso de derivados del petróleo, en 1914 existían ya en el mundo un millón de autos que utilizaban gasolina. Es en 1922, cuando Henry Ford lanzó su modelo "T", que empieza la verdadera proliferación de automóviles, en ese año se contabilizaron alrededor de 18 millones en todo el mundo<sup>3</sup>.

Ya en 1929 la generación de petróleo ascendía a las 200 millones de toneladas y contribuía con 20% del consumo energético mundial, ello mayormente gracias a la demanda automotriz. En 1938 existían ya 40 millones de vehículos; para 1956 eran 100 millones; y en 1964 170 millones<sup>4</sup>. Se dice que en la década que va de 1957 a 1966 se usó casi la misma cantidad de crudo que en los cien años anteriores. Cabe mencionar que es importante tomar en cuenta que a partir de este periodo se eleva la demanda de refinados por parte de aviones que utilizan pistones. Es por ello que este periodo puede ser considerado como un periodo de cambio significativo, pues hay una "explosión" en el consumo de hidrocarburos, situación que se mantiene hasta nuestros días.

En la actualidad, y aunque han existido significativos esfuerzos por reducir su consumo, el petróleo genera la tercera parte de la energía primaria que se consume en el mundo, cuantificándose en 4,026.1 de las 12,002.4 millones de toneladas de petróleo equivalente (mtpe) que se utilizaron en 2010<sup>5</sup>. Además, es un recurso que no sólo se utiliza como combustible, sino que ha generado toda una industria a su alrededor que provee de muchos insumos que son fundamentales para la fabricación de una amplia gama de bienes.

Sin embargo, este rol tan importante del petróleo en nuestras vidas ha tenido consecuencias negativas para nuestro ambiente, lo que evidentemente afecta al ser humano y a todas las demás especies del planeta. La que considero de mayor relevancia es el *calentamiento global* derivado del fenómeno llamado efecto invernadero, el cual es causado por una gran acumulación de ciertos gases en la atmósfera emitidos principalmente por la combustión de hidrocarburos.

---

<sup>2</sup> PBS Team Group, "El Origen y la historia del petróleo", documento elaborado por el Colegio Carmen Arriola de Marín, 2002. [http://www.oni.escuelas.edu.ar/2002/buenos\\_aires/pertoleo-y-gas/html/hp.htm](http://www.oni.escuelas.edu.ar/2002/buenos_aires/pertoleo-y-gas/html/hp.htm)

<sup>3</sup> "Petróleo", documento elaborado por la U.E. Andrés Bello, República Bolivariana de Venezuela, 2005.

<sup>4</sup> *Ibíd.*

<sup>5</sup> BP Statical Review of World Energy, Junio de 2011.

Al parecer, la nueva fuente preponderante de energía primaria a nivel global será también de origen fósil, el gas natural. Algunas previsiones indican que antes de 2030 el consumo global de gas superará al de carbón, y pocos años después al de petróleo, llegando a representar para 2035 un cuarto del consumo global de energía. Esta fuente energética es más amigable con el ambiente pues su nivel de emisiones es menor al del petróleo y, por supuesto, al del carbón.

## **1.2. Calentamiento global.**

La enorme utilización de combustibles de origen fósil en los principales medios de transporte y en el proceso de producción no dejó de tener consecuencias negativas para el planeta. Al entrar en combustión materia orgánica que existió hace millones de años, la vegetación actual no puede asimilar óptimamente todo el CO<sub>2</sub> generado. Lo anterior, aunado a la también poca capacidad de los océanos, y en general de todos los depósitos naturales que sirven como *sumideros de carbono*, de hacer compatible su absorción de CO<sub>2</sub> respecto al ritmo de emisión actual y, por otra parte, la falta de medidas mitigantes de la concentración atmosférica de este gas de efecto invernadero, están ocasionando una elevación en la temperatura del planeta. Aunque es un tema de estudio relativamente nuevo, sobre todo en el campo de la economía, el impacto del uso de la energía en el ambiente ha sido tomado en cuenta desde hace casi dos siglos.

Desde el siglo XIX muchos científicos como John Tyndall, se dieron cuenta de que los gases que se emiten a la atmósfera causan un *efecto invernadero* que afecta la temperatura del planeta. En 1820, estudios realizados por algunos científicos, entre los que destacan los de Joseph Fourier, concluyeron con el hecho de que algunos gases que se encontraban en la atmósfera podían contener el calor recibido del sol (Tyndall: 1861), esto es, los rayos solares ingresan fácilmente hasta la superficie terrestre pero cuando el calor que estos traen consigo se eleva para regresar al espacio, este queda atrapado en la atmósfera debido a cierto tipo de gases que impiden su salida, a esto se le conoció posteriormente como *efecto invernadero*.

De hecho, a finales de ese siglo Svante Arrhenius planteó la posibilidad de que las emisiones de ciertos gases provenientes de la industria humana algún día podrían generar un calentamiento global, ideas que fueron descalificadas por ciertos círculos de científicos. En 1896 este científico culminó con una serie de cálculos sobre la concentración de CO<sub>2</sub>, sus resultados indicaban que si en ese momento se hubiese podido disminuir la concentración de CO<sub>2</sub> a la mitad, ello bastaría para disminuir la temperatura en Europa en 4 o 5 grados centígrados, suficiente para llevar la temperatura del continente a niveles de una era glacial (Arrhenius: 1896).

En ese año Arrhenius estimó que si se duplicaba el nivel de CO<sub>2</sub>, esto llevaría a elevar la temperatura de la Tierra en unos 6 grados centígrados, cuestión que dada la tasa de emisiones de entonces tardaría unos 3 mil años (Arrhenius: 1896). Esta idea de Arrhenius fue hecha menos con múltiples argumentos, tales como errores en sus mediciones o fallas en sus supuestos. Fue hasta 1938 que Guy Stewart Callendar retomó las proposiciones de Arrhenius y, tras hacer una minuciosa revisión de los registros de temperaturas desde el siglo XIX, propuso que este había tenido razón en el incremento de las temperaturas. Más aún, al evaluar mediciones de concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico, se dio cuenta que la concentración de CO<sub>2</sub> se había incrementado en un 10% durante los 100 años anteriores (Callendar: 1938). De esa forma, Callendar argumentó que este incremento en la concentración de CO<sub>2</sub> podría explicar el incremento en la temperatura, apoyando así la tesis de Arrhenius.

De acuerdo a las estimaciones de Callendar, de duplicarse gradualmente las emisiones de CO<sub>2</sub> llevaría varios siglos elevar la temperatura terrestre en 2 grados centígrados. Aunque puso énfasis en el hecho de que las predicciones de Arrhenius podrían no estar equivocadas, pues los niveles de emisión en los periodos de ambos eran muy distintos, argumentando así que el calentamiento global era una cuestión de total actualidad a la que se debía poner atención.

Hasta este punto hay que hacer la aclaración de que las investigaciones mencionadas, así como muchas otras de la época que tenían que ver con el tema, tenían al calentamiento global en segundo plano, pues se habían emprendido en aras de tratar de entender un poco más las eras geológicas. Además, la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera es contrarrestada, en alguna medida, por los océanos y la vida vegetal del planeta, el problema viene cuando las emisiones crecen más aceleradamente de lo que pueden absorberse por estos dos agentes, rompiendo así el llamado *"equilibrio homeostático"*.

En 1940 se produjeron desarrollos en la radiación de onda larga mediante espectroscopia de rayos infrarrojos, esto permitió comprobar que el aumento de dióxido de carbono en la atmósfera provoca una mayor absorción de rayos infrarrojos, con lo que se dio un importante avance en la demostración del calentamiento terrestre debido a la presencia de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, fue hasta la década de 1950 que algunos científicos descubrieron que el calentamiento global era realmente posible (Maslin: 2004). En este periodo, posterior a la Segunda Guerra Mundial y en franca Guerra Fría, el campo científico vio incrementado enormemente el financiamiento que recibía por parte del Estado (Al menos en los casos de EEUU y la URSS), pues ante la polarización y constante amenaza de los dos bloques (socialismo soviético y capitalismo occidental), incluso las cuestiones atmosféricas eran vistas como parte de la seguridad nacional.

Gracias a cálculos más exactos hechos con equipo más especializado, como computadoras digitales, el científico Gilbert Plass calculó que si se duplicaba el nivel de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, esto acarrearía un incremento en la temperatura de 4.3 grados centígrados. Propuso que de acuerdo a las tasas de emisión de 1950, la temperatura terrestre se incrementaría a razón de 1.1 grados centígrados por siglo (Maslin: 2004).

Hasta principios de esta década se seguía creyendo casi de forma general que el océano era capaz de asimilar todo el CO<sub>2</sub> emitido, o al menos la mayor parte, al considerársele el mayor sumidero de dióxido de carbono del planeta. En 1950 se había encontrado evidencia suficiente de que el CO<sub>2</sub> tenía una vida de 10 años en la atmósfera, además de demostrarse que los océanos no eran sumideros de todo el carbono de la atmósfera, sólo un tercio del CO<sub>2</sub> antropogénico puede ser retenido por los mares (Maslin: 2004).

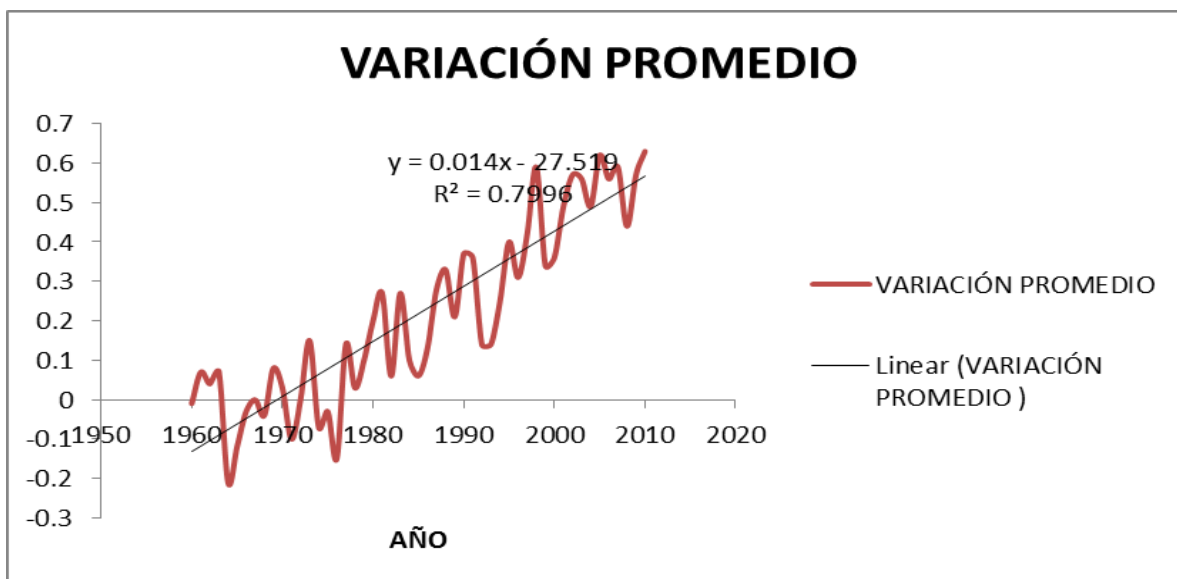
Ahora bien, la evidencia estadística muestra que las crecientes emisiones de CO<sub>2</sub>, junto con las de otros GEI, han incrementado la temperatura de la superficie del planeta como se muestra a continuación en la tabla 1 con su respectiva gráfica:

TABLA1. VARIACIÓN PROMEDIO ANUAL DE LA TEMPERATURA EN LA SUPERFICIE TERRESTRE, 1960-2010.

AÑO	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	
VARIACIÓN	-0.01	0.07	0.04	0.07	-0.21	-0.12	-0.03	0	-0.04	0.08	
AÑO	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	
VARIACIÓN	0.03	-0.1	0	0.15	-0.07	-0.03	-0.15	0.14	0.03	0.1	
AÑO	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	
VARIACIÓN	0.2	0.27	0.06	0.27	0.1	0.06	0.13	0.28	0.33	0.21	
AÑO	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	
VARIACIÓN	0.37	0.36	0.14	0.14	0.25	0.4	0.31	0.42	0.59	0.34	
AÑO	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
VARIACIÓN	0.36	0.49	0.57	0.56	0.49	0.62	0.56	0.59	0.44	0.57	0.63

FUENTE: DATOS DEL GLOBAL CLIMATE CHANGE DE LA NASA.

**GRÁFICA 1. VARIACIÓN PROMEDIO ANUAL DE LA TEMPERATURA EN LA SUPERFICIE TERRESTRE, GRADOS CENTÍGRADOS, 1960-2010.**



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DEL GLOBAL CLIMATE CHANGE DE LA NASA.

La gráfica 1 muestra la variación en la temperatura de la superficie terrestre, son mediciones hechas por la NASA que ponen en evidencia una tendencia creciente de la temperatura terrestre en el periodo 1960-2010, el valor de la  $R^2$  de .79 indica un buen grado de significancia, reforzando la idea de una tendencia creciente. Se puede observar que en los últimos 50 años, la media se ha incrementado en más de medio grado centígrado.

### **1.3. La curva de Keeling.**

A partir de la última parte de la década de 1950 y principios de la de 1960 David Keeling inició una serie de mediciones de la concentración de  $\text{CO}_2$  en California, pero se dio cuenta que estas tendían a ser muy inestables. Por ello mudo sus experimentos al Monte Mauna Loa en Hawái. De esta forma, y con una serie de medidas estables, Keeling se dio cuenta de que la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera se incrementaba año tras año y de forma acelerada<sup>6</sup>.

A esta dinámica creciente representada de forma gráfica se le conoce como curva de Keeling y se caracteriza por tener un comportamiento que varía de forma directa con el incremento de la actividad industrial. Para finales de los años 50, Keeling había realizado una medición en la concentración de  $\text{CO}_2$  de 315 partes por millón (ppm). Se estima que

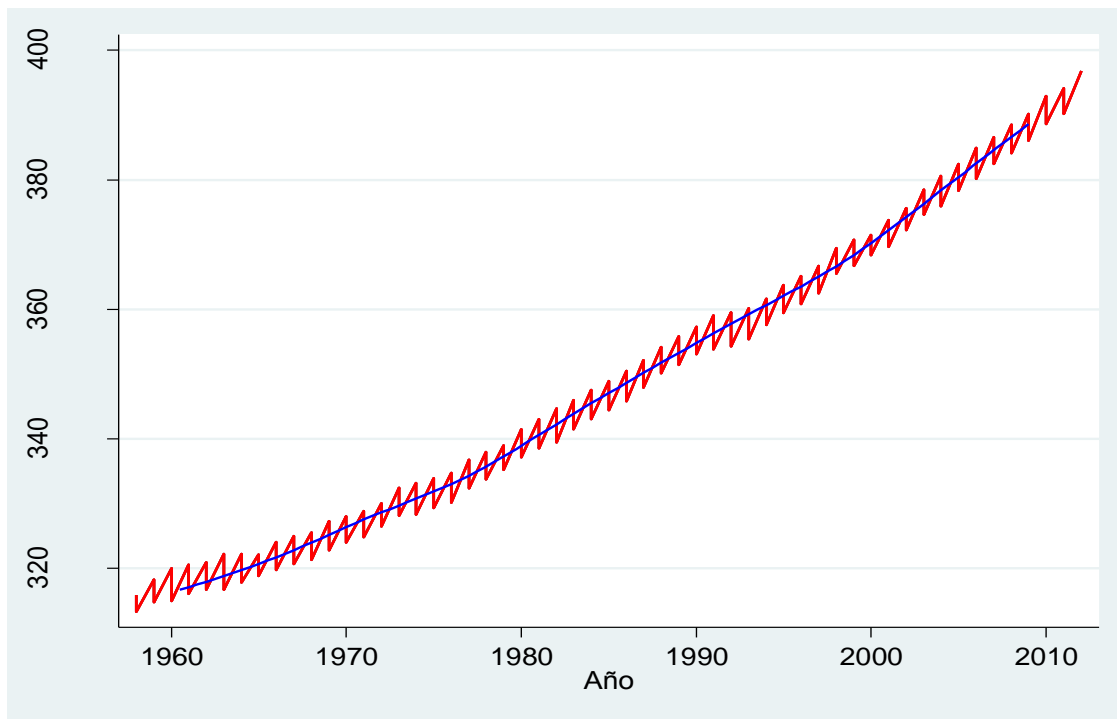
<sup>6</sup> "El descubrimiento del calentamiento global", documento elaborado por Spencer Weart, miembro del American Institute Physics, 2011.



en la era pre-industrial la concentración era del orden de 275 ppm y que actualmente (2012) es de más de 390ppm<sup>7</sup>.

Así, es posible elaborar una reproducción de la curva elaborada por Keeling, a partir tanto de sus mediciones como de las que siguieron haciéndose por la National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA) en el observatorio del Mauna Loa, entonces podemos presentar esta curva para el periodo 1958 hasta el 2012 como se observa enseguida en la gráfica 2.

**GRÁFICA 2. CURVA DE KEELING (1958-2005)**



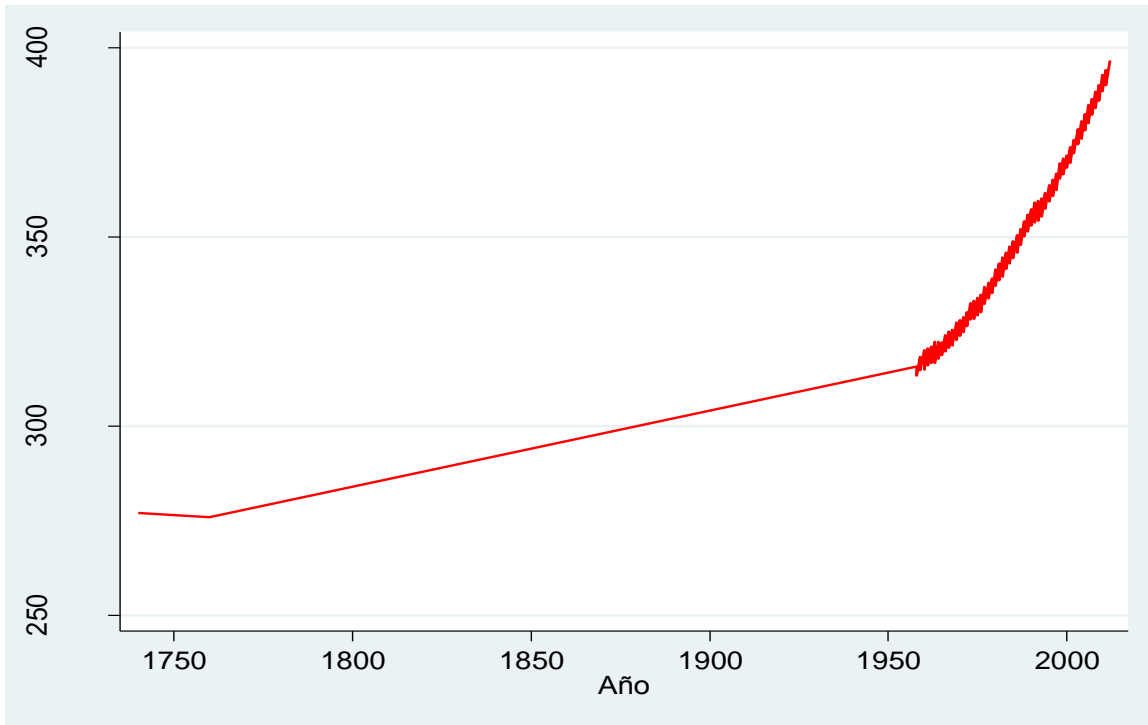
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE LA NATIONAL OCEANIC ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA)

De igual forma, y gracias a estimaciones de los niveles de CO<sub>2</sub> preindustriales, puede presentarse una segunda Curva de Keeling, esta vez ampliada hasta 1740, que pone en mayor evidencia el origen antropogénico del gran incremento en la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico. Es importante dejar claro que los datos anteriores a 1958 son estimaciones hechas gracias al hielo antártico u otras técnicas que permiten tener una idea aproximada de la concentración de CO<sub>2</sub> para esos periodos, así que no deben entenderse como datos totalmente ciertos. Es muy interesante la forma que nos muestra la siguiente gráfica, 3, pues refuerza el argumento de que la potenciación de las emisiones de CO<sub>2</sub> es una consecuencia de actividades estrictamente antropogénicas.

---

<sup>7</sup> "El descubrimiento del calentamiento global", documento elaborado por Spencer Weart miembro del American Institute Physics, 2011 y NASA.

**GRÁFICA 3. CURVA DE KEELING AMPLIADA (1740-2005)**



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE LA NATIONAL OCEANIC ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA)

A partir de las gráficas 2 y 3 se pueden realizar varias conjeturas. En primer lugar, en la curva de Keeling ampliada (gráfica 3), se ve que hay una tendencia creciente en la concentración de carbono atmosférico en todo el periodo, esto puede indicar que el desarrollo de las fuerzas productivas, como una actividad exclusivamente antropogénica, conlleva un necesario proceso de intensificación de la emisión de gases de efecto invernadero.

Segundo, como mencioné antes, en el periodo de 1957 a 1966 se utilizó la misma cantidad de crudo que en los cien años anteriores, lo que indica que esta potenciación en el uso de esta fuente energética necesariamente disparó la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, cuestión que es consistente con la gráfica 3, donde se observa que es a partir de fines de la década de 1950 que la pendiente se hace más vertical o crece más rápido. Lo anterior quizá debido a que este periodo entra dentro de la llamada *edad de oro del capitalismo*, donde la producción y el consumo en promedio a nivel global se aceleraron, sin olvidar que es a partir de la década de los cincuenta, tras la enorme afectación de la Segunda Guerra Mundial, que la población crece a tasas significativas y constantes, al menos entre 1950 y 1970 la población mundial creció a una tasa promedio de 10%

quinquenal, pasando de 2,518,630,000 hab. en 1950 a 6,392,492,000 hab. en 1970<sup>8</sup>, esto es, un crecimiento de más del 100% en sólo 20 años.

En tercer lugar, la gráfica 2 muestra, además de la línea de tendencia creciente, otra línea dentada (o en forma de cierra), que es la forma en que varía la concentración de CO<sub>2</sub> durante el año; cuando los puntos están por debajo de la pendiente indican que hay una mayor asimilación de CO<sub>2</sub> y por ello es menor la concentración de este gas en la atmósfera, y viceversa, cuando están por encima de la pendiente hay una menor asimilación de CO<sub>2</sub> y por ello su concentración aumenta. Cabe destacar que año tras año, en el gráfico, tanto los puntos de concentración máximos como mínimos van siendo superiores al año anterior, lo que es consistente con la afirmación de que el ritmo de crecimiento de emisiones es superior al ritmo de absorción por parte de los sumideros de carbono.

Otras estimaciones, como las del IPCC, indican un nivel de concentración de 280 ppmv para 1750 y de 379 ppmv para 2005. Mostrando además una aceleración en el ritmo de crecimiento de la concentración de este gas en la atmósfera en la década de 1995-2005 en relación a la década de los 60's. Se estima que desde 1750, dos tercios de las emisiones de CO<sub>2</sub> antropogénicas son responsabilidad de la quema de combustibles de origen fósil, mientras que un tercio es producto del cambio de uso del suelo (IPCC: 2007). Cabe mencionar que hasta antes de las mediciones hechas por Keeling poco antes de 1960, los datos que ofrece el IPCC son estimaciones hechas a partir de los rastros en el hielo antártico. A partir de que se realizaron las mediciones de Keeling que continuaron haciéndose por la NASA a su muerte, el IPCC toma tales mediciones como validas.

A continuación mostramos los datos de las mediciones promedio anuales de partículas por millón de CO<sub>2</sub> concentradas en la atmosfera, de tales datos se obtuvo la gráfica 2, presentada anteriormente:

**TABLA 2. CONCENTRACIÓN MEDIA ANUAL DE CO2 EN LA ATMOSFERA DE ACUERDO A LA NOAA, 1959-2011.**

<b>AÑO</b>	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
<b>NIVEL MEDIO</b>	315.97	316.91	317.64	318.45	318.99	319.62	320.04	321.38	322.16	323.04	324.62	325.68	326.32	327.45	329.68	330.18	331.08	332.05
<b>AÑO</b>	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
<b>NIVEL MEDIO</b>	333.78	335.41	336.78	338.68	340.1	341.44	343.03	344.58	346.04	347.39	349.16	351.56	353.07	354.35	355.57	356.38	357.07	358.82
<b>AÑO</b>	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
<b>NIVEL MEDIO</b>	360.8	362.59	363.71	366.65	368.33	369.52	371.13	373.22	375.77	377.49	379.8	381.9	383.76	385.59	387.38	389.78	391.57	

FUENTE: NOAA

<sup>8</sup> <http://populationmatters.org/>

De acuerdo a datos de la Agencia Internacional de energía (AIE), en 2010 se emitieron unas 30.6 giga toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, con ello se ha alcanzado el mayor nivel de concentración en la historia. El crecimiento en la tasa de emisión respecto a 2009 fue de 5.52% (EIA Outlook: 2010). Si recordamos los objetivos del protocolo de Kioto, para 2020 el mundo tendría que emitir unas 32 giga toneladas de CO<sub>2</sub>, pero si la tasa de emisión se incrementa en una proporción anual similar a la de 2010, esta cifra de emisiones se habrá alcanzado 9 años antes, lo que indicaría un rotundo fracaso en la mitigación del cambio climático.

De acuerdo a la AIE, este incremento es responsabilidad casi en su totalidad del uso de combustibles de origen fósil. Además, casi el 80% de plantas generadoras de electricidad que estarán en funcionamiento en 2020 ya están construidas o a punto de concluirse, la gran mayoría utilizará hidrocarburos como motor principal de sus generadores. Esto muestra que las metas fijadas para el año 2020 son casi imposibles de cumplir. Otro factor que incidirá negativamente en la mitigación es el accidente en la central nuclear de Fukushima, que ha elevado el clamor social por hacer de lado la energía nuclear, lo que se traduciría en un incremento del uso de combustibles fósiles (EIA Outlook: 2010). Cabe hacer la aclaración de que casi toda la energía eléctrica que se obtiene sin emitir CO<sub>2</sub> a la atmósfera proviene de reactores nucleares.

Ahora bien, es prudente recordar que este trabajo tiene como uno de sus postulados centrales el hecho de que la emisión de CO<sub>2</sub> depende directamente del ritmo de crecimiento económico. De tal suerte pareciera que las crisis económicas inciden positivamente en el ambiente, disminuyendo los niveles de concentración de CO<sub>2</sub>, pues la recesión se traduce en menor actividad industrial y menor ingreso de la población que se refleja en un menor uso de medios de transporte.

Según la AIE, la crisis del petróleo de la OPEP de 1973 tuvo el efecto positivo de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>; lo mismo ocurrió, de hecho, con el derrumbe de la URSS, pues este significó un impresionante descenso de la actividad industrial en el mundo. Durante 2008-2009, como efecto de la crisis financiera global, las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera se redujeron en un 3% (WEO: 2010). Lamentablemente esta pequeña reducción temporal fue de muy corto plazo, pues como se mencionó anteriormente se logró una cifra record de emisiones de este gas a escala global durante 2010.

#### **1.4. Mitigación.**

La mitigación en la concentración de gases de efecto invernadero en aras del combate al calentamiento global ha cobrado relevante atención, ya sea por interés propio o presiones internas o externas, por parte de prácticamente todos los países del mundo. El primer intento de compromiso relativamente serio a este respecto a escala global fueron las

pláticas que concluyeron con la firma del Protocolo de Kioto en 1997. Con la firma de dicho acuerdo, los países más desarrollados del mundo quedaban obligados a reducir sus emisiones de CO<sub>2</sub> a niveles establecidos en cada caso, ello principalmente a través de la disminución de su uso de energía de origen fósil. Los países emergentes no adquirirían una obligación como los desarrollados, aunque se comprometían a hacer todo lo que pudieran para contribuir al combate al calentamiento global.

Un problema con estos compromisos de Kioto fue que el principal consumidor de energía primaria y emisor de CO<sub>2</sub> en ese momento, Estados Unidos, simplemente no signó el documento, desconociendo así los compromisos que este conllevaba. Otra cuestión fue que, por ejemplo, países como China considerados como emergentes, no estaban obligados a cumplir con algún requerimiento en específico, catalogándolos junto a naciones como algunas Sudamericanas o Bálticas, siendo que China ya empezaba a tener tasas de crecimiento altas con un enorme y creciente uso de energía. Hoy día China, que no es catalogada como nación desarrollada, es el principal consumidor de energía primaria y el mayor emisor de CO<sub>2</sub> del planeta.

Existen distintas estrategias para mitigar la concentración de dióxido de carbono, sin embargo, podemos mencionar las que consideramos más importantes. Una primer forma es consistente con la teoría económica ortodoxa y consiste en poner un precio a las emisiones de CO<sub>2</sub> bajo la idea de que para que el mercado pueda corregir esta “externalidad”, y en el supuesto de que dichas emisiones son un bien transable, el CO<sub>2</sub> debe tener un costo monetario para quienes las generan. Este punto es el sustento de políticas como los bonos de carbono. Además, el ajuste mediante los precios también puede venir desde el lado de los combustibles, así un incremento en el precio de la gasolina, por ejemplo, desestimula su consumo y por tanto disminuyen las emisiones. Un ejemplo de esto es Alemania, donde para 2010 la gasolina alcanzo el precio promedio anual de 1.39 euros por litro<sup>9</sup>, que en dólares corrientes del año eran unos 1.8 dólares corrientes por litro, mientras que, para efectos de dimensionar, el precio promedio anual de la gasolina en EEUU para el mismo año en dólares corrientes fue de .782 dólares por litro<sup>10</sup>, esto es, casi la mitad del precio en Alemania.

Una segunda forma tiene que ver con un marco regulatorio que limite tanto el uso de energía como las emisiones, así, por ejemplo, quienes emiten demasiado CO<sub>2</sub> o utilizan una gran cantidad de combustibles son sancionados económicamente o de otra manera. Por ejemplo, los miembros de la Unión Europea están obligados a cumplir con ciertos

---

<sup>9</sup>[http://www.minetur.gob.es/esES/IndicadoresyEstadisticas/DatosEstadisticos/IV.%20Energ%C3%ADa%20y%20emisiones/IV\\_7.pdf](http://www.minetur.gob.es/esES/IndicadoresyEstadisticas/DatosEstadisticos/IV.%20Energ%C3%ADa%20y%20emisiones/IV_7.pdf)

<sup>10</sup><http://www.mexicomaxico.org/Voto/GasolMexUSA.htm>

estándares mínimos de producción y/o consumo de energías alternativas, entonces si un país no cumple con la cuota este es sancionado.

Otra forma es un agresivo fomento del ahorro de energía a través de su uso de forma más eficiente, esto es, estimulando la generación de tecnologías que permitan disminuir la intensidad energética o utilizar combustibles relativamente menos intensivos en emisiones de CO<sub>2</sub>.

Así, mientras la primera forma deja al libre mercado la corrección del problema de las emisiones, la segunda y tercera son estrategias en las que tal corrección recae mayormente en el Estado, de una parte regulando directamente el nivel de emisiones, y de otra invirtiendo recursos en investigación y desarrollo para estimular la generación de tecnologías menos intensivas en energía y emisiones.

### **1.5. La Curva Ambiental de Kuznets.**

Existen algunas regularidades teóricas formuladas alrededor de la relación crecimiento, uso de energía y emisiones de gases contaminantes. Una de las más aceptadas, sobre todo dentro del campo de la economía convencional, es la Curva Ambiental de Kuznets (CAK). Dicha curva relaciona el comportamiento del ingreso de una economía con la contaminación generada por la misma. La idea original de esta herramienta analítica fue planteada por el Premio Nobel de economía Simon Kuznets en 1955, haciendo referencia a la hipótesis de que existe una relación entre el crecimiento económico y la distribución del ingreso<sup>11</sup>. A grandes rasgos, Kuznets planteó que en el proceso de crecimiento de un país primero existe una elevada inversión en bienes de capital, pero con el tiempo la generación de empleo y un incremento en la productividad elevan los salarios y por ello hay una mejor distribución del ingreso. De tal suerte, Kuznets sintetizaba gráficamente su razonamiento planteando la idea de la existencia de una “U” invertida que reflejaba la relación entre crecimiento económico y la desigualdad en el ingreso en el tiempo.

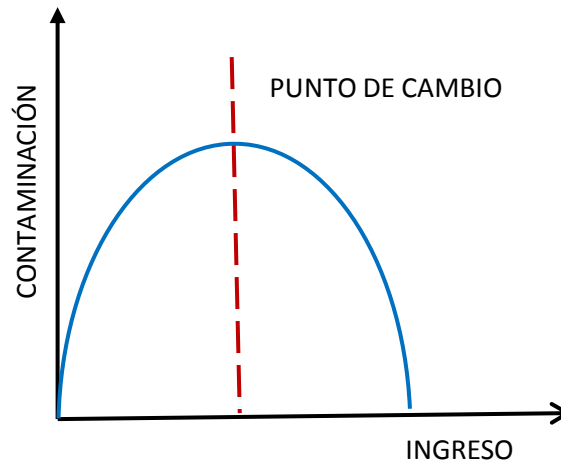
Con el tiempo otros economistas plantearon una relación análoga entre el postulado de Kuznets y el comportamiento del ingreso y la contaminación, así, a principios de la década de los 90's surge el concepto de la Curva Ambiental de Kuznets, acuñado por los economistas Grossman y Krueger en un informe referente a los potenciales impactos económicos y ecológicos del TLCAN, y popularizado por el Banco Mundial en 1992 en su Reporte de Desarrollo Mundial (Stern: 2003). La idea central de este concepto es que al inicio del proceso de desarrollo de un país sus emisiones son crecientes en relación directa con su inversión en su planta industrial, sin embargo, llega el momento en dicho proceso en el que el crecimiento de las emisiones comienza a desacelerarse cambiando la

---

<sup>11</sup> American Economic Review, No.45, pp. 1-28, 1955.

dirección de la pendiente como lo muestra la gráfica 4, hasta estabilizarse en un nivel bajo.

#### GRÁFICA 4. CURVA AMBIENTAL DE KUZNETS.

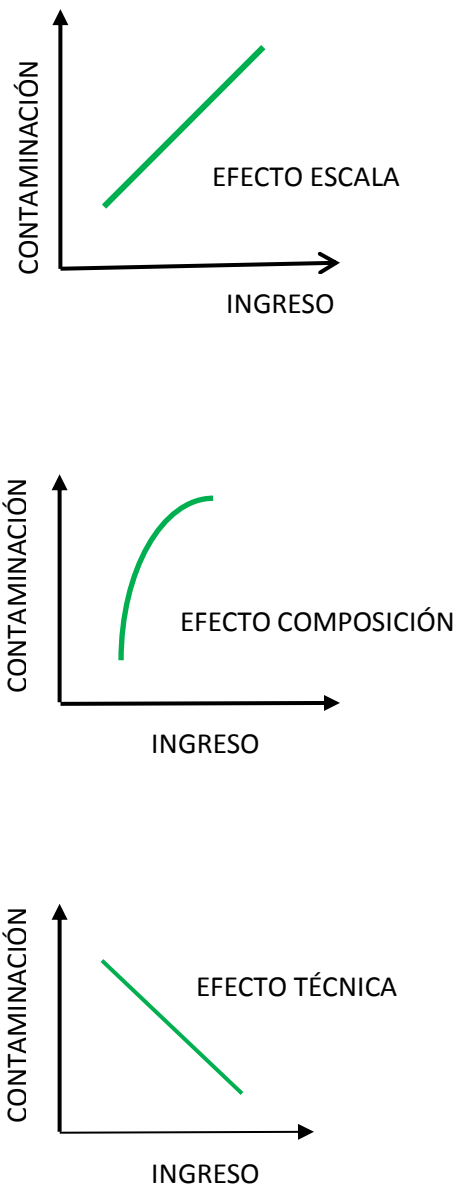


FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Este planteamiento tiene implícita la idea de que en un primer momento del desarrollo de un país, los altos índices de contaminación son algo inherente al proceso y, por tanto, inevitable. Pero conforme se eleva el ingreso, dicho país contrarrestará esos índices contaminantes. Lo último puede deberse a que con un ingreso elevado de la población, esta tiene en general un mayor grado de educación, lo que redundaría en una mayor conciencia ambiental, o a que con un mayor nivel de ingreso, el país puede destinar recursos económicos a la preservación ambiental.

Panayotou es uno de los autores que apoya la idea que sugiere la existencia de la CAK y en su análisis plantea en este sentido la existencia de tres etapas en el proceso de desarrollo de un país (Panayotou: 2003). Estas tres etapas se representan en la gráfica 5:

## GRÁFICA 5. ETAPAS DEL DESARROLLO ECONÓMICO Y LAS EMISIONES



De acuerdo a Panayotou el nivel de las emisiones de un país se encuentra históricamente dividido en tres etapas. Cuando inicia el proceso de industrialización ocurre el efecto escala, esto es, las emisiones crecen en la misma escala que lo hace la inversión en bienes de capital. Después, cuando las economías mudan parte de sus procesos industriales a otros lugares en busca de mejores costos, ocurre el efecto composición, esto es, comienzan a disminuir las emisiones como resultado de una terciarización de las economías. Por último, los países llegan a un nivel tal de desarrollo, en el que el deseo propio o la presión que ejerce la naturaleza los obliga a invertir en tecnologías que permitan atacar las emisiones, este es el efecto técnica.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE PANAYOTOU, 2003.

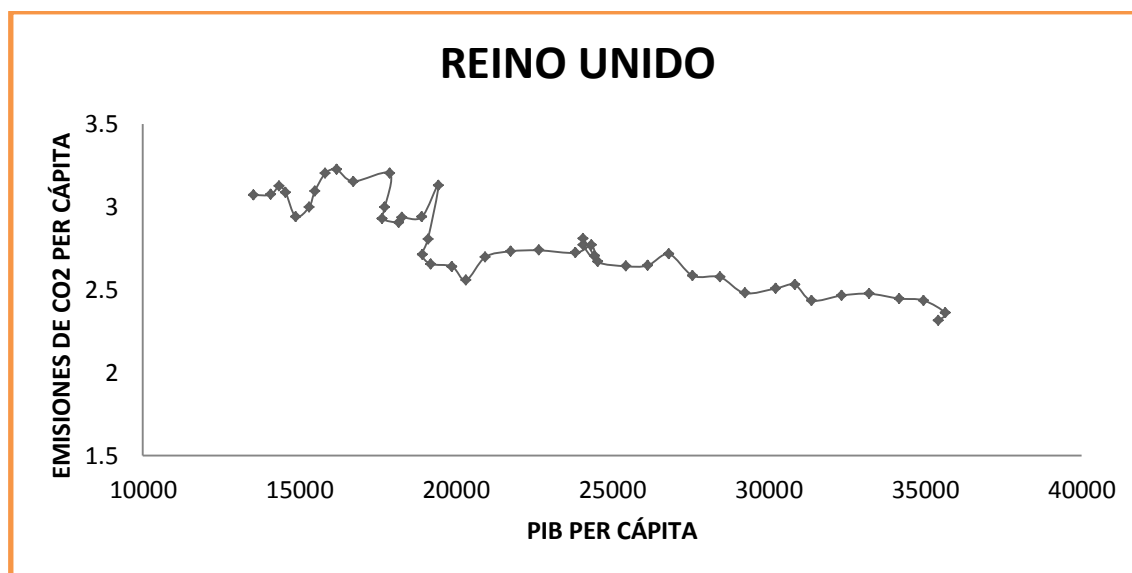
Así, la CAK ha sido un instrumento teórico utilizado por muchos economistas para el análisis del crecimiento económico y su efecto en las emisiones de gases contaminantes. El argumento central sobre el que se apoyan los economistas a este respecto, es que conforme se incrementa el ingreso también lo hace la demanda por incrementar la calidad del ambiente, así como los recursos para tal inversión (Stern: 2003).



Con el objetivo de mostrar la pertinencia o no de utilizar el enfoque de la CAK se muestran las gráficas 6,7 y 8, en las que se han relacionado los dos parámetros que comúnmente se utilizan para generar dicha curva, estos son el PIB per cápita y las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita, ambos para el periodo 1963-2008 en el caso de EEUU y Reino Unido, y 1965-2008 para el caso de China. La selección de estos tres países tiene que ver con su rol histórico global y la etapa de crecimiento en la que se encuentran.

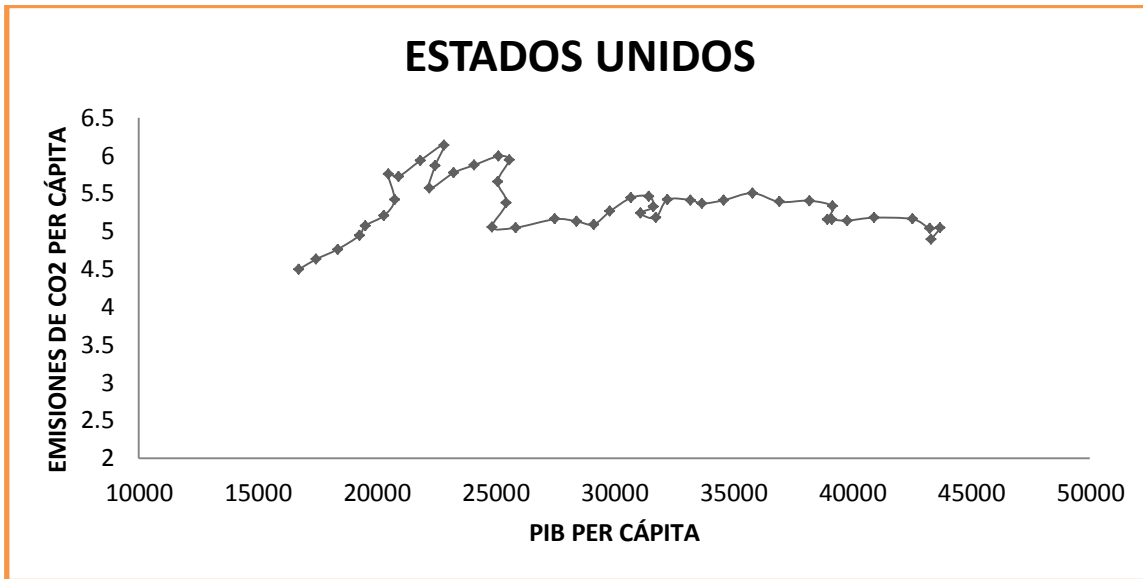
Inglaterra fue el primer país hegemónico mundial y la primer potencia industrial durante el siglo XIX y principios del XX, por lo que se da por supuesto en este análisis que su proceso de industrialización está ya muy desarrollado y es propicio para los fines que se pretende esquematizar. Estados Unidos, es quizá el país que históricamente ha alcanzado un mayor desarrollo del capitalismo en un sentido amplio, sin olvidar que aún es el país hegemónico global. Y China se encuentra en una fase de creciente industrialización, además de que en los aspectos de crecimiento y emisiones es la economía más dinámica del mundo en este momento.

**GRÁFICA 6. RELACIÓN INGRESO-EMISIONES, REINO UNIDO 1963-2008.**



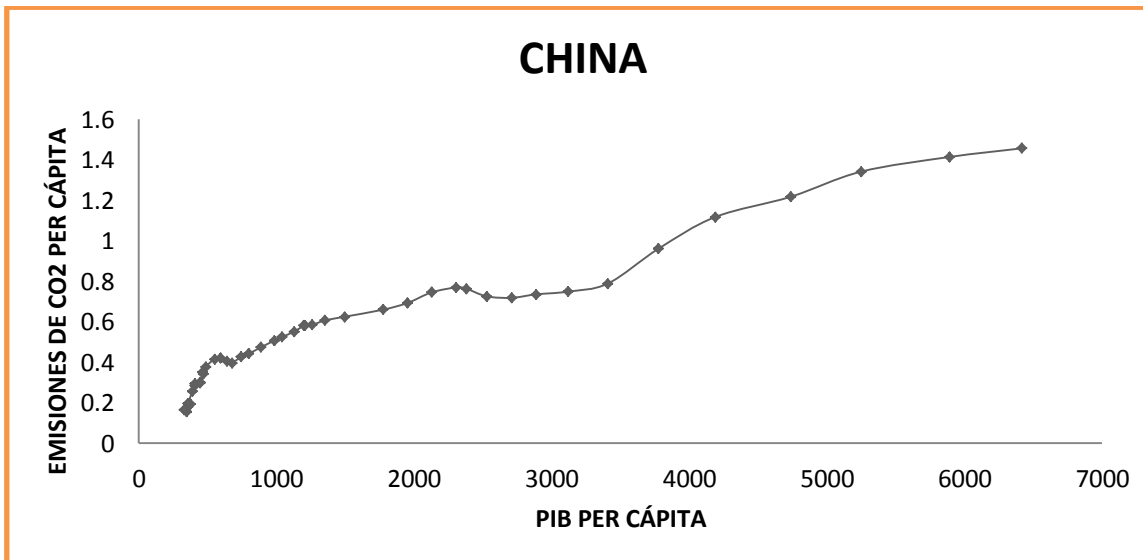
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE BANCO MUNDIAL

**GRÁFICA 7. RELACIÓN INGRESO-EMISIONES, EEUU 1963-2008.**



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE BANCO MUNDIAL.

**GRÁFICA 8. RELACIÓN INGRESO-EMISIONES, CHINA 1965-2010.**



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE BANCO MUNDIAL Y LAS EPWT.

Las tres gráficas anteriores relacionan el PIB per cápita, medido en dólares internacionales constantes de 2005 en Paridad de Poder Adquisitivo para cada país en cuestión, con las emisiones de CO<sub>2</sub>, medidas en toneladas anuales promedio emitidas por cada poblador. Los cálculos son propios a partir de datos del Banco Mundial y las Extended Penn World Tables 4.0.

En la gráfica 6 se pueden observar los datos para Reino Unido. Para tal caso vemos una tendencia decreciente del nivel de emisiones per cápita en el tiempo con una tendencia creciente del PIB per cápita para el periodo analizado. Quizá si pudiéramos realizar un análisis de un periodo de tiempo más extenso estaríamos en condiciones de encontrar una curva con un mejor comportamiento en relación a la CAK, esto es, una tendencia más parecida a la de una “U” invertida. Lo que es claro es que el incremento del ingreso si refleja para el periodo de estudio una tendencia negativa en las emisiones.

En la gráfica 7 se aprecian los datos de EEUU. Al inicio del periodo de análisis, la década de los 60's, vemos un crecimiento en las emisiones de CO<sub>2</sub> conforme crece el ingreso, encontrando un primer pico en 1975 y otro en 1980, a partir del cual hay un leve descenso en emisiones y en adelante se mantiene relativamente estable con una ligera tendencia negativa. Respecto a Reino Unido, en 2008 las emisiones de CO<sub>2</sub> por cada ciudadano estadounidense fueron de casi el doble, con un ingreso per cápita mayor en cerca de 25%. Con los datos que se muestran, la gráfica para EEUU es la que podría mostrar un comportamiento más acorde al de la CAK. Con una tendencia creciente del nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> al principio, después un cambio de tendencia hasta el inicio de la década de los 80's, y en adelante un descenso, si bien ligero, pero constante del nivel de emisiones.

En la visión de Panayotou, y de muchos otros economistas, que se planteó antes, estos dos países mostrarían un comportamiento similar al llamado “efecto técnica”, esto es, ya pasó la etapa en la que bajan las emisiones como resultado de la terciarización de la economía y se encuentran en la etapa en la que las emisiones descienden gracias al uso de tecnologías con baja intensidad en emisiones.

Esta investigación no se encuentra en total acuerdo con esto, pues si bien existe actualmente un fuerte fomento de ahorro energético y de combate a las emisiones de CO<sub>2</sub>, los datos empíricos parecen indicar que más bien es producto de la terciarización de ambas economías. Y es que, como se mostrará en el capítulo 2, la participación de las energías renovables a nivel global, y en particular para estos dos países, es aún marginal y, más aún, Estados Unidos es el segundo emisor de CO<sub>2</sub> en el mundo en términos absolutos, así que no hay que olvidar que el comportamiento de la gráfica está influido por el tamaño de la población del país norteamericano y por su enorme PIB. De hecho el propio Kuznets hacía referencia a que medir el crecimiento en el bienestar no significaba fijarse sólo en el PIB per cápita, sin embargo, este es sólo un ejemplo de lo que comúnmente plantean y hacen economistas que simpatizan con el enfoque de la CAK.

El tercer caso, gráfica 8, es el de China, en donde vemos un comportamiento creciente de las emisiones per cápita de CO<sub>2</sub> para el periodo 1965-2008 con niveles crecientes de

ingreso aunque aún muy distantes de los niveles que vemos para los otros dos casos. El comportamiento de la gráfica es consistente con lo que Panayotou llama el “efecto escala”, que quiere decir que el incremento en la planta industrial china afecta de forma directa al nivel de emisiones. En términos del enfoque de esta investigación, en efecto los datos empíricos indican una actividad industrial en crecimiento que impacta más que directa, exponencialmente sobre las emisiones, esto debido en gran medida a la utilización de carbón de forma intensiva.

Hemos visto hasta aquí una breve historia del uso de combustibles fósiles y de las emisiones de CO<sub>2</sub> a escala global. Se ha hablado de algunas estrategias de mitigación de emisiones de CO<sub>2</sub>, si nos enfocamos en las que proponen un sistema de precios que desestimula el uso de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>, y la que plantea sanciones por parte del Estado, ambas sugieren una utilización menor de energía, sin embargo, ello no es muy adecuado si buscamos tener crecimiento económico, al menos no totalmente, pareciera que lo más indicado sería pugnar por generar nuevas técnicas que nos permitan, con menos energía y con ello menos emisiones, producir los bienes necesarios para satisfacer nuestras necesidades en un contexto de crecimiento económico y poblacional.

También revisamos el que es, desde nuestro punto de vista, el primer elemento teórico-analítico que relacionó el crecimiento económico con su impacto en las emisiones contaminantes, la curva de Kuznets, lo que no implica que estemos en acuerdo o desacuerdo con lo que plantea. Aclaramos que presentamos tal método analítico como parte de una revisión histórica del estudio de la relación entre crecimiento, uso de energía y emisiones de CO<sub>2</sub>.

Existe, sin embargo, un enfoque alternativo a todo lo que hemos visto hasta este punto, que no sólo parte de principios de la teoría económica, sino que se alimenta de un trabajo interdisciplinario que comprende a ciencias como la física, la biología, la química, etc. Este es el enfoque de la Economía Ecológica, el cual presentamos a continuación.

#### **1.6. La perspectiva de la Economía Ecológica.**

La economía ecológica se centra en estudiar la capacidad de la especie humana de poder existir dentro de los límites que plantea la naturaleza. Así, este enfoque postula que la sociedad toma del medio elementos que sirven para su supervivencia y, a su vez, le genera desechos. Es muy importante aclarar que esta visión parte de una concepción diametralmente opuesta al de la economía convencional, aquí no se habla de “la relación” del proceso económico con el ambiente (situando a ambos como entes similares), sino que se parte del hecho de que la humanidad, y con ello todos los fenómenos que de ella se derivan, incluyendo el proceso económico, se desarrolla dentro de la naturaleza, esto es, la naturaleza es el sistema y todo lo que en ella se lleva a cabo (incluyendo la actividad

humana), es un subsistema de aquel. Así, la naturaleza tiene valor por sí misma, independientemente del valor de uso que tenga para los humanos. Sin embargo, ambos, naturaleza y humanidad, evolucionan juntos dado que las condiciones naturales son fundamentales para el desarrollo de la especie, la que a su vez es la única capaz de modificar el medio de forma consciente.

Uno de los postulados centrales de esta rama es referente a la concepción de los recursos naturales. Mientras en la economía convencional se les ha tratado históricamente como un factor de producción más, que puede ser intercambiable por trabajo y capital, en el enfoque de la economía ecológica ambos, capital y trabajo, son factores complementarios a los recursos naturales.

Podemos mencionar como uno de los autores más representativos de esta disciplina a Nicholas Georgescu-Roegen con su *“Ley de la entropía y el proceso económico”*, en la que propone una nueva concepción del proceso económico, que deje de lado el hecho de entender a los recursos naturales como objetos estériles e inanimados, y que adopte la idea de un subsistema que existe como parte de un todo, que se encuentra incrustado y depende de la naturaleza, su razonamiento pretende romper con la idea de que la naturaleza pertenece al hombre y este puede disponer de ella como le plazca. Polemiza con la función de producción convencional, en la que cierta combinación de insumos genera tanto producto de tal o cual tipo. Hace énfasis en el hecho de que el producto (output) no es único y positivo, pues en el proceso de producción no sólo se generan mercancías, sino que resultan de este insumos desgastados, desechos y energía disipada, esto es, una vez que ocurre cierto proceso de producción, la naturaleza no queda en las mismas condiciones anteriores a tal proceso (Georgescu-Roegen: 1971).

En esta concepción la idea de “Estado estacionario” es imposible, pues los recursos materiales y energéticos con que cuenta el planeta son finitos. Si se llegara al escenario de un Estado en el que todo funciona bien y se crece al ritmo adecuado, o incluso uno en el que no existieran crecimiento o decrecimiento, de cualquier forma los recursos seguirían agotándose y, en última instancia, se convertirían en el límite del desarrollo de la humanidad.

Aquí entra a la ecuación la variable tecnología. Mientras que es común que tanto en la teoría económica ortodoxa como heterodoxa se dé a la tecnología el carácter de solución a los problemas de escasez de recursos, en la concepción de la economía ecológica, representada por el enfoque de Georgescu, la tecnología es importante sólo en el sentido de que puede alargar la vida de los recursos haciéndolos más eficientes, pero no es una solución absoluta del problema.

Prácticamente todos los especialistas de este campo mantienen una postura crítica respecto al crecimiento económico. En contraste, en la mayoría de los enfoques económicos existentes el fin último es *el crecimiento económico*, existen marcadas diferencias en cómo alcanzarlo y que finalidad tiene, pero a fin de cuentas lo importante es lograr crecer económicamente. A pesar de ser el fin común, hay una gran controversia entre las distintas escuelas del pensamiento económico sobre el significado mismo de tal concepto, si sólo es lograr que el PIB se incremente, si lo es que lo que aumente sea el PIB per cápita, o si ninguno de estos dos indicadores es adecuado, si la palabra “crecimiento” debe ser sustituida por la de “desarrollo, en fin, existe una amplia gama de matices respecto al tema. Sin embargo, parece haber coincidencia a este respecto en el sentido de que lo que se busca es producir más bienes que satisfagan las necesidades de más humanos y con ello se mejore el nivel de vida de los mismos, dejando de momento a un lado toda la problemática que surge de la producción, distribución y consumo de tales mercancías.

Pero contrario al enfoque anterior, autores de la economía ecológica tales como Herman Daly postulan que el tan perseguido crecimiento podría ser un “crecimiento no económico”, esto si se toma en cuenta que la búsqueda del incremento del PIB tenga costos sociales y ambientales mayores a los beneficios que pudieran existir en la producción de bienes, esto podría hacernos más pobres y no más ricos (Daly: 2012).

Dado lo anterior, los economistas ecológicos no pugnan por el crecimiento económico, más aún si este conlleva los costos antes mencionados. En general, proponen que la solución no es necesariamente crecer, si no buscar la forma de eficientar el uso de lo que se tiene, así, de forma general se enfocan en tres cuestiones como las principales soluciones al problema: control natal, una mejor redistribución de la riqueza y un incremento en la productividad de los recursos naturales (Daly: 2012).

Hasta aquí, se presenta de forma general el enfoque alternativo de la relación entre naturaleza y economía. Es importante resaltar que es un campo que ofrece muchas posibilidades y plantea elementos más que interesantes. Más allá de cualquier toma de postura al respecto, algo muy importante de recordar cuando estudiamos la relación entre crecimiento, uso de energía y emisiones contaminantes, es que es necesario valernos de visiones nuevas o alternativas, pues el enfoque tradicional nos ha hecho una sociedad depredadora del medio, es en este sentido que la perspectiva de la economía ecológica y cualquier otra que nos permita generar elementos críticos que abonen a la proposición de soluciones innovadoras a los problemas resultantes de esta contradicción, será muy bienvenida.

Desde el enfoque de esta investigación, creemos que la contención del crecimiento poblacional sería una política difícil de lograr, aunque no imposible. Pensamos también que una redistribución de la riqueza que favorezca a las masas populares sería más que deseable. Así mismo, compartimos la idea de elevar la productividad de los recursos naturales. Sin embargo, consideramos que estos postulados, que en buena medida compartimos, parecen difíciles de alcanzar en el contexto del modo de producción capitalista, podrían ocurrir en un modo de producción diferente, en el que existiera una administración planificada de las cuestiones antes analizadas, pero entrar en esa discusión nos llevaría a otros terrenos de la teoría económica. De tal suerte, expresamos que consideramos adecuados tales principios de la economía ecológica, pero que mantendremos los postulados y elementos sobre los que gira nuestra investigación, esto es, creemos que en este momento histórico la mejor forma de combatir al calentamiento global es mediante la inversión en nuevas técnicas, ya sean maquinizadas o no, que permitan reducir la intensidad energética en los distintos procesos productivos y distributivos.

Una vez que hemos presentado todo lo anterior, resulta adecuado ofrecer los datos que muestran las regularidades empíricas del fenómeno para el periodo de estudio, con ello podremos observar de forma más clara algunas relaciones que ya hemos planteado aquí, además de que tendremos más elementos que nos permitan formar un juicio sobre las cuestiones teóricas que veremos en el capítulo 3.

## **CAPÍTULO 2. REGULARIDADES EMPÍRICAS DE LA RELACIÓN CRECIMIENTO-CONSUMO DE ENERGÍA-EMISIONES DE CO<sub>2</sub>.**

Dado que hasta este punto hemos mostrado un breve marco histórico de la relación entre crecimiento económico, consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub>, ahora ofrecemos al lector una presentación del comportamiento de ciertos parámetros relevantes en el estudio de la relación entre las tres variables antes mencionadas. Se partirá de un análisis estadístico muy general de fenómenos de los que históricamente se ha hablado en el capítulo precedente, y que son de vital importancia para los fines de este texto, pasando en un segundo momento a un análisis más puntual de un grupo de economías seleccionadas con el fin de mostrar ciertas relaciones globales referentes al fenómeno de la potenciación de las emisiones de CO<sub>2</sub> en los últimos años.

### **2.1. Presentación de diversos datos a estudiar.**

Para realizar el análisis empírico se utilizarán distintos datos a nivel global. Se cuenta con series de datos del Banco Mundial para 209 países referentes a: consumo de energía fósil, PIB, emisiones de CO<sub>2</sub>, PIB por unidad de energía, consumo de energía primaria, participación de los distintos sectores en la economía, etc. Además, se cuenta con bases de datos muy pormenorizadas de las grandes petroleras privadas del mundo, entre ellas British Petroleum y Exxon Mobile; así como estudios y bases de datos de organismos especializados en emisiones de carbono y cambio climático, como el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), entre otros. Otra fuente de información muy importante tanto para datos propiamente económicos como referentes al cambio climático son las Extended Penn World Tables, una pormenorizada base de datos conjuntada por el investigador brasileño Adalmir Marquetti que abarca cuentas nacionales de muy variados sectores de más de 150 países. Se hablará principalmente de consumo energético, su composición y participación regional; contribución de las distintas regiones globales a la emisión de CO<sub>2</sub>; eficiencia energética; crecimiento económico; e intensidad energética, que es el concepto con el que se inicia.

La importancia del estudio de la intensidad energética radica en que es un indicador que nos muestra que tanta energía (y por tanto combustibles) se requiere para generar una unidad de producto. Puede decirse que es una forma de medir la eficiencia energética, pues habrá un mayor grado de eficiencia mientras menos energía se requiera para generar una unidad del PIB.

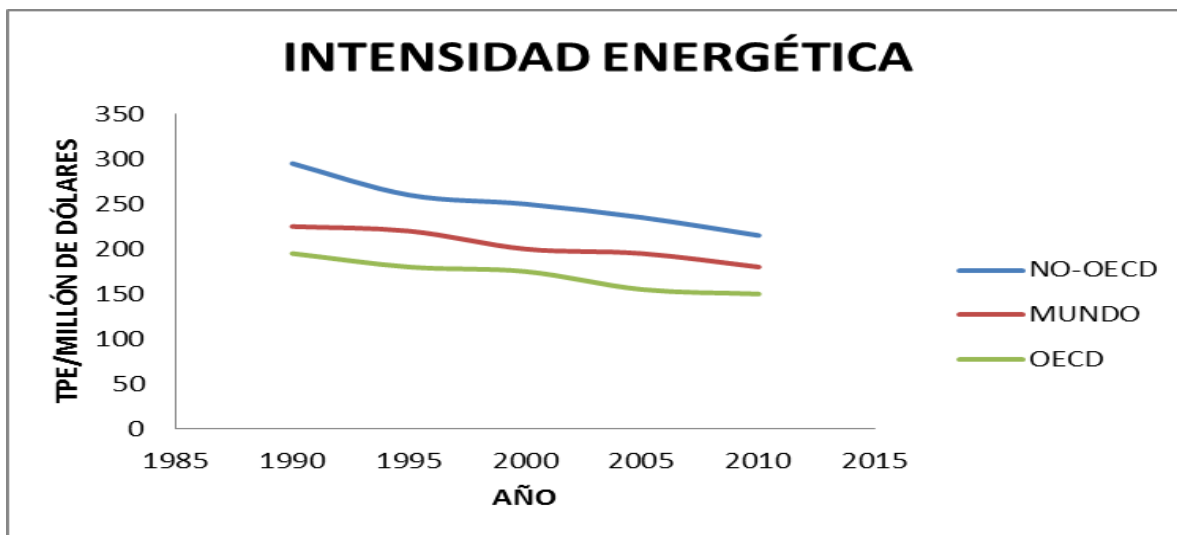
De acuerdo al World Energy Council (WEC) Europa occidental es la región del mundo con una menor intensidad energética (uso de energía primaria por unidad de PIB), contra el grupo al que denomina CIS (Commonwealth of Independent States, que incluye a los antiguos



países de la URSS) que tiene una intensidad energética tres veces mayor a la de la Europa del oeste. Las regiones con intensidades más cercanas a Europa son OECD Asia-Pacífico, India y América Latina con aproximadamente un 10% más, mientras que otros países asiáticos y Norteamérica se encuentran sobre el promedio mundial con un 30% más que Europa<sup>12</sup>. Este parámetro es de gran importancia debido a que relaciona al uso de energía con el crecimiento económico, así, nos dice cuánta energía consumimos en producir los bienes que satisfacen nuestras necesidades o, también, cuánto nos cuesta en términos del stock energético del planeta el crecimiento de la economía mundial cada año. De esa forma, si sabemos cuánto nos cuesta en términos de energía la producción, y sabemos traducir esa energía a emisiones de CO<sub>2</sub>, podemos transformar ese costo energético de la producción a su costo en términos de concentración de CO<sub>2</sub>.

De acuerdo a datos de British Petroleum desde 1990 y al menos hasta 2010 los niveles de intensidad energética en el mundo, tanto en países OECD como no OECD, han venido descendiendo aceleradamente, aunque los países no-OECD mantienen un nivel mayor en alrededor de 1.5 veces respecto a los OECD. Esto indica que los países más ricos son más eficientes en el uso de energía. La gráfica 9 muestra el comportamiento de ambos bloques respecto al mundo.

**GRAFICA 9. INTENSIDAD ENERGÉTICA, 1990-2010**



FUENTE: Elaboración propia con datos del BP Statistical Review of World Energy 2011. TPE: Toneladas de Petróleo Equivalente.

La gráfica indica la intensidad energética media mundial para el periodo 1990-2010, así como el valor promedio anual de los dos bloques ya mencionados. Esta intensidad energética es expresada en toneladas de petróleo equivalente (TPE) utilizadas por cada millón de dólares constantes de 2005 de Producto Interno Bruto (PIB) generado.

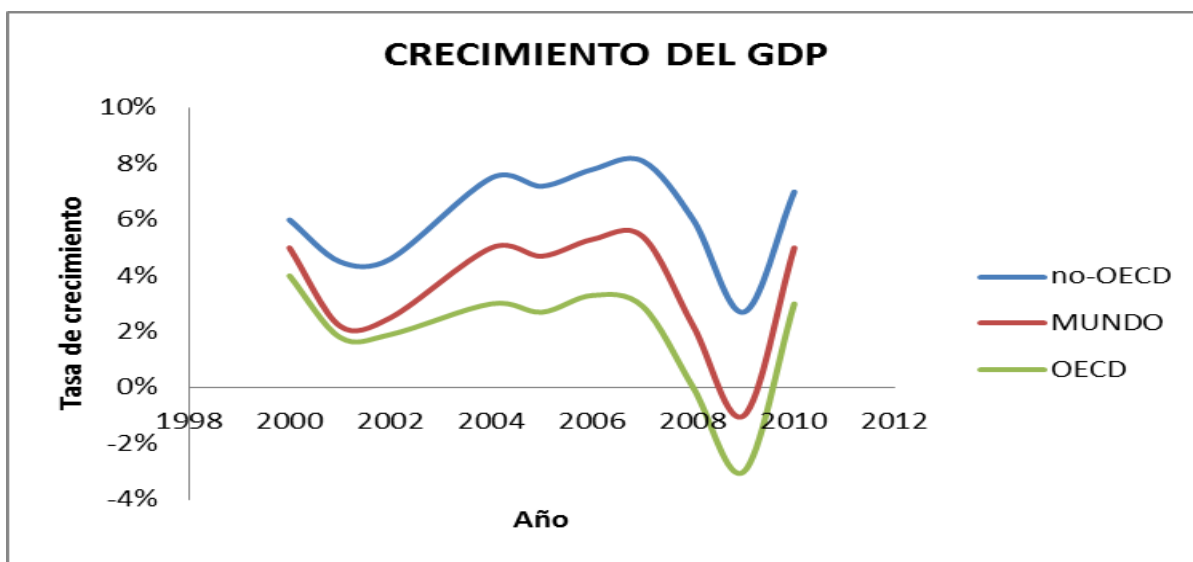
<sup>12</sup> Energy Efficiency WEC

El hecho de que la intensidad energética sea mayor en los países no-OECD se debe a factores como la estructura económica o bajos precios de los combustibles. Ejemplo del segundo factor son Venezuela, Arabia Saudita e Irán, donde los bajos precios internos de los derivados del petróleo estimulan un alto consumo de ellos, además de inhibir la eficiencia energética debido a la gran cantidad de hidrocarburos con la que se cuenta.

Países como Francia o Alemania tienen bajos índices de intensidad energética debido a que cuentan con escasas fuentes de energía, por ello sus gobiernos han buscado implementar políticas de ahorro energético.

La intensidad energética es fundamental en un contexto global en el que se pretende tener crecimiento económico ahorrando energía y combatiendo el calentamiento global. Es necesario tener en cuenta que la existencia de crecimiento económico es un elemento central en el desarrollo de la humanidad, por ello es imposible pensar en un mundo con crecimiento cero o estancado, y para que esto ocurra sin seguir alimentando al efecto invernadero, es necesario un uso más eficiente de los combustibles. En la gráfica 10 se muestra, con datos de BP, el crecimiento económico mundial, así como el de países OECD y no-OECD:

**GRÁFICA 10. COMPORTAMIENTO DEL PIB, 2000-2010**

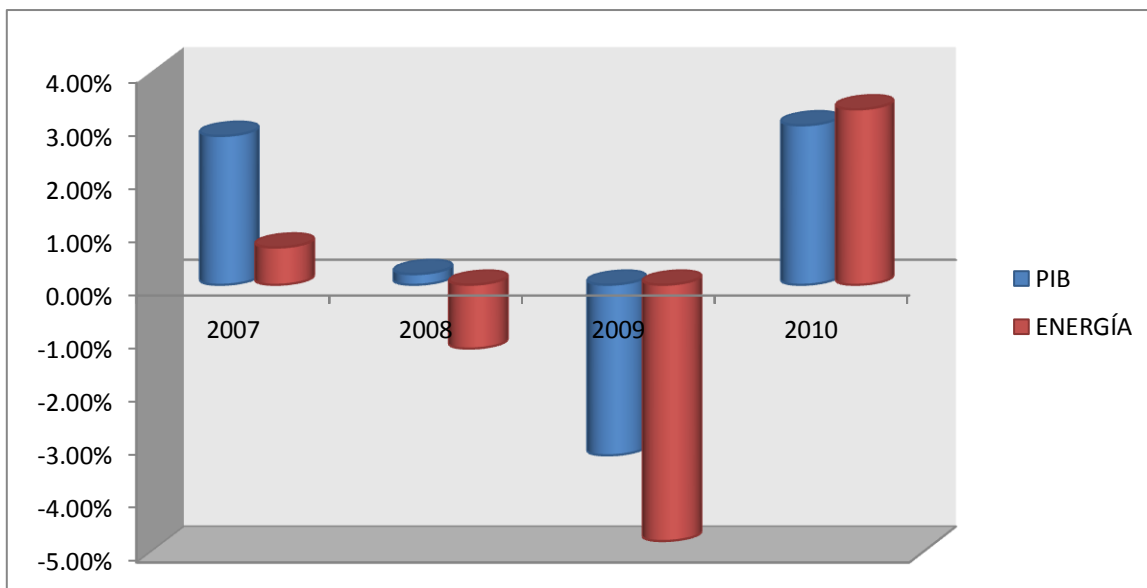


FUENTE: Elaboración propia con datos del BP Statistical Review of World Energy 2011.

Como lo muestra la gráfica 10, a pesar de que al menos en la serie de los países no-OECD existe una tendencia positiva en el desempeño de las economías, la intensidad energética no ha detenido su tendencia decreciente a nivel global, lo que habla de una mayor eficiencia energética en este grupo de países. Además, como muestran las gráficas 11 y

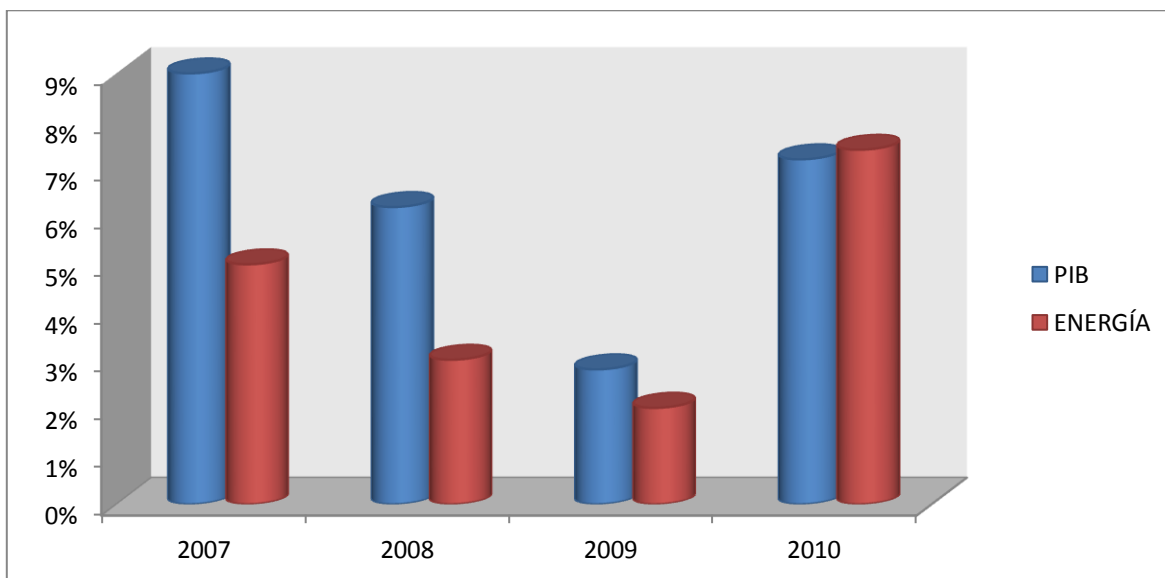
12, la dinámica del crecimiento económico y el uso de energía son muy distintos en países ricos y pobres.

**GRÁFICA 11. CRECIMIENTO DEL PIB Y DEL USO DE ENERGÍA EN PAÍSES OCDE, 2007-2010.**



FUENTE: BP STATISTICAL REVIEW 2011.

**GRÁFICA 12. CRECIMIENTO DEL PIB Y DEL USO DE ENERGÍA EN PAÍSES NO-OCDE, 2007-2010**



FUENTE: BP STATISTICAL REVIEW 2011.

Las gráficas anteriores muestran que los países no-OECD, entre los que destacan los BRIC por su dinamismo, han tenido un mejor desempeño en sus economías, lo que se refleja en un crecimiento anual en su consumo de energía en el periodo 2007-2010, lo que también

influye en el hecho de que las emisiones no hayan disminuido significativamente en el periodo de recesión 2008-2009. Mientras, las naciones pertenecientes a la OECD han tenido un desempeño más pobre en los últimos 4 años, que también se refleja tanto en un débil crecimiento de su consumo energético en promedio (negativo en 2008 y 2009), como en sus emisiones.

Visto lo anterior parece claro por qué las emisiones de CO<sub>2</sub> no dejaron de crecer en los últimos años a pesar de una tendencia claramente negativa de la intensidad energética global (gráfica 9) y la recesión de 2008-2009, y es que el ritmo de consumo energético en los países más intensivos en energía (no-OECD) apenas fue afectado y no dejó de crecer en los últimos 4 años. Pero, ¿qué otros elementos generan este comportamiento?

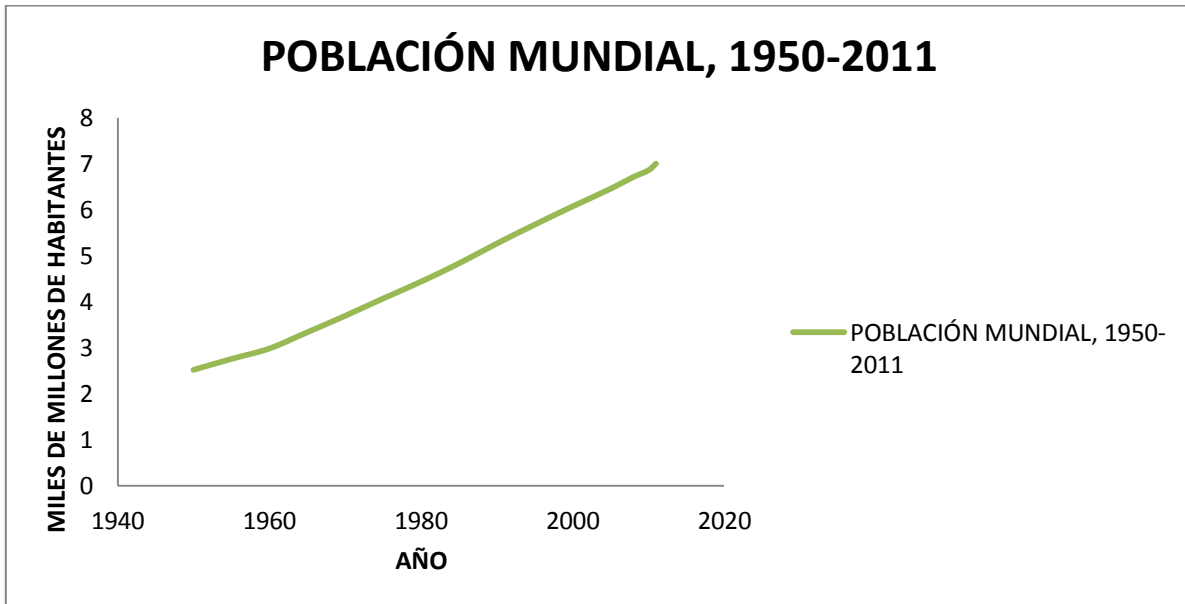
Una de las posibles respuestas a porqué tienen este comportamiento las emisiones si ha disminuido la intensidad energética y hubo una importante recesión en 2008-2009, además del nivel de consumo energético, es tanto el crecimiento demográfico como la composición del consumo de energía primaria a nivel mundial:

**TABLA 3. POBLACIÓN MUNDIAL.**

<b>AÑO</b>	<b>NÚMERO DE HABITANTES</b>
1950	2,518,630,000
1955	2,755,823,000
1960	2,982,142,000
1965	3,334,874,000
1970	3,692,492,000
1975	4,068,109,000
1980	4,434,682,000
1985	4,830,978,000
1990	5,263,593,000
1995	5,674,328,000
2000	6,070,581,000
2005	6,453,628,000
2008	6,709,132,764
2010	6,854,196,000
2011	7,000,000,000

FUENTE: DATOS DE ONU.

**GRÁFICA 13. POBLACIÓN MUNDIAL, 1950-2011**

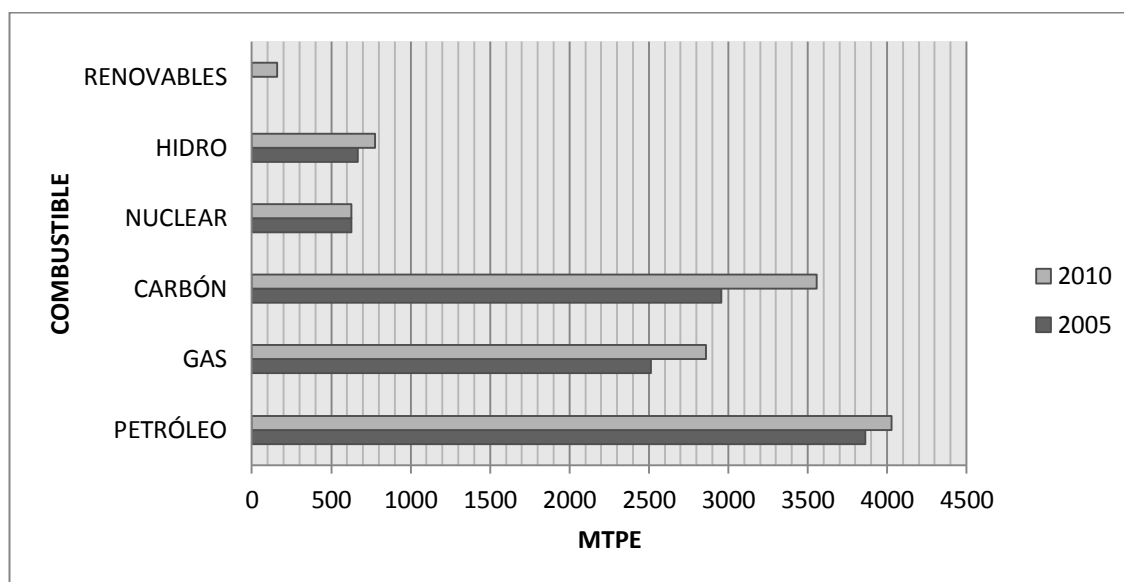


FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE ONU.

Es claro, como lo indica la gráfica 13, que la población mundial tiene un ritmo de crecimiento acelerado, lo que se traduce en un mayor consumo de energía derivado de una creciente demanda de bienes y servicios. Cabe mencionar que es en los países en desarrollo en donde la población crece más rápidamente, es significativo el impacto en las emisiones de CO<sub>2</sub> porque son los lugares donde la estructura productiva es menos eficiente en el uso de energía, además de que porciones significativas de la población utilizan domésticamente fuentes de energía con altos índices de emisiones de CO<sub>2</sub>, tales como el carbón o la leña.

Así, es de interés hablar sobre la composición del uso de energía primaria global, por ello se presentan a continuación la gráfica 14:

**GRAFICA 14. COMPOSICIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA GLOBAL, 2005 Y 2010**



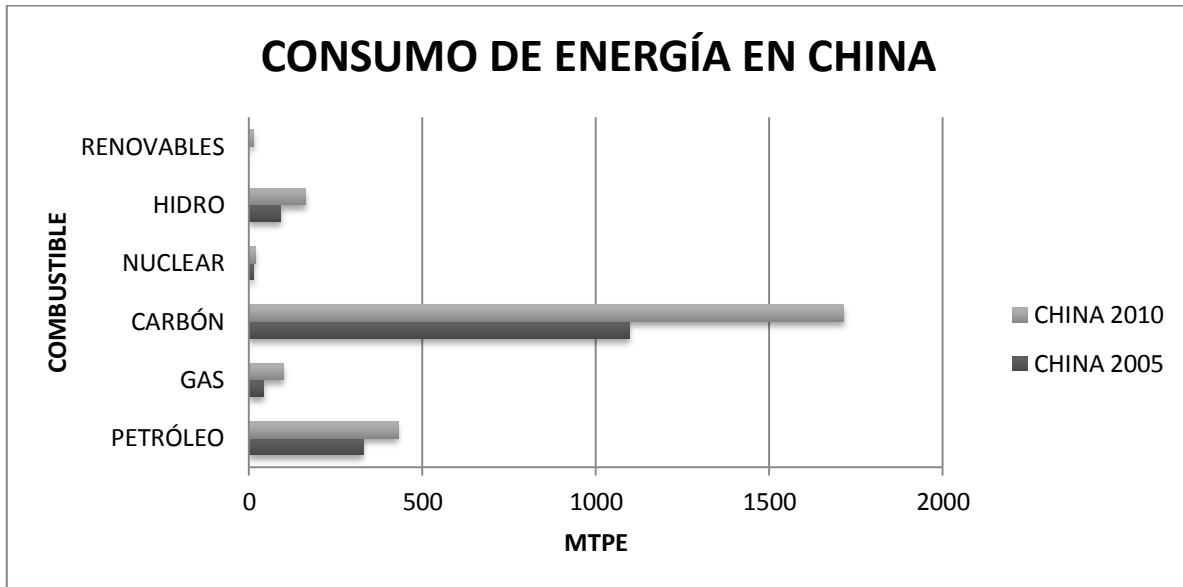
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE BP STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY 2011.

Como se observa en la gráfica anterior, de 2005 a 2010 las cantidades de petróleo, gas, nuclear e hidro han aumentado muy poco, sin embargo, el carbón se ha colocado como la fuente de energía primaria cuyo consumo ha crecido más significativamente, en más de un 20%, pasando de 2,957 millones de toneladas de petróleo equivalente (MTPE) a 3555.8. Hay que recordar que dentro de los combustibles fósiles el carbón es el que tiene un mayor índice de emisiones de CO<sub>2</sub>, esto es, libera una mayor cantidad de CO<sub>2</sub> por cada unidad equivalente que entra en combustión en relación a los otros combustibles fósiles..

## **2.2. El fenómeno China.**

Una parte significativa de este crecimiento en el consumo de carbón se debe a la demanda china de este combustible. Como de unos años a la fecha el nivel de vida de decenas de millones de chinos se ha elevado, esto impacta en un aumento en la demanda de ciertos productos y servicios. Uno de ellos es la generación eléctrica, que en este país es producida principalmente por carboeléctricas. Así, la gráfica 15 ofrece un panorama del consumo energético chino en los años 2005 y 2010, se presenta dicha gráfica para hacer evidente el crecimiento de la demanda energética de China.

**GRÁFICA 15. COMPOSICIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN CHINA, 2005 Y 2010**



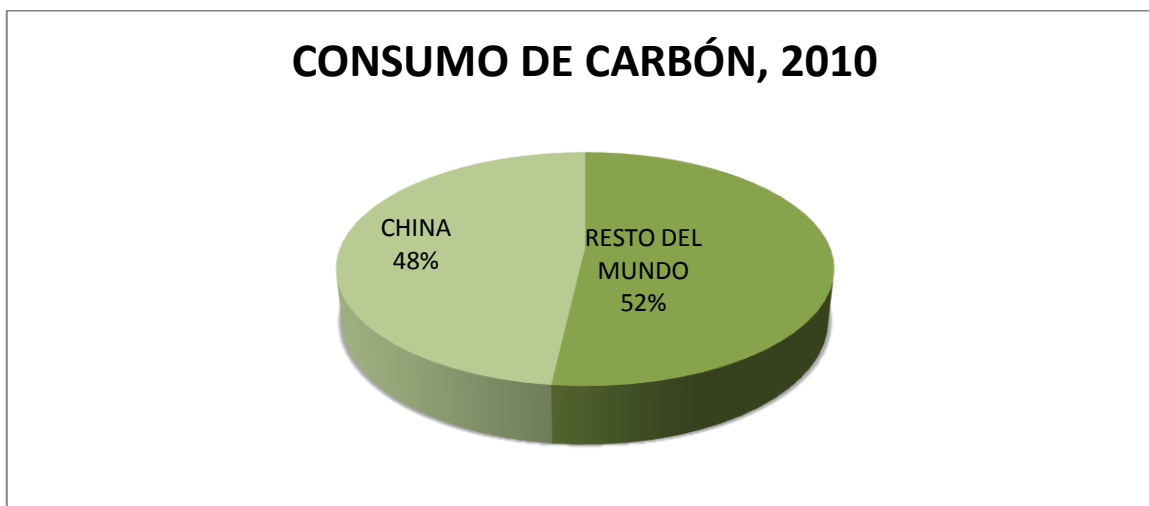
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE BP STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY 2011.

Como se puede ver en la gráfica 15, el consumo de carbón chino ha crecido tanto en términos absolutos como en relativos pasando de 69.9% a 70.5% de su consumo total de energía primaria. Esto es relevante pues se puede observar que en 2010 el consumo de carbón chino fue más del 48% del total mundial, como indican la tabla 4 y la gráfica 16 que se presentan enseguida.

**TABLA 4. CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA EN CHINA Y EL RESTO DEL MUNDO, 2010.**

COMBUSTIBLE	RESTO DEL MUNDO	CHINA
PETRÓLEO	3599.5	428.6
GAS NATURAL	2760	98.1
CARBÓN	1842.3	1713.5
NUCLEAR	609.5	16.7
HIDRO	612.5	163.1
RENOVABLES	146.5	12.1
MILLONES DE TONELADAS DE PETRÓLEO EQUIVALENTE		
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE BP STATISTICAL REVIEW, 2011		

**GRÁFICA 16. PARTICIPACIÓN DEL CONSUMO DE CARBÓN CHINO EN EL MUNDO, 2010.**



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE BP STATISTICAL REVIEW, 2011.

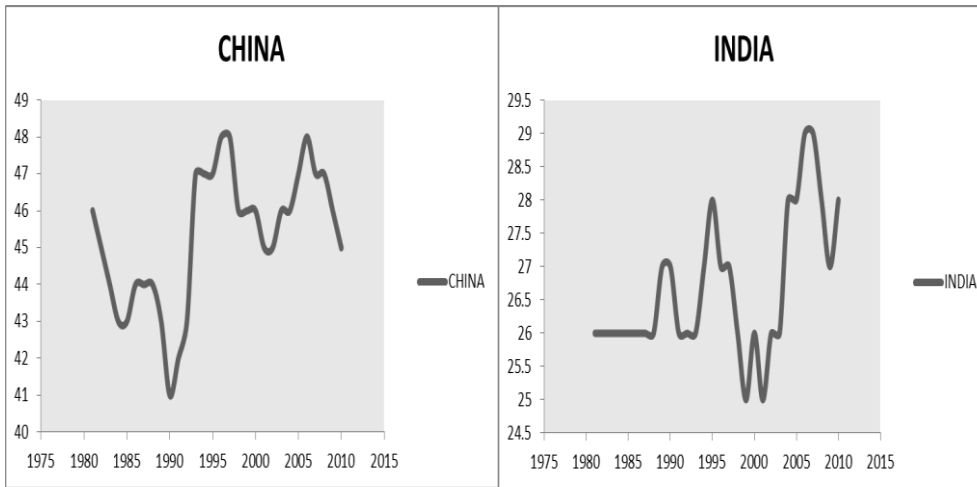
La tabla 4 nos indica que el consumo chino de petróleo es relativamente significativo a nivel mundial, así como que en energías con bajo índice de contaminación como la nuclear o renovables la participación de China es insignificante. Sin embargo, en el consumo de carbón, la demanda china es casi igual a la de todos los otros países del mundo, como lo muestra la gráfica 16.

Resulta evidente que una de las principales razones por las que el ritmo de crecimiento de emisiones de CO<sub>2</sub> no se ha detenido, a pesar de una menor intensidad energética global y una fuerte recesión de la actividad económica para 2007 y 2008, es el constante crecimiento en el consumo de fósiles, destacando el caso del carbón, y sobre todo el consumo chino que prácticamente es la mitad del total global. Más aún, las previsiones de la Agencia Internacional de Energía indican que se espera un incremento anual promedio en la demanda energética primaria china de 2.1% en el periodo 2008-2035, lo que representa un incremento total en el periodo de 75%.

Si podemos comparar a China con otro país relativamente similar, este es India. Son los dos países más poblados del mundo y están experimentando ritmos de crecimiento relativamente parecidos. Es importante hacer notar que ambos son de los pocos países en el mundo en los que la participación del sector industrial en la economía ha venido creciendo, lo que es importante señalar si sabemos que la estructura económica de un país está directamente relacionada con su nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>. Para mostrar este crecimiento de la industria en ambos países, se presenta a continuación la gráfica 17:



**GRÁFICA 17. PARTICIPACIÓN DEL SECTOR INDUSTRIAL EN EL PIB (%), 1981-2010**



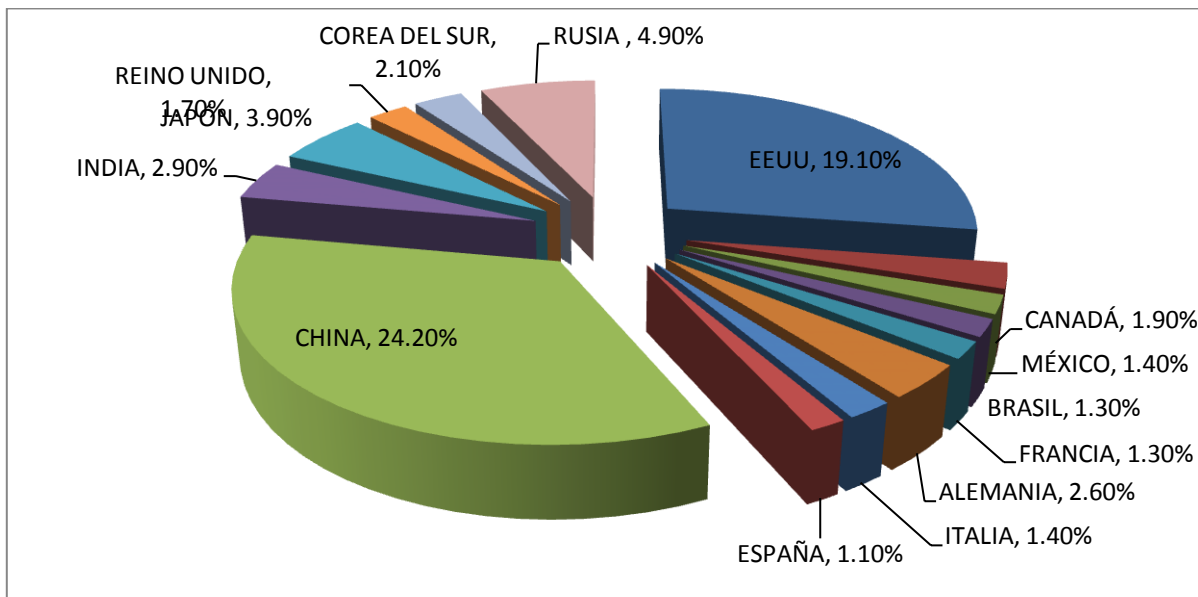
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE BANCO MUNDIAL.

Aunque ambos han tenido un ritmo de crecimiento acelerado en últimos años, para 2010 la cantidad de energía primaria consumida en la India fue de casi una quinta parte de lo que consumió China. Es por ello que a pesar de tener características comunes (gran tamaño de población o tasas de crecimiento muy altas), las emisiones de India representan sólo un 2.9% del total mundial, mientras las chinas equivalen a un 24.2%<sup>13</sup>.

De esta forma la gráfica 18 que se presenta enseguida demuestra que el hecho de que la economía China sea altamente intensiva en energía debido a su composición sectorial, se refleja en la cantidad de CO<sub>2</sub> que emite a la atmósfera.

<sup>13</sup> BP Statistical Review of World Energy 2011.

**GRÁFICA 18. PORCENTAJE DE LAS EMISIONES MUNDIALES DE CO2 DE LAS 14 ECONOMÍAS MÁS GRANDES DEL MUNDO, 2009.**



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE BP (2010).

Como se observa en la gráfica 18, China es por mucho el país que contribuye con el mayor nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> en el mundo, seguido por EEUU y Rusia en tercer lugar, es importante hacer notar que el país asiático guarda una proporción de prácticamente 5 a 1 con el tercer país con mayor índice de emisiones de CO<sub>2</sub>, o sea, Rusia.

La composición del PIB chino está caracterizada por una fuerte participación del sector industrial, el que a su vez está mayormente formado por industrias intensivas en energía tales como el acero, el cemento, el aluminio, el vidrio, la generación de electricidad a partir de carbón, etc. A su vez, la demanda de los bienes de esas industrias proviene del auge de sectores como el de la construcción o la infraestructura.

A diferencia de los países más avanzados donde el sector servicios asciende a más del 70% del PIB, en China es de menos del 50%. Para 2008 el sector servicios de EEUU generaba el 77% del PIB mientras el sector industrial apenas el 21%; para el mismo año en China el sector servicios generó el 42% del PIB mientras que el industrial el 47%. Sólo por este hecho, la economía china consume más energía, aunque su eficiencia vaya en aumento (BANCO MUNDIAL: 2011). Para hacerlo más significativo, mientras la industria manufacturera consume alrededor del 70% de la energía en China, el sector servicios sólo consume el 10%.

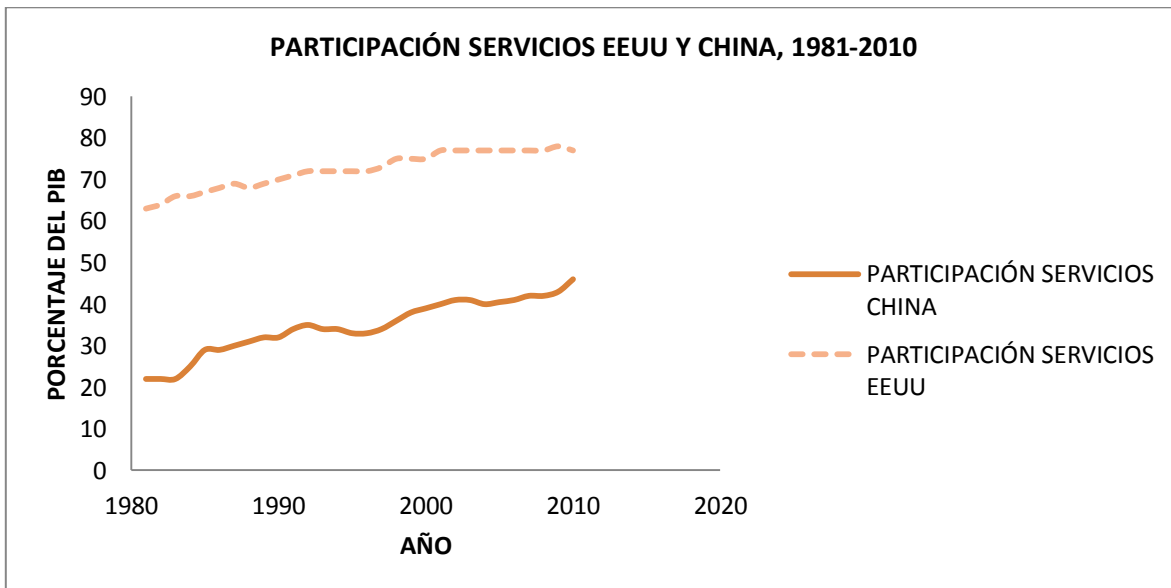
Así, a continuación se presentan la tabla 5 y la gráfica 19, que hacen un comparativo de la participación del sector servicios en el PIB entre EEUU y China.

**TABLA 5. PARTICIPACIÓN DEL SECTOR SERVICIOS EEUU Y CHINA, PORCENTAJE DEL PIB (%), 1981-2010.**

AÑO	1981	1985	1990	1995	2000	2005	2010
CHINA(%)	22	29	32	33	39	40.5	46
EEUU(%)	63	67	70	72	75	77	77

FUENTE: DATOS DEL BANCO MUNDIAL.

**GRÁFICA 19. PARTICIPACIÓN EN EL PIB SECTOR SERVICIOS EEUU Y CHINA, 1981-2010**



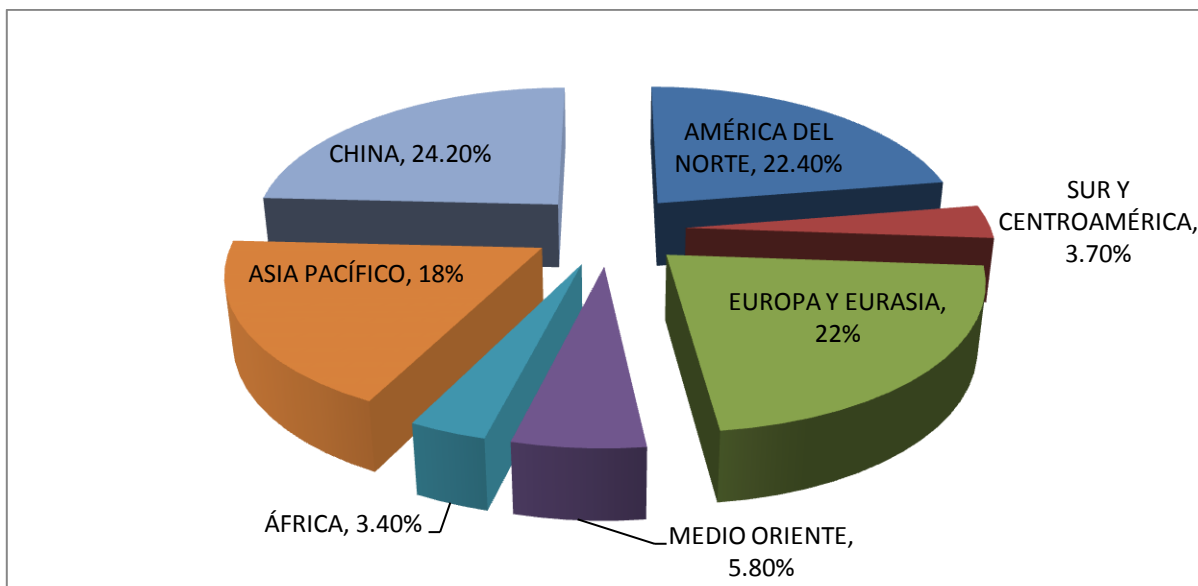
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE BANCO MUNDIAL.

Como se observa en la gráfica anterior, si bien la participación de los servicios en la economía China ha aumentado más rápidamente que en EEUU en el periodo 1981-2010, el sector servicios chino aún se encuentra lejos de la importancia interna que tiene en EEUU. Hay que destacar que en general el sector servicios tiene un índice de emisiones bajo en relación al industrial, y hasta aquí hemos evidenciado que la industria contribuye con una buena proporción del PIB en China, mientras que la participación de los servicios aún dista de los niveles de los países más avanzados. Así, podemos decir que la estructura de la economía de China influye directamente en su nivel de consumo de energía primaria y de emisiones, y dada la gran importancia relativa que hemos visto tienen sus emisiones a nivel mundial, tal estructura también impacta de forma significativa en el total de emisiones de CO2 globales.

Ahora bien, ya se ha mostrado lo significativo de las emisiones de China en relación a otros países, sin embargo, incluso si se compara a China con bloques regionales, no hay

uno sólo que alcance al país asiático en cuanto a la cantidad de CO<sub>2</sub> que emite hacia la atmósfera. Para ejemplificar lo anterior, se muestra ahora la gráfica 20, en la que se contrastan las emisiones Chinas con las de 6 grandes bloques regionales.

**GRÁFICA 20. PARTICIPACIÓN EN EMISIONES DE CO<sub>2</sub> GLOBALES DE 6 GRANDES BLOQUES REGIONALES Y CHINA, 2009.**



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE BP (2010).

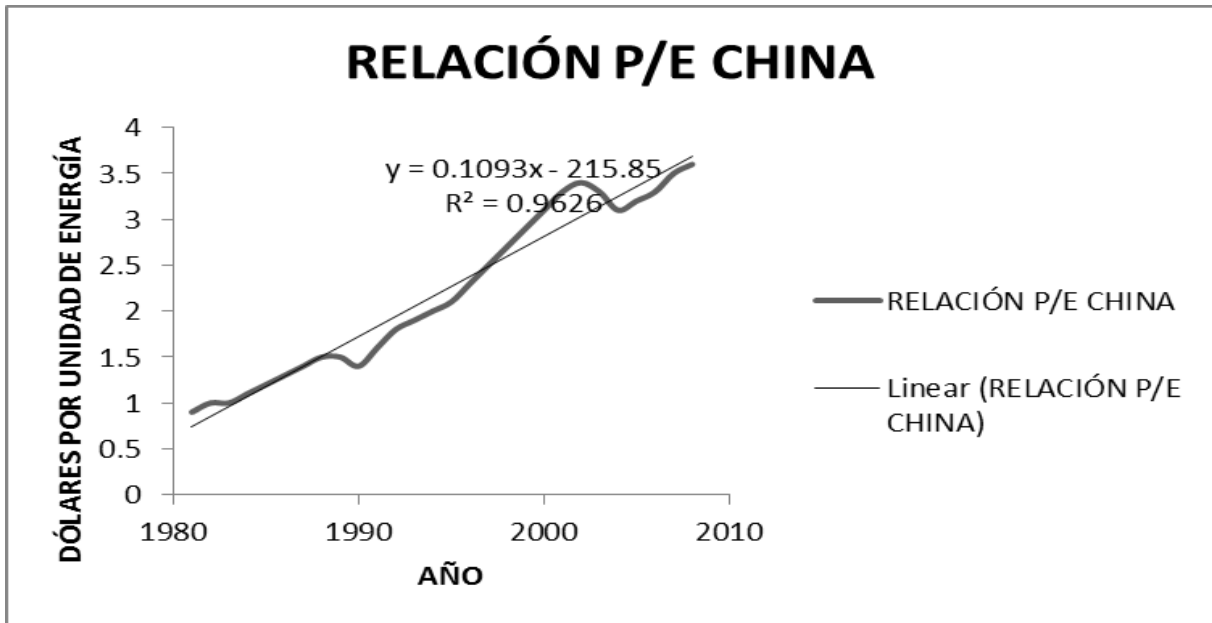
Es evidente la importancia que tiene China en cuanto al total de emisiones a nivel global, ello a pesar de que, como se ve en la gráfica 21 que se elaboró en base a los datos de la tabla 6, ha incrementado su eficiencia energética, esto es, el producto que genera por cada unidad de energía utilizada:

**TABLA 6. DÓLARES CONSTANTES DE 2005 GENERADOS POR CADA UNIDAD DE ENERGÍA EQUIVALENTE, 1981-2008.**

AÑO	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
DLS./ENER.	0.9	1	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.5	1.4
AÑO	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
DLS./ENER.	1.6	1.8	1.9	2	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1
AÑO	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008		
DLS./ENER.	3.3	3.4	3.3	3.1	3.2	3.3	3.5	3.6		

FUENTE: DATOS DE BANCO MUNDIAL.

**GRÁFICA 21. RELACIÓN PRODUCTO/ENERGÍA EN CHINA, 1981-2008.**



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE BANCO MUNDIAL.

Lo que la gráfica anterior dice es que en promedio en China se generaban .9 dólares constantes de 2005 en Paridad de Poder Adquisitivo (PPA<sup>14</sup>) por kilogramo equivalente de petróleo en 1981, mientras que en 2008 se generaron 3.6, lo que indica que China generó cuatro veces más producto por unidad de energía en 2008 que en 1981. Aunque es un avance importante, aún se encuentra lejos de niveles como los de Alemania de 8.3 o de Japón de 8.1 en 2008 (ambos son dólares constantes de 2005 en PPA)<sup>15</sup>. El valor de la R<sup>2</sup> de .96, refuerza el hecho de la existencia de una tendencia creciente en la relación producto-energía de China.

Así como la eficiencia energética es importante para determinar el ritmo de crecimiento de emisiones de CO<sub>2</sub>, también lo es la composición sectorial (como se vio antes) y el tipo de combustibles que se utilizan. Haciendo un intento por disminuir la dependencia de energía fósil, muchos países han explorado la generación de otro tipo de carburantes. En ocasiones esta exploración ofrece resultados que parecen ser más perjudiciales que el mantener a los fósiles como principal fuente energética (como el caso del etanol, que al producirse de cultivos intensivos en uso de suelo, eleva los precios de algunos alimentos). Pero incluso entre los de origen fósil hay diferencias, pues una unidad equivalente de

<sup>14</sup> La Paridad de Poder Adquisitivo permite la comparación en la producción de dos o más países eliminando las distorsiones generadas por sus niveles de precios. Por ejemplo, sumamos todos los bienes y servicios producidos en China, pero no los cuantificamos en base a los precios que tienen en su país, sino a los precios que en términos constantes tuvieron en ese año en EEUU.

<sup>15</sup> Datos del Banco Mundial, 2011

carbón contamina significativamente más que una unidad equivalente de gas, por ejemplo.

### **2.3. ¿La Nueva División Internacional del Trabajo ha Potenciado las Emisiones de CO<sub>2</sub>?**

Contrastando los patrones de comportamiento del periodo de inicio y del final de este análisis (1980 y 2010) de elementos como el proceso de producción, el comercio internacional, la inversión extranjera, los flujos de capitales, entre otros, este análisis asume la existencia de ciertas generalidades. En primer lugar, se parte del hecho que sugiere la existencia de una nueva división internacional del trabajo, la que se ha venido gestando desde la década de los 80's como resultado de la transformación en el sistema productivo derivado de lo que se denominó *las nuevas tecnologías basadas en la información y el conocimiento*. Dichas nuevas tecnologías han permitido la relocalización de las actividades productivas a escala global, dependiendo de dónde se encuentren mejores condiciones para un desarrollo más rentable de estas.

Por ejemplo, actividades del sector secundario, relacionadas con la manufactura, extracción y transformación de recursos del suelo y subsuelo, han sido mudadas a países en donde el menor nivel salarial, bajos niveles de impuestos o localización geográfica, permiten elevar la competitividad, entendida como el abatimiento de costos que permite un precio relativamente menor, de lo que estas actividades producen.

En el caso del sector servicios, las actividades de administración, diseño de productos y posesión de marcas, se concentran en los países más avanzados en cuestiones tecnológicas, de ingeniería y de organización y dirección de los procesos han tendido a concentrarse en las economías más desarrolladas, pues estas actividades generan mayores ganancias y de algún modo aseguran el mantenimiento del estatus de estas economías.

Así, se puede hablar de una transferencia global de capacidades productivas, desde países desarrollados (como EEUU, los de Europa Occidental, y Japón), hacia países *seguidores*<sup>16</sup> como los de Asia Oriental y Asia Pacífico. Esto ha permitido la existencia de una red o cadena global en la que ocurre una segmentación de la producción, esto es, una nueva división internacional del trabajo. Tal segmentación se encuentra caracterizada por una jerarquización de las actividades productivas, dejando a las que tienen que ver con el diseño y la marca en las potencias centrales pues, como mencioné antes, son las que generan una mayor ganancia. Mientras que la manufactura, simple o compleja, es mudada significativamente a países en los que resulta más competitivo su desarrollo, pues

---

<sup>16</sup> Entiéndase aquellos que tienen una actividad económica importante, pero que aún guardan distancia en cuanto al desarrollo con los países más avanzados.

aunque son actividades que generan ganancias, estas no son del nivel de las generadas en el primer segmento mencionado, así, las multinacionales se valen del offshoring o outsourcing internacional (subcontratación) para mudar las partes del proceso productivo menos a rentables a países en donde tendrán un menor costo. Quedando en tercer lugar todas las actividades que tienen que ver con la distribución, que se eficienta en un contexto de creciente y acelerada interconexión global. Y dejando en último lugar a las actividades de venta y post-venta. En un principio, los países con características de manufactureros eran los de Asia Oriental (Malasia, Taiwán, Singapur y Corea del Sur), pero de acuerdo a la evidencia empírica que más adelante se mostrará, su actividad se ha ido terciarizando sin dejar de tener una significativa participación del sector industrial. La evidencia muestra que durante la última década China se ha convertido en la *fábrica global*, como lo indica la participación de la industria en su PIB, su consumo de energía, el nivel de sus emisiones (que, en su calidad de país emergente, indica una alta actividad económica intensiva en energía), etc.

La nueva división internacional del trabajo necesariamente tiene un impacto en la composición global del uso de energía primaria<sup>17</sup>, y con ello influye directamente en las emisiones de CO<sub>2</sub>, pues aunque se muden actividades con alta intensidad energética de los países más desarrollados, estos mantienen elevadas tasas de emisiones debido a su propio desarrollo (consumo energético residencial, redes de transporte, aunado a que no toda la capacidad industrial es mudada, sino sólo una parte de esta), mientras que los países a los que llegan estas actividades con alta intensidad energética tienden a tener una menor eficiencia energética debido al tipo de combustibles utilizados o al hecho de contar con tecnología menos eficiente, lo que evidentemente potencia sus emisiones de CO<sub>2</sub>. Este punto será reforzado en el análisis empírico más adelante.

Siendo consistentes con la idea de que hay una relación directa entre el crecimiento económico y la emisión de dióxido de carbono, resulta interesante analizar la participación de algunas economías en las emisiones de CO<sub>2</sub> en relación al tamaño de su PIB y a su estructura sectorial. Los países a analizar han sido seleccionados en función de 4 parámetros que me parecen fundamentales de acuerdo a la temática que tratamos: consumo de combustibles fósiles, emisiones de CO<sub>2</sub>, tamaño de su población y su nivel de producción. Así, tenemos a los siguientes países y regiones:

---

<sup>17</sup> La energía primaria es toda aquella que se obtiene directamente de las fuentes energéticas naturales, como el petróleo o el carbón. Hay energías secundarias que se obtienen de la transformación de esta energía primaria, por ejemplo, la electricidad que se genera a partir de la combustión de carbón o combustóleo

- Las siete economías más desarrolladas del mundo: el antiguo G7, es decir, el actual G8 antes de que se adhiriera Rusia (EEUU, Japón, Alemania, Francia, Canadá, Italia y Reino Unido).
- Países de Asia Oriental caracterizados por su intensa actividad manufacturera (Malasia, Singapur, Taiwán, Indonesia y Corea del Sur).
- Países BRIC: considerados como un conjunto de cuatro países con cierta similitud en su ritmo de crecimiento en la última década, el tamaño de su población y territorio, la posesión de recursos naturales (Brasil, Rusia, India y China)<sup>18</sup>.
- México: para poder analizar las regularidades de nuestro país respecto a los temas que se analizarán.

Aunque los anteriores son los países sobre los que se enfoca este breve análisis, no quiere decir que serán los únicos de los que se hablará. Pues en ciertas circunstancias, será necesario mostrar el comportamiento de otros países o bloques regionales con el fin de ilustrar adecuadamente o contrastar con las regularidades de las naciones seleccionadas.

El hecho de dividir al mundo en regiones, y trabajar más específicamente con los 17 países antes mencionados, facilitará la exposición del análisis, pues existen países subdesarrollados que como unidades individuales tienen un impacto muy bajo en las cuestiones a analizar, pero integrándolos en regiones su influencia es más significativa. Esta regionalización podrá ser muy general, por ejemplo, países OCDE y no-OCDE; o más específica, por ejemplo, por continentes o por bloques antes mencionados.

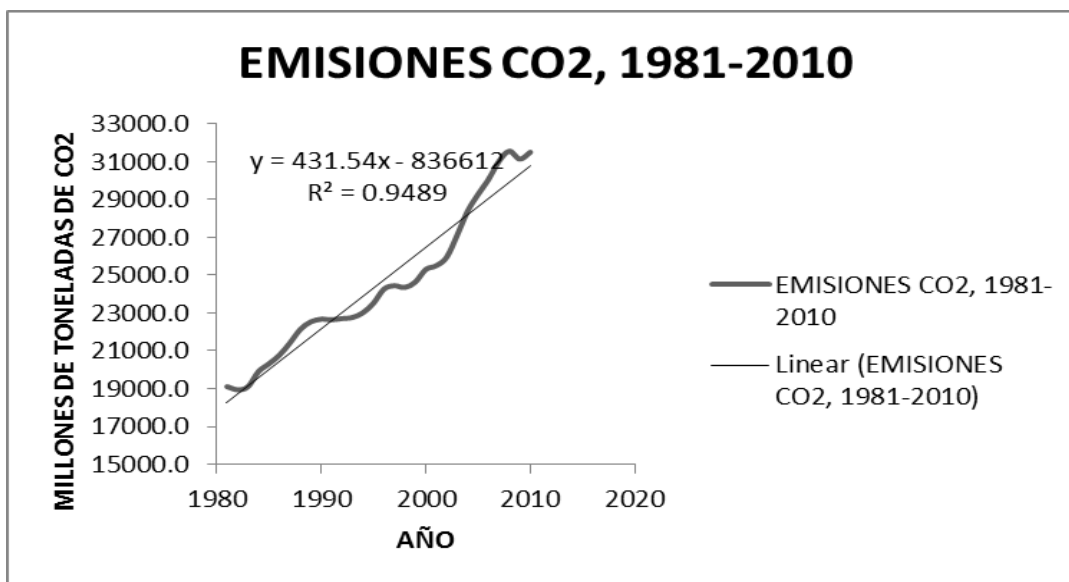
En los últimos 30 años las emisiones de CO<sub>2</sub> han tenido un crecimiento sostenido, como se muestra en la gráfica 22, con un promedio de razón de crecimiento de 431 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> anuales en el periodo. Ello a pesar de que han existido crisis de deuda en los ochenta, la crisis mexicana de 1994-1995, las de Rusia y Asia en 1997, la crisis del *dot-com* en 2001, y la crisis financiera global de 2008-2009.

---

<sup>18</sup> Preferí analizar a Rusia en este grupo, y por ello no hablar de G8 sino de G7 en los países más desarrollados, porque me parece que su comportamiento en los sectores a analizar está más relacionado al de los países BRIC que al de las economías más desarrolladas.



**GRÁFICA 22. EMISIONES DE CO<sub>2</sub> GLOBALES, 1981-2010 (millones de toneladas)**



FUENTE: ELABORADO CON DATOS DE BP STATISTICAL REVIEW, 2011.

**TABLA 7. EMISIONES DE CO<sub>2</sub> MUNDIALES, MILLONES DE TONELADAS 1981-2010.**

AÑO	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
CO <sub>2</sub>	19114.2141	18947.4323	19108.0483	19903.9051	20313.9678	20771.3352	21413.641	22131.5652	22535.87177	22673.67834
AÑO	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
CO <sub>2</sub>	22644.0735	22707.7364	22767.0409	23019.3856	23523.0811	24262.8268	24441.8304	24348.7159	24636.54355	25300.1721
AÑO	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
CO <sub>2</sub>	25500.2843	25949.8632	27105.4197	28379.5326	29270.4696	30054.4555	31022.623	31551.586	31129.8586	31500

FUENTE: DATOS DE BP STATISTICAL REVIEW, 2011.

#### 2.4. Consumo energético y Cambio Climático.

El protocolo de Kioto fue el primer gran intento a nivel global por combatir el calentamiento global mediante la mitigación en la emisión de gases de efecto invernadero, particularmente de CO<sub>2</sub>. Su objetivo más importante era la reducción en el crecimiento del consumo energético en un 1% anual, cuestión que dista mucho de lograrse pues ello implicaría un crecimiento de 4% anual de la relación producto por unidad de energía, cuando el promedio en el periodo 1990-2004 ha sido de 0.6% (Taylor: 2010).

En este momento vale la pena recordar las gráficas (7 y 8) mostradas al inicio de este capítulo referentes al crecimiento del PIB y al de consumo de energía, en ellas se muestra la relación directa que hay entre ambos parámetros, la cual es más marcada para los países no-OECD, entonces, tales gráficas son consistentes con el postulado de esta investigación acerca de que el nivel de actividad económica determina el consumo de

energía primaria. Dicho lo anterior, resulta adecuado observar el comportamiento tanto del consumo de energía primaria como de las emisiones en los países seleccionados para el periodo 1980-2010.

Como es posible ver en las tablas 8 y 9, así como en las gráficas 23 y 24, tanto China como Estados Unidos destacan por su consumo de energía primaria y por su nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>. China porque es la nueva fábrica global del mundo, y EEUU debido a tener el mayor PIB mundial, así como patrones de consumo interno que tienden al despilfarro energético.

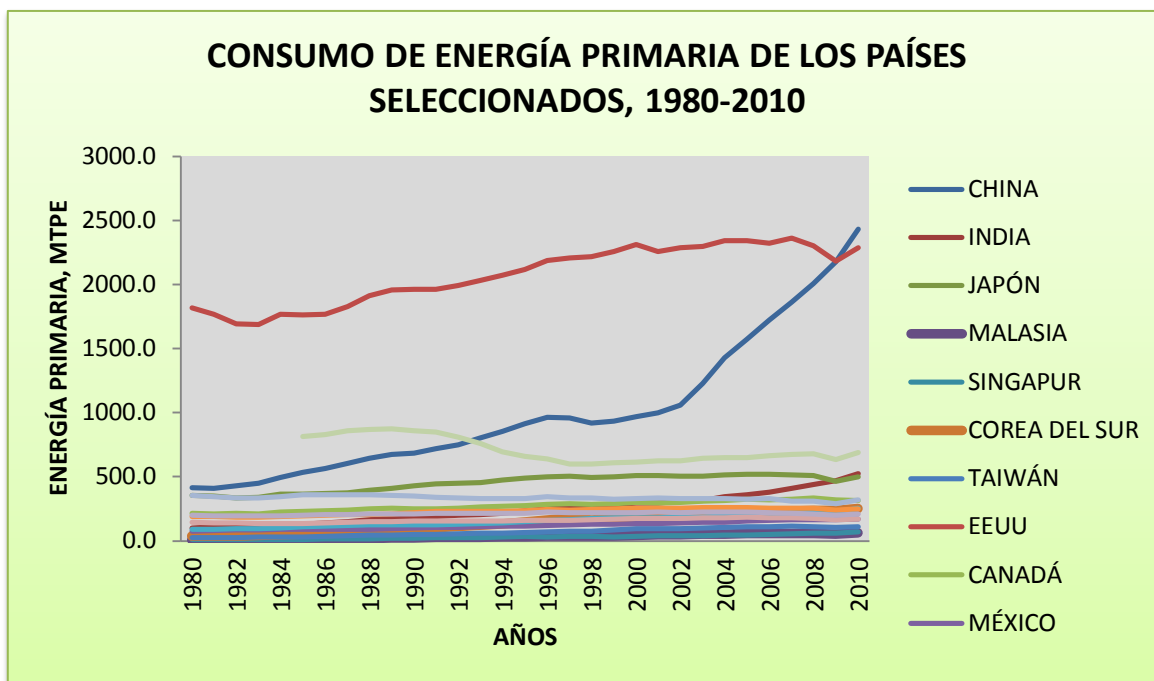
Cabe hacer la aclaración de que se elaboran los cuadros para ciertos años, debido a que el nivel tan alto de China y EEUU en ambas gráficas, hace que el comportamiento de los demás países no quede del todo claro, por lo que se ofrecen los datos al lector para una mejor lectura del fenómeno.

**TABLA 8. CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA PARA PAÍSES Y AÑOS SELECCIONADOS (MTPE), 1980-2010.**

	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010
<b>CHINA</b>	416.477	533.089	685.129	916.7406	967.251457	1572.21241	2432.2
<b>INDIA</b>	102.503905	132.663041	180.711469	235.990871	295.09498	362.187133	524.233414
<b>JAPÓN</b>	355.172164	367.589406	430.995138	488.851425	510.237278	519.678224	500.872157
<b>MALASIA</b>	9.472	16.342	24.149	32.8210295	45.3576364	55.9067041	62.9483102
<b>SINGAPUR</b>	9.509	12.041	23.252	33.313	35.037192	46.7203137	69.7972607
<b>COREA DEL S</b>	38.559	52.721	90.0407	147.049684	188.79556	221.536917	254.969227
<b>TAIWÁN</b>	27.7065889	32.9300323	49.9138182	66.3209423	93.6238224	108.633688	110.477895
<b>EEUU</b>	1816.30116	1763.10768	1963.2919	2116.69855	2309.54035	2342.15043	2285.65369
<b>CANADÁ</b>	217.719668	232.613564	250.772937	276.81326	300.441478	323.088806	316.695196
<b>MÉXICO</b>	75.5884692	92.7206388	101.961121	113.397038	137.356774	153.404659	169.145556
<b>BRASIL</b>	91.955741	109.229149	123.828705	149.506445	182.85564	198.115216	253.923701
<b>FRANCIA</b>	190.785169	195.383697	218.161928	235.181674	253.502093	260.106583	252.389494
<b>ALEMANIA</b>	355.419871	358.484333	349.220859	332.06855	329.497856	323.607465	319.460382
<b>ITALIA</b>	143.682034	137.578358	153.946672	161.487615	174.896088	183.044515	172.049948
<b>RUSIA</b>	ND	814.083729	861.711416	657.918681	614.299435	649.319633	690.9412
<b>REINO UNID</b>	201.446692	201.652692	211.049849	214.009632	222.872005	225.245126	209.077803

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE BP STATISTICAL REVIEW, 2011. \*ND: DATO NO DISPONIBLE

**GRÁFICA 23. CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA DE PAÍSES SELECCIONADOS, MILLONES DE TONELADAS DE PETRÓLEO EQUIVALENTE (MTPE), 1980-2010**



FUENTE: ELABORADO CON DATOS DE BP STATISTICAL REVIEW, 2011.

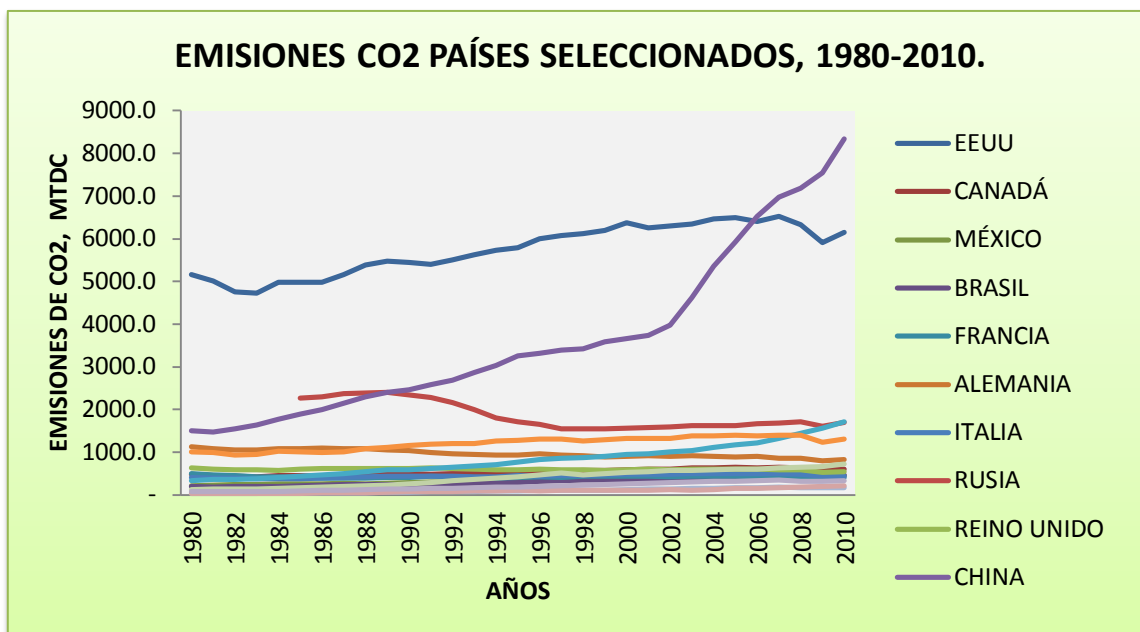
**TABLA 9. EMISIONES DE CO2 PARA PAÍSES Y AÑOS SELECCIONADOS (MTDC), 1980-2010.**

AÑO/PAÍS	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010
EEUU	5158.8559	4974.2314	5444.6072	5791.8995	6377.0493	6493.7341	6144.851
CANADÁ	474.75965	447.21543	494.51426	519.04119	592.12303	640.14459	605.05288
MÉXICO	209.65666	258.83518	289.75541	315.70307	379.01663	428.70778	447.00574
BRASIL	193.14971	211.36381	237.55447	292.49105	350.26567	380.3765	464.01425
FRANCIA	502.39047	404.36047	412.01964	400.63017	429.46645	431.09781	403.13423
ALEMANIA	1126.1539	1088.0402	1030.5032	930.88275	902.50995	883.28461	828.19045
ITALIA	403.94868	382.64471	434.89463	448.22791	475.60397	500.64788	439.38416
RUSIA	ND	2265.7924	2343.4198	1714.2803	1562.9791	1618.0046	1700.1992
REINO UNIDO	624.11309	596.17727	622.41641	588.37761	591.34468	603.72821	547.86426
CHINA	1499.6828	1886.4703	2459.2143	3262.658	3659.3483	5931.9713	8332.5158
INDIA	324.18934	429.80544	581.36331	765.48787	952.76653	1172.8631	1707.4594
JAPÓN	1008.4303	1006.2434	1158.1701	1281.284	1327.1324	1397.7016	1308.3958
MALASIA	27.246597	43.632217	66.109099	91.22167	123.62699	164.63113	166.47411
SINGAPUR	29.182402	36.95381	71.510235	100.91734	102.65317	144.19593	208.75613
COREA DEL SUR	126.30911	167.26343	254.96697	421.92288	527.04543	601.39236	715.78911
TAIWÁN	79.502724	88.771492	133.78836	187.84586	258.70244	323.29257	330.97822

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE BP STATISTICAL REVIEW, 2011.

\*ND: DATO NO DISPONIBLE

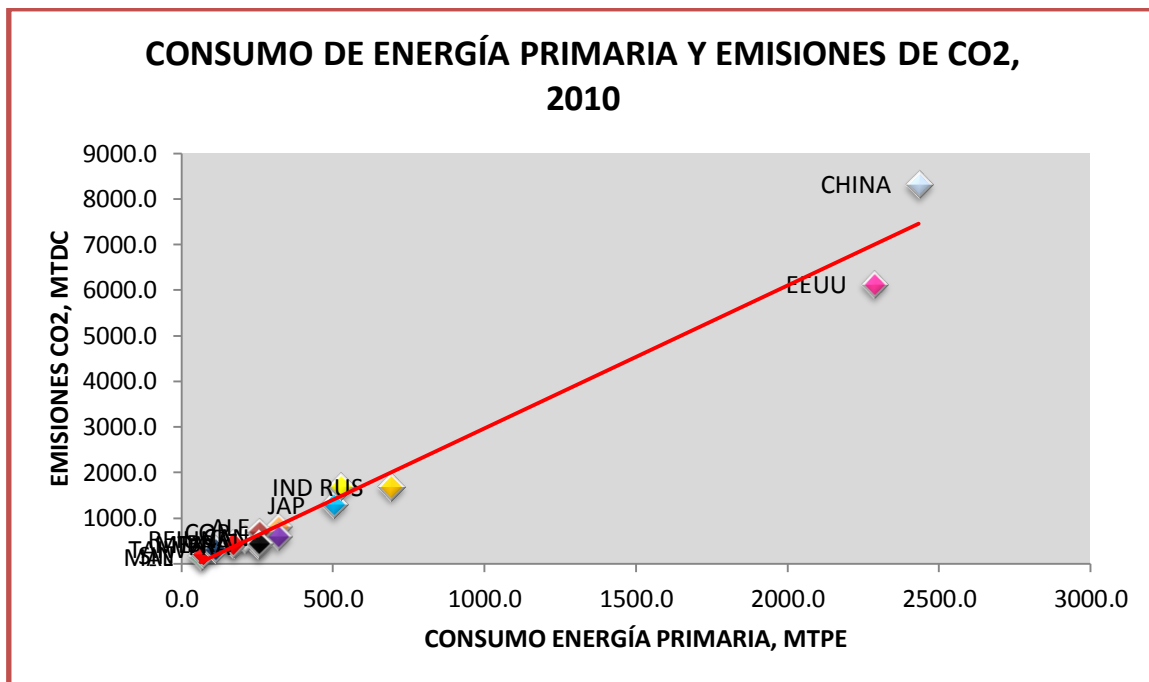
**GRÁFICA 24. EMISIONES DE CO2 DE PAÍSES SELECCIONADOS, MILLONES DE TONELADAS DE DIÓXIDO DE CARBONO (MTDC), 1980-2010**



FUENTE: ELABORADO CON DATOS DE BP STATISTICAL REVIEW, 2011

Está claro que, como lo muestran los datos anteriores, existe una relación entre el consumo de energía primaria y el nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>, sin embargo, ello queda aún más en evidencia con la gráfica 25 que se muestran a continuación.

GRÁFICA 25. CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA Y EMISIONES DE CO<sub>2</sub>, 2010.

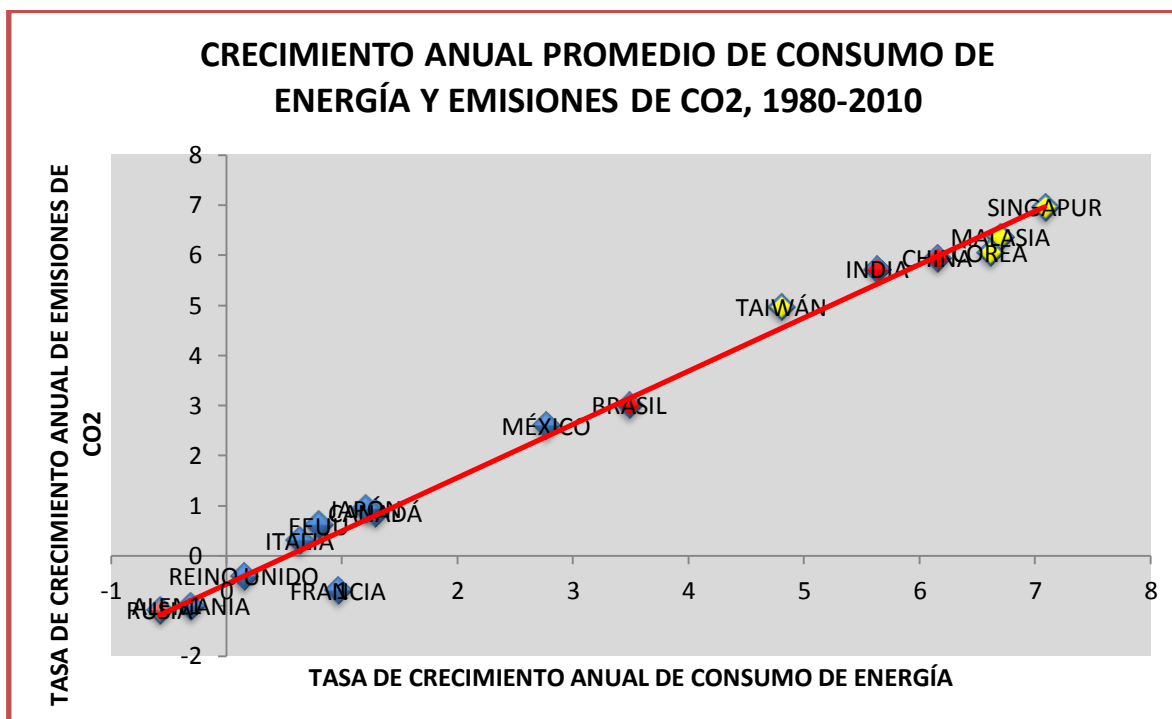


FUENTE: ELABORADO CON DATOS DE BP STATISTICAL REVIEW.

La pendiente de la línea en la gráfica 25 muestra una relación directa entre el consumo de energía primaria y las emisiones de CO<sub>2</sub>, así, países con alto consumo de energía primaria, como Estados Unidos y China, tienen altos niveles de emisiones de CO<sub>2</sub>. Los países que se encuentran por encima de la línea roja son menos eficientes en el sentido de las emisiones, pues están generando más CO<sub>2</sub> por unidad de energía que la media, es el caso de China y la India. India, por ejemplo, emite un nivel similar de CO<sub>2</sub> al de Rusia, aunque lo hace con un consumo menor de energía, lo que muestra una menor eficiencia que los rusos.

A continuación, en la gráfica 26, se muestra una relación similar a la de la gráfica 25, aunque ahora no se muestran valores absolutos sino tasas de crecimiento. Dichas tasas de crecimiento son un cálculo propio a partir de los valores que generan la gráfica 25.

**GRÁFICA 26. CRECIMIENTO ANUAL PROMEDIO DE CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA Y DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> (%), 1980-2010.**



FUENTE: ELABORADO CON DATOS DE BP STATISTICAL REVIEW, 2011.

Como se observa en la gráfica 26, hay una relación directa entre las tasas de crecimiento del consumo energético primario y las tasas de emisiones de CO<sub>2</sub>. Se observa que los países con un mayor ritmo de crecimiento en el consumo de energía son Singapur, Malasia, Corea del Sur, China, India, Taiwán, Brasil y México, lo que evidentemente los hace los que tienen una mayor tasa de crecimiento en emisiones, esto indica una menor eficiencia en el uso de la energía o que sus actividades son energéticamente más intensivas. Mientras que los países del grupo G7 se encuentran en bajos ritmos de crecimiento tanto de consumo de energía primaria como de emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que indica que son más eficientes en el uso de energía o que su actividad económica es relativamente menos intensiva en energía.

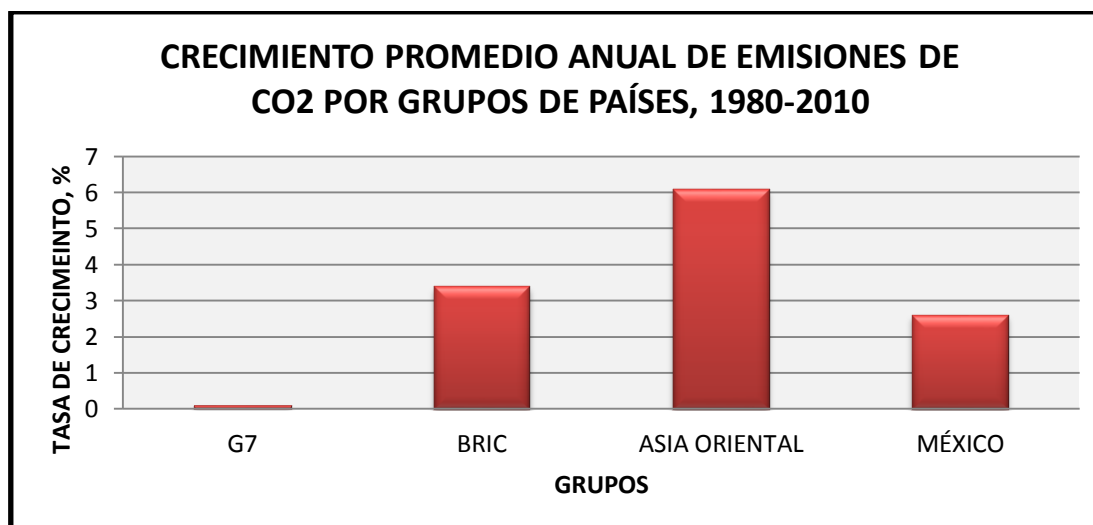
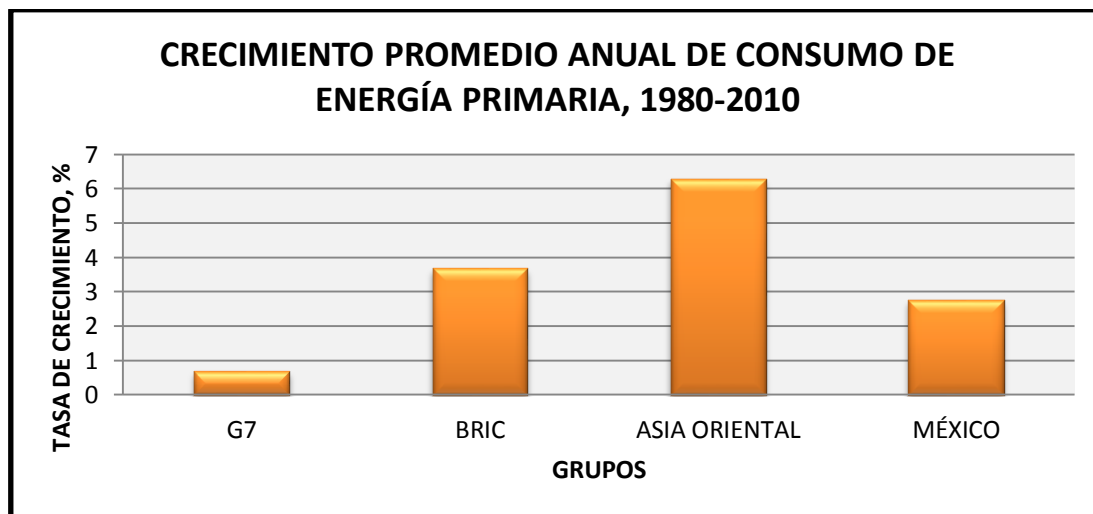
Es importante resaltar el caso de EEUU que aunque es de los países con mayores niveles de consumo de energía y de emisiones de CO<sub>2</sub>, mantiene una baja tasa de crecimiento de ambas variables en contraste con China, esto puede explicarse porque su nivel de desarrollo económico es relativamente mayor al del país asiático.

Hasta aquí cabe hacer una puntualización más, los países seleccionados para su análisis se subdividen en tres grupos: los más desarrollados (G7), los BRIC (que en últimos años han mostrado un dinámico crecimiento económico), y los de Asia Oriental (que se distinguen

por una alta actividad manufacturera, gradualmente con actividades de mayor valor agregado). Además del caso mexicano para ilustrar y contrastar su comportamiento.

En este sentido, ahora se puede desagregar más el análisis con el fin de tratar de demostrar la hipótesis aquí planteada, una vez que hemos visto el comportamiento de algunos indicadores globales. Como primer punto se puede ver el ritmo de crecimiento promedio tanto de consumo de energía como de emisiones de CO<sub>2</sub> en el periodo 1980-2010 para los grupos ahora analizados, lo que se muestra en las gráficas 27 y 28.

**GRÁFICAS 27 Y 28. CRECIMIENTO PROMEDIO ANUAL DEL CONSUMO DE ENERGÍA Y DE LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> POR GRUPOS, 1980-2010.**



FUENTE: ELABORADO CON DATOS DE BP STATISTICAL REVIEW 2011 Y BANCO MUNDIAL.

Como es visible, los países de Asia Oriental seguidos por los BRIC son los de mayor ritmo de crecimiento tanto de consumo de energía como de emisiones, mientras que el

comportamiento de los países más desarrollados es de actividad mínima. El crecimiento de México en ambos rubros tiende a asemejarse más al de los BRIC.

Es ahora conveniente ver como es la composición de la actividad económica en todos los grupos de países. Para ello es útil observar que tan importante es la actividad industrial en cada grupo de países. La tabla 10 ofrece datos de la participación de la industria en la generación del PIB de las economías seleccionadas, tales datos son esquematizados en las gráficas 29, 30, 31 y 32, se elaboran con datos del Banco Mundial que incluye en este rubro a todas las actividades manufactureras, de extracción y transformación de recursos del suelo y subsuelo (esto es, las industrias minera, del petróleo, del cemento, petroquímica, etc.).

**TABLA 10. PARTICIPACIÓN DEL SECTOR INDUSTRIAL EN LA GENERACIÓN DEL PIB DE LAS ECONOMÍAS SELECCIONADAS PARA ALGUNOS AÑOS SELECCIONADOS (PORCENTAJE DEL PIB).**

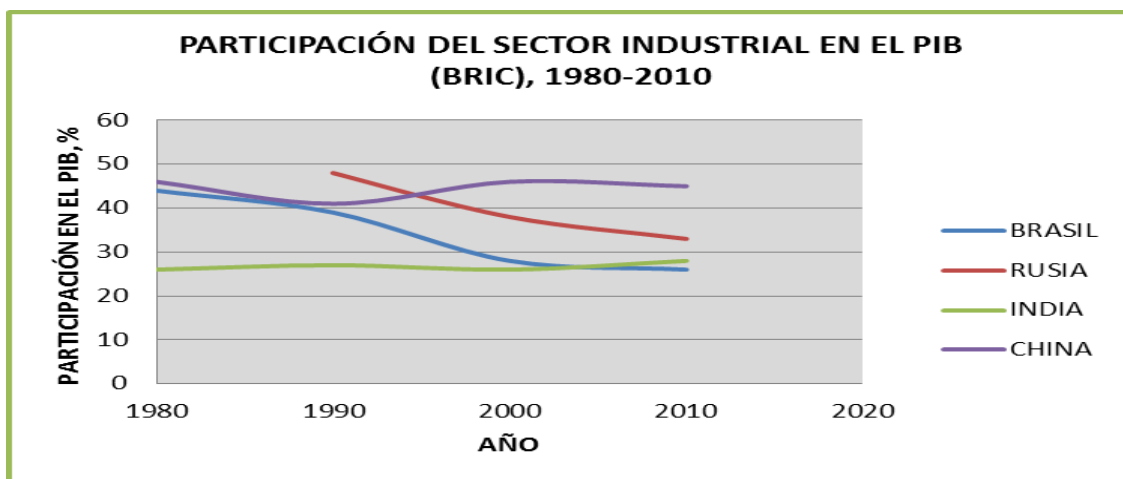
<b>PAIS / AÑO</b>	<b>1980</b>	<b>1990</b>	<b>2000</b>	<b>2010</b>
<b>BRASIL</b>	44	39	28	26
<b>RUSIA</b>	ND*	48	38	33
<b>INDIA</b>	26	27	26	28
<b>CHINA</b>	46	41	46	45
<b>COREA DEL SUR</b>	36	42	38	36
<b>SINGAPUR</b>	36	32	35	28
<b>MALASIA</b>	40	42	48	44
<b>TAIWÁN</b>	41	42	45	42
<b>EEUU</b>	34	28	23	21
<b>CANADÁ</b>	36	31	33	32
<b>FRANCIA</b>	31	27	23	19
<b>ALEMANIA</b>	40	37	30	26
<b>ITALIA</b>	37	32	28	25
<b>JAPÓN</b>	41	39	32	28
<b>REINO UNIDO</b>	40	34	27	21
<b>MÉXICO</b>	33	28	28	35

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE BANCO MUNDIAL.

\*ND: DATO NO DISPONIBLE.

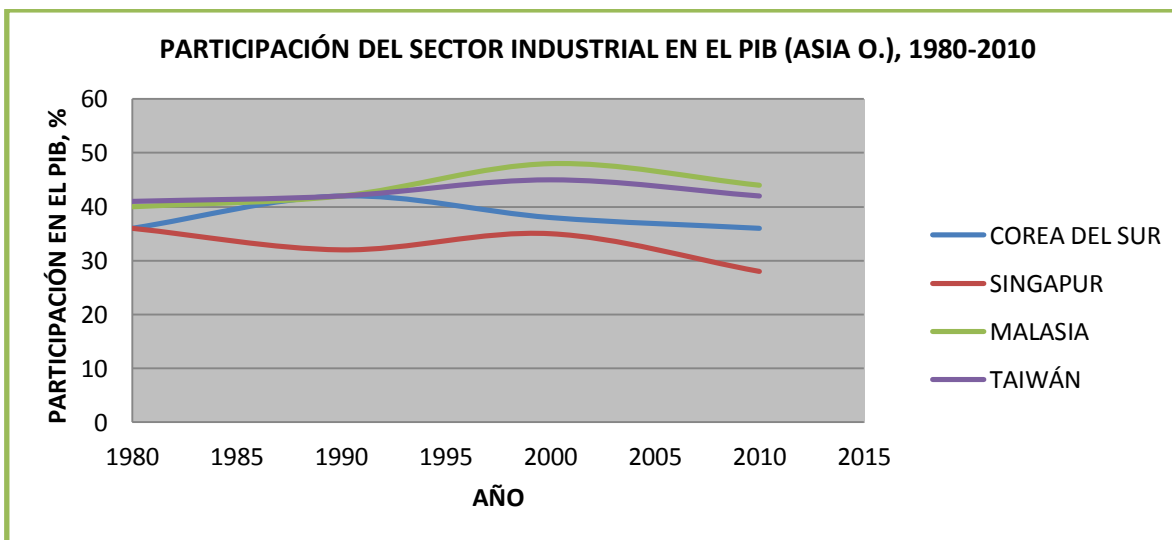


**GRÁFICA 29. PARTICIPACIÓN DEL SECTOR INDUSTRIAL EN EL PIB POR GRUPOS, 1980-2010.**



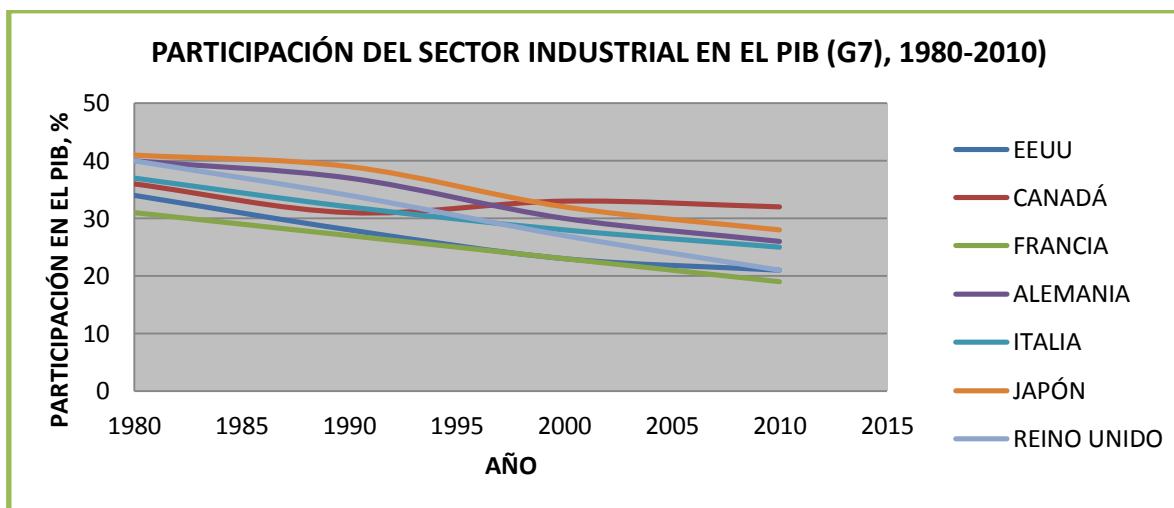
FUENTE: ELABORADO CON DATOS DE BANCO MUNDIAL.

**GRÁFICA 30. PARTICIPACIÓN DEL SECTOR INDUSTRIAL EN EL PIB, ASIA ORIENTAL, 1980-2010.**



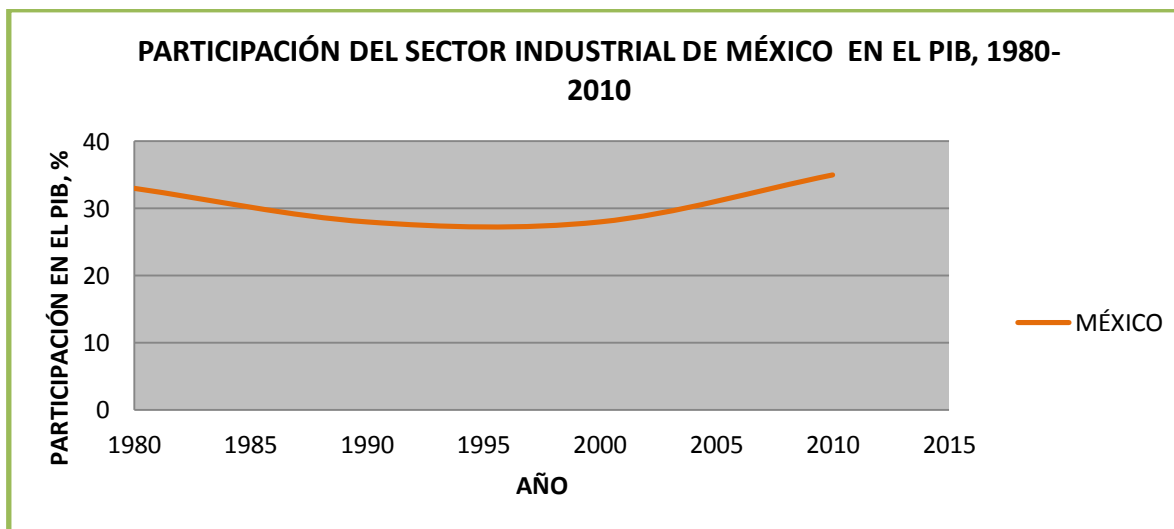
FUENTE: ELABORADO CON DATOS DE BANCO MUNDIAL.

**GRÁFICA 31. PARTICIPACIÓN DEL SECTOR INDUSTRIAL EN EL PIB, G7, 1980-2010.**



FUENTE: ELABORADO CON DATOS DE BANCO MUNDIAL.

**GRÁFICA 32. PARTICIPACIÓN DEL SECTOR INDUSTRIAL EN EL PIB, MÉXICO, 1980-2010.**



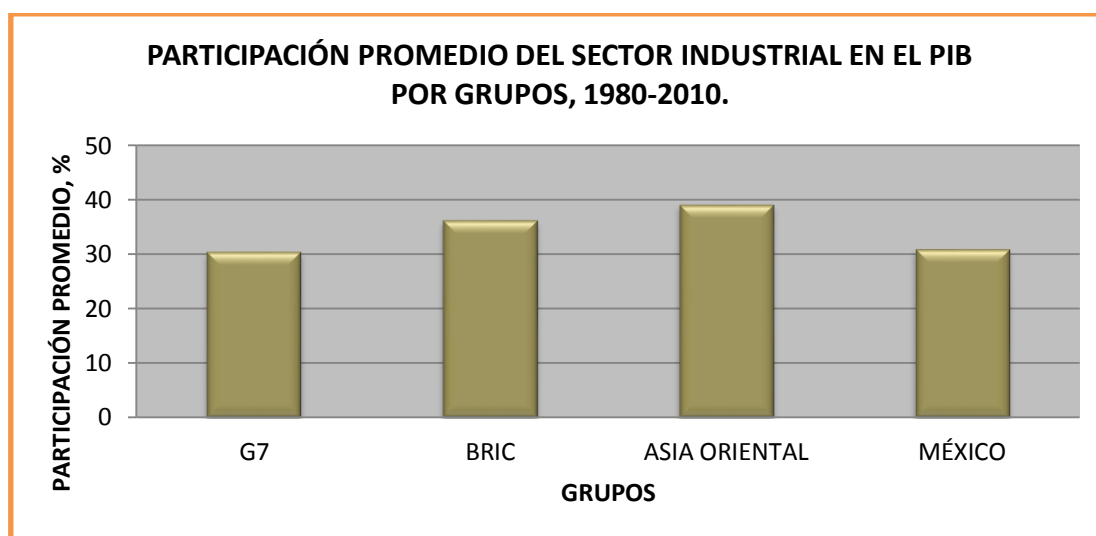
FUENTE: ELABORADO CON DATOS DE BANCO MUNDIAL.

Como se observa en las gráficas 29, 30, 31 y 32 la tendencia promedio de los países del grupo Asia Oriental tiende a mantenerse con una participación de la industria en el PIB relativamente constante aunque con una pendiente levemente negativa hacia el final del periodo analizado. En los países BRIC el promedio es relativamente constante con una participación decreciente en Brasil y Rusia, y mínimamente creciente en China e India. En los países G7 la pendiente decreciente es clara para todo el grupo, lo que puede ser indicativo de una mudanza de actividad industrial de las potencias centrales hacia países como los de Asia Oriental, y principalmente hacia China e India.

Para el caso de México se observa una tendencia decreciente en la primera mitad del periodo y creciente en la segunda. Esto puede ser debido a que a partir de la década de los 90's se intensificó el carácter maquilador de la industria mexicana producto de políticas neoliberales, recibiendo principalmente inversión desde EEUU.

La gráfica 33 que se muestra a continuación indica la participación promedio del sector industrial por grupos para todo el periodo.

**GRÁFICA 33. PARTICIPACIÓN PROMEDIO DEL SECTOR INDUSTRIAL EN EL PIB POR GRUPOS, 1980-2010.**



FUENTE: ELABORADO CON DATOS DE BANCO MUNDIAL.

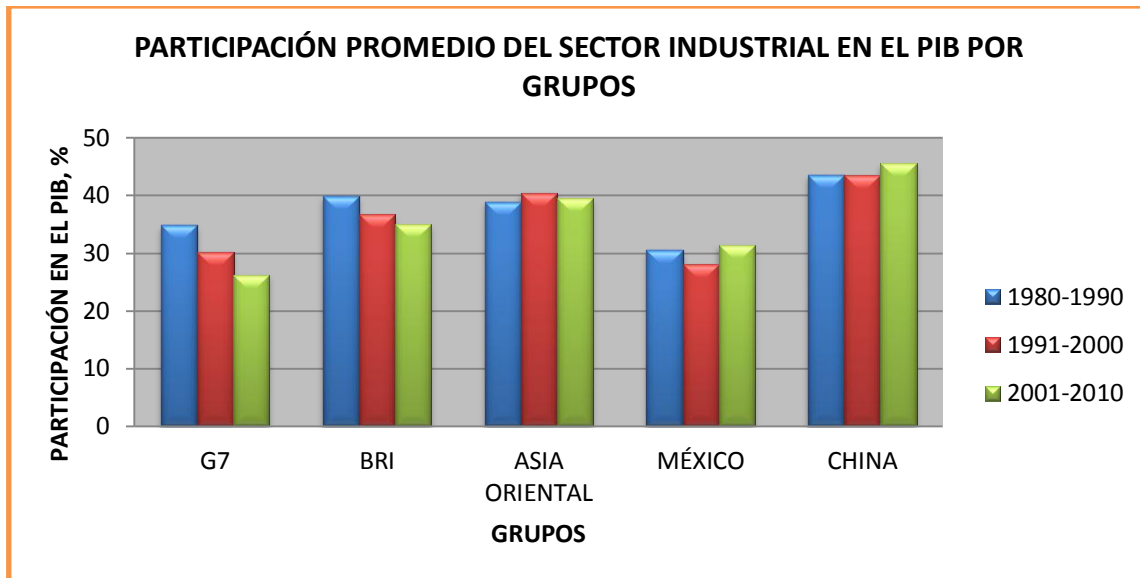
Ahora bien, con el objetivo de esquematizar mejor la existencia de una nueva división internacional del trabajo, reflejada en una reconfiguración global de las actividades industriales, se presenta la gráfica 34, en la que se divide el comportamiento de los grupos en tres periodos de tiempo. Sólo para esta gráfica se extrae a China del grupo de los BRIC debido a que en este ámbito en particular vale la pena ver su comportamiento por separado.

**TABLA 11. PARTICIPACIÓN PROMEDIO DEL SECTOR INDUSTRIAL EN EL PIB POR GRUPOS, 1980-2010.**

	G7	BRI	ASIA ORIEN	MÉXICO	CHINA
1980-1990	34.7857143	39.875	38.875	30.5	43.5
1991-2000	30.2857143	36.625	40.5	28	43.5
2001-2010	26.2857143	35	39.5	31.5	45.5

FUENTE: DATOS DEL BANCO MUNDIAL.

**GRÁFICA 34. PARTICIPACIÓN PROMEDIO DEL SECTOR INDUSTRIAL EN EL PIB POR GRUPOS EN DIFERENTES PERIODOS DE TIEMPO.**

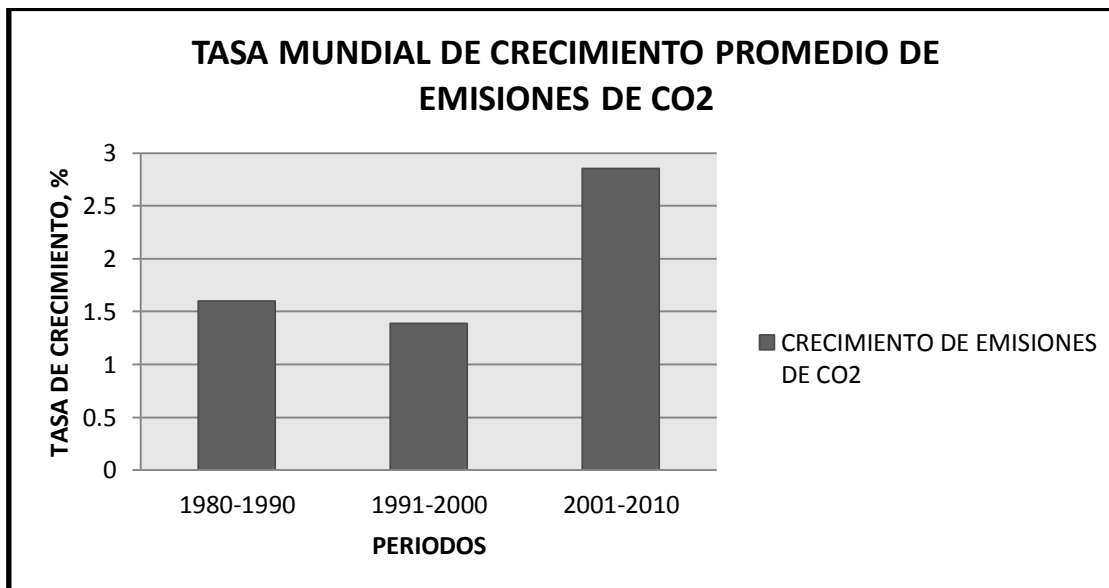


FUENTE: ELBORADO CON DATOS DE BANCO MUNDIAL.

Analizando la gráfica 34 es claro que la actividad industrial en los países del grupo G7 ha sido decreciente en las tres décadas mostradas, lo que en un contexto de crecimiento económico implica que esta actividad debe realizarse en alguna otra parte. La misma gráfica muestra que los países de Asia Oriental incrementaron su actividad industrial en las décadas de los 90's y 2000 en relación a la década de los 80's; y aunque los países BRIC muestran un promedio decreciente, si se analiza por separado el caso de China, es claro que su actividad industrial ha sido significativamente alta y creciente en las tres décadas analizadas. Con ello se puede decir que hay evidencia que indica que buena parte de la actividad industrial que ya no se realiza en los países ricos, se ha mudado hacia países como los de Asia Oriental y, entre los BRIC, especialmente a China.

Ahora podemos hacer periodos de tiempo similares para observar el comportamiento de la tasa de crecimiento global de emisiones de CO<sub>2</sub>, así, tenemos la gráfica 35.

**GRÁFICA 35. TASA PROMEDIO DE CRECIMIENTO MUNDIAL DE EMISIONES DE CO2 EN DISTINTOS PERIODOS DE TIEMPO.**



FUENTE: ELABORADO CON DATOS DE BP STATISTICAL REVIEW, 2011.

Como lo indica la gráfica anterior, el crecimiento de las emisiones ha sido significativamente mayor en la tercera década analizada (2001-2010), con una tasa de crecimiento promedio de casi el doble respecto a la década anterior. Así, se puede decir que mientras menos actividad industrial hay en las potencias centrales (decreciente en las tres últimas décadas) y más en los países emergentes (creciente en las tres últimas décadas en Asia Oriental y en China), mayor va siendo el crecimiento de las emisiones a nivel global. Ello es consistente con el postulado de que la nueva división internacional del trabajo ha potenciado las emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel global.

Sin duda una causa de esto es el consumo energético Chino y las actividades industriales con mayor dinamismo en este país, como lo habíamos mostrado en el apartado de China del presente capítulo. Ahora bien, puede ser conveniente mencionar algunas cuestiones muy puntuales de sus actividades más intensivas en energía.

En primer lugar, China fábrica la mitad de la producción de vidrio a nivel mundial. La mayor parte del vidrio plano del mundo proviene de líneas de flotación, un complejo proceso de uso energético intensivo en el que vidrio fundido se aplana sobre una cama de lata caliente y luego es transportado a lo largo de cientos de metros en una cinta mientras se enfría. Las líneas usualmente operan 24 horas al día sin interrupción, durante años.

Segundo, la industria siderúrgica china es una de las más grandes del mundo. Sólo para 2006 los chinos produjeron 83,000,000 de toneladas de hierro y 80,000,000 de toneladas

de acero. En el caso de la petroquímica, para 2004 China produjo 32 millones de toneladas de fertilizantes.<sup>19</sup>

Tercero, China genera electricidad a partir de carbón como ningún otro país del mundo. Como se puede ver en la tabla 5, para 2008 las tres principales compañías eléctricas chinas generaron 769.439 millones de toneladas de dióxido de carbono (MTDC), mientras que, de acuerdo a datos de BP, España generó 385.8 MTDC, esto es, sólo tres carboeléctricas chinas emitieron casi el doble de CO<sub>2</sub> que todo España. Más aún, el Reino Unido, que es una de las economías más dinámicas de Europa, generó 578.6 MTDC en 2008, esto es, un nivel menor al de las tres carboeléctricas citadas. Es prudente observar la tabla 12 que indica el consumo de carbón y las emisiones de CO<sub>2</sub> de las 9 principales carboeléctricas del país asiático.

**TABLA 12. COMPAÑÍAS ELECTRICAS CHINAS, CONSUMO DE CARBÓN Y EMISIONES DE CO<sub>2</sub>, 2008.**

LUGAR	COMPAÑÍA ELÉCTRICA	CONSUMO DE CARBÓN TOTAL (MILLONES DE TONELADAS)	EMISIONES DE CO <sub>2</sub> TOTALES (MILLONES DE TONELADAS)
1	HUANENG	117.969	287.844
2	DATANG	102.577	250.288
3	GUODIAN	94.798	231.307
4	HUADIAN	88.4	215.696
5	CPI	59.64	145.522
6	CRP	34.969	85.324
7	YUEDIAN	31.872	77.768
8	SHENHUA	31.65	77.226
9	ZHEJIANG	28.359	69.196
<b>TOTAL</b>		<b>590.234</b>	<b>1440.171</b>

FUENTE: CAMBIO CLIMÁTICO.ORG, <http://www.cambioclimatico.org/contenido/tres-electricas-chinas-emiten-mas-co2-que-todo-reino-unido>

Como se puede ver, la participación de China en las emisiones globales es muy significativa, tanto por la composición de su industria como por su matriz energética. De esta forma, al estar adquiriendo características de *fábrica global*, China está potenciando las emisiones de CO<sub>2</sub>. Aunado a esto, aunque este país tiende a ser más eficiente en su uso de energía, aún mantiene un diferencial importante respecto a los niveles de países más desarrollados.

<sup>19</sup> <http://chinamisterios.com/industria.htm>

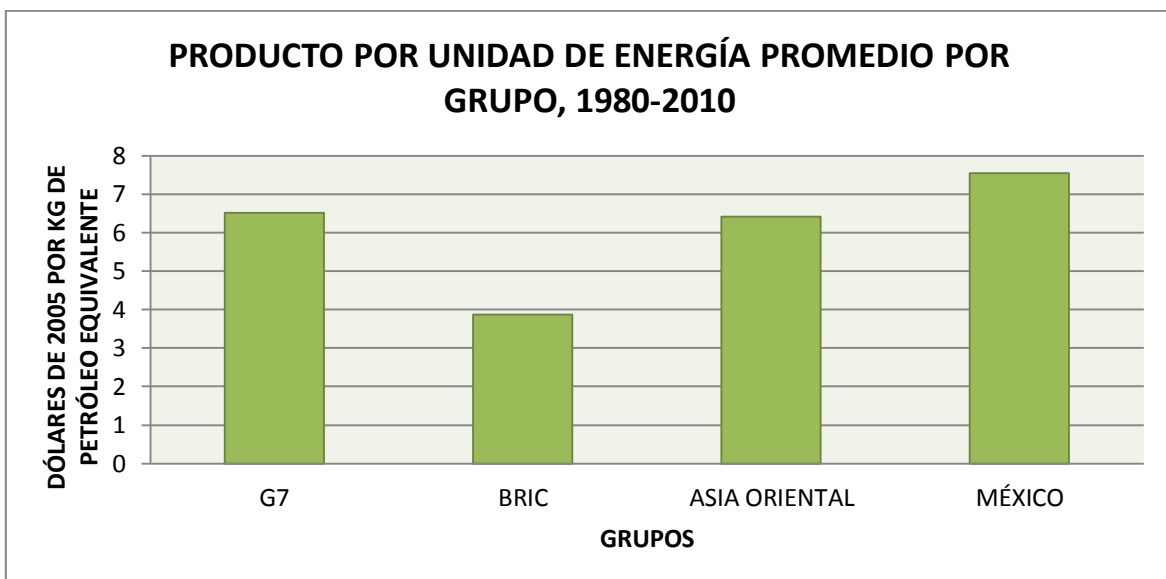
Como se puede ver en la gráfica 36, dentro de los grupos analizados el de los BRIC es el que tiene un menor producto promedio por unidad de energía, apenas de 4 dólares de 2005 por kilogramo de petróleo equivalente. Mientras en los países del G7 es de 6.5 dólares por KGPE y en los de Asia Oriental de 6.3 dólares por KGPE.

**TABLA 13. PRODUCTO POR UNIDAD DE ENERGÍA PROMEDIO, 1980-2010.**

GRUPO	DLS./ENERGÍA
G7	6.507142857
BRIC	3.875
ASIA ORIENTAL	6.4125
MÉXICO	7.55

FUENTE: PROMEDIO CALCULADO DE DATOS DEL BM.

**GRÁFICA 36. PRODUCTO POR UNIDAD DE ENERGÍA PROMEDIO POR GRUPO, 1980-2010.**



FUENTE: ELABORADO CON DATOS DE BANCO MUNDIAL.

El gráfico anterior demuestra que los países BRIC, donde se encuentra China, es el menos eficiente en cuanto al producto que se genera por unidad de energía. Si tomamos en cuenta que en los últimos años son países que han tenido elevadas tasas de crecimiento económico, ello es una muestra más de que al haber mayor actividad industrial en países con menor eficiencia económica, se potencia la emisión de CO<sub>2</sub>.

Así, parece evidente que se demuestra el postulado central de este apartado que indica que se han potenciado las emisiones de CO<sub>2</sub> debido a la nueva división internacional del trabajo, sin embargo, el hecho de que se trate de evidenciar la creciente responsabilidad de los países emergentes en las emisiones de CO<sub>2</sub> no tiene por objetivo satanizarlos, pues es claro que este proceso tiene sólo un par de décadas. Quienes tienen mayor

responsabilidad de atacar al problema son los países ricos porque tienen la capacidad económica e institucional para hacerlo. Además, históricamente han sido responsables de la mayor emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera debido a sus altos niveles de consumo de energía fósil, a lo largo de un periodo de tiempo relativamente largo (Inglaterra y Francia desde la Revolución Industrial).

Parece que una forma de mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub> es tratando de hacer energéticamente más eficientes los procesos que se llevan a cabo en los países emergentes, además de lograr un viraje energético que permita hacer a un lado los combustibles más sucios. Sin embargo, todo esto tiene un costo, y en las condiciones actuales, de concentración de riqueza y del imperio de la razón de la ganancia, estos parecen prácticamente incosteables.

Se necesita de la creación de nuevas tecnologías que permitan lograr lo antes dicho, la pregunta es ¿quién costeará esto? Y si se logra hacer, ¿se permitirá la libre movilidad de esta tecnología?

Este es un problema que rebasa el ámbito económico, la preocupante concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y sus consecuencias, difícilmente pueden ser evaluadas en costos monetarios, la problemática pone en juego, incluso, a la humanidad como especie.



### CAPÍTULO 3. PROPUESTAS TEÓRICAS RELEVANTES.

Al ser los impactos negativos en el ambiente del uso de energía en el proceso de producción un tema relativamente nuevo en la literatura del crecimiento económico, el presente trabajo plantea analizar algunas propuestas teóricas al respecto que consideramos relevantes. Tales ideas teóricas han sido seleccionadas en función de que creemos son las mejor desarrolladas en los últimos años. Se utilizarán textos que en su mayoría incluyen modelos de crecimiento con fundamentos de la economía política clásica, clásicos, keynesianos y neoclásicos, esto con el fin de contrastar resultados y analizar los distintos enfoques que con este tema se está tratando dentro del campo de la teoría económica.

Evidentemente se realizó una amplia revisión de textos referentes al tema pero resultaba inconveniente hacer una presentación mayor, además, aunque hay una amplia literatura relacionada al tema, no toda se encuentra estrechamente ligada a lo que pretendemos trabajar, por ello es que sólo seleccionamos algunos textos en función de que creemos son los mejor desarrollados, independientemente de que en algunos encontramos a los mismos autores<sup>20</sup>. Así, aquí mencionaremos brevemente a algunos de los textos y autores que no fueron seleccionados. Se estudió, por ejemplo, el titulado ***New Environmental Theories: Toward a Coherent Theory of Environmentally Significant Behavior*** de Paul Stern, que básicamente hace una revisión de avances teóricos significativos en relación a cuestiones ambientales, con tal revisión el autor genera una serie de propuestas con el afán de contribuir a la elaboración de programas de protección al ambiente. A pesar de hacer referencia a cuestiones de política pública y del uso de energía, este artículo quedó de lado debido a que no tiene, desde nuestro punto de vista, la misma solidez y rigor teórico que los que sí fueron seleccionados.

Otro texto analizado fue el modelo de Marta Elena Biancardi titulado ***International Environmental Agreement: A Dynamical Model of Emissions Reduction***, el cual se apoya en muy buena medida en la Teoría de Juegos de Nash, en donde los niveles de abatimiento de contaminantes están asociados con un acervo de contaminantes. El objetivo de dicho modelo es reducir la contaminación a los niveles más bajos posibles, sin embargo, los resultados ofrecen un escenario muy pesimista, cuestión que coincide con la mayoría de los textos que se han revisado para esta investigación. Se decidió dejar de lado este texto debido a que si bien es un modelo ambiental, no incluye elementos referentes al crecimiento y a la energía como los seleccionados.

---

<sup>20</sup> Tal es el caso de Duncan Foley, que aparece en tres de los textos seleccionados, sin embargo, como el lector podrá apreciar, en tales textos el enfoque del problema es distinto, así como las soluciones que se ofrecen al respecto.

Otro trabajo revisado fue el de Aart de Zeeuw, titulado ***Dynamic Effects on the Stability of International Environmental Agreements***, en el que dicho autor plantea la necesidad de que todos los países del mundo voluntariamente internalicen las externalidades negativas de las emisiones globales, esto referente al problema de que a pesar de que existe una amplia gama de Acuerdos Ambientales Internacionales (IEA's, por sus siglas en inglés), estos generalmente no son firmados por la mayoría de los países, y cuando si cuentan con un apoyo amplio de la comunidad internacional, los países que contribuyen con el mayor número de emisiones, como EEUU y China (cómo se mostró en el capítulo anterior), siempre oponen resistencia a ratificarlos en su totalidad. Llega a la conclusión, en el marco de la Teoría de Juegos, de que pueden existir coaliciones estables grandes o pequeñas entre los distintos países, con lo que tales países cuentan con la capacidad de formar una gran coalición estable que les permita coordinar esfuerzos en pro del abatimiento de emisiones. Este texto fue dejado al margen de esta investigación debido a que excluye, si no totalmente, si en un sentido profundo a la discusión del impacto del crecimiento en las emisiones y, a la inversa, las consecuencias que las emisiones tienen sobre el crecimiento.

Hasta aquí se han revisado algunos textos que si bien fueron estudiados, quedaron fuera del análisis más profundo de esta investigación. Además de los tres mencionados, se revisaron textos de autores como David Stern, Parkash Chander, Henry Tulkens, Ramón López, Kenneth Arrow, entre otros, que son especialistas tanto en emisiones globales cómo en crecimiento y emisiones.

Una vez planteado lo anterior, en la tabla 14 aparecen los modelos escogidos y la vertiente teórica a la que, a nuestro juicio, pertenecen:

**TABLA 14. MODELOS A ANALIZAR.**

<b>AUTOR Y TEXTO</b>	<b>PRINCIPALES VARIABLES</b>	<b>CORRIENTE TEÓRICA</b>
<b>LANCE TAYLOR.</b> <i>Intensidad energética, gases de efecto invernadero y calentamiento global (2010).</i>	Función de producción con "L" (trabajo y población), "K" (capital) y consumo de energía "E" que generan un producto "X". A su vez, las productividades de L y K impactan directamente en la concentración de CO <sub>2</sub> atmosférico, "G".	Consideramos que este texto se enmarca en la Teoría Económica Heterodoxa, pues no se basa en fundamentos tales como las decisiones racionales del individuo o la búsqueda del equilibrio.
<b>ADALMIR MARQUETTI Y GABRIEL MENDOZA PICHARDO.</b> <i>Producción de bienes y emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)[2012]</i>	Función de producción conjunta en la que los factores capital, K, y trabajo, N, arrojan al final del proceso un producto bueno, X, un producto malo, B, y un stock de capital depreciado K-D	Consideramos que este texto corresponde teóricamente, dada la función de producción y las regularidades que presenta, al marco de la Crítica de la Economía Política Clásica.
<b>DUNCAN FOLEY.</b> <i>Los fundamentos económicos del calentamiento global (2007)</i>	Función en la que el consumo de bienes presente, C, y futuro, F, son resultado de la inversión presente, K, y la inversión climatológica, E.	Desde nuestro punto de vista, la conceptualización teórica de Foley en este texto, se fundamenta en principios de la Economía Clásica
<b>ARMON REZAI, DUNCAN FOLEY Y LANCE TAYLOR.</b> <i>Calentamiento global y externalidades económicas (2009).</i>	Se parte de una función de producción Cobb-Douglas, F [K,L], y el cambio técnico neutral de Harrod, B, es lo que determina la eficiencia en la producción.	Este texto parte de un modelo de crecimiento simple Keynes-Ramsey, con una función de producción Cobb-Douglas, por lo que lo ubicamos tanto en la Teoría Keynesiana como en la Neoclásica.
<b>DUNCAN FOLEY.</b> <i>Cambio técnico endógeno con externalidades en un modelo de crecimiento clásico (2003).</i>	Indica que el producto, X, es función del trabajo, N, capital, K, y la tierra, V (que se refiere a recursos naturales y capacidad de asimilación de CO <sub>2</sub> de forma natural). La emisión de GEI es una función del capital empleado, la productividad del trabajo y la tierra disponible.	Cómo lo indica el propio título, este texto se enmarca dentro de la Teoría Económica Clásica.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

A continuación presentaremos las características básicas de los modelos a trabajar, destacando sus ecuaciones fundamentales, susceptibles de ser probadas empíricamente. Es importante en este momento aclarar que los autores en ocasiones utilizan distintas terminologías para referirse a alguna variable o para expresar las tasas de crecimiento, etc. Aunque pretendíamos homogenizar la terminología, en ánimo de respetar la esencia de los textos se conserva la de cada uno de los autores en su respectivo trabajo, así, cada literal o ecuación mencionada es explicada brevemente con el fin de evitar que el lector pudiera confundirse.

Así, se trata de presentar al lector una explicación pormenorizada de los distintos textos, así como, a nuestro juicio, la relación que guarda cada uno de ellos con la revisión empírica del capítulo 2 y la revisión histórica del capítulo 1. La presentación relativamente detallada se realiza con el objetivo de que aquellos lectores que no se encuentren tan familiarizados con estas visiones teóricas puedan entenderlos de mejor manera, quizá sea conveniente aclarar que esta es una síntesis de los textos estudiados, en la que hay citas

textuales de los autores, pero que no se están reproduciendo los textos íntegros o fragmentos significativos de ellos.

### 3.1. Análisis de los textos.

En primer lugar se presenta el texto de **Lance Taylor** llamado ***Intensidad Energética, Gases de Efecto Invernadero y Calentamiento global*** (*Energy intensity, Greenhouse gas, and Global warming*). En concordancia con la presente investigación, Taylor propone que su texto sirva para “proveer de antecedentes y de un modelo potencialmente cuantificable de los impactos económicos del uso de energía que genera emisiones de gases de efecto invernadero y el calentamiento global” (Taylor: 2010). Así, postula que el calentamiento global es la consecuencia de tres tendencias muy fuertes y crecientemente contradictorias en la actividad humana:

- 1) La emisión de dióxido de carbono, que es el principal motor del efecto invernadero, es una consecuencia directa del uso de combustibles fósiles y biomasa como fuentes predominantes de energía de utilización humana.
- 2) Los pueblos de los países en desarrollo desean desesperadamente incrementar sus niveles de ingreso per cápita real. Esto necesariamente requiere un crecimiento en el producto real por unidad de trabajo o productividad del trabajo. El crecimiento de la población también entra en la ecuación para la expansión del ingreso, pero si las cosas van bien sus impactos por uso de energía será menor que el incremento de sus ingresos per cápita. Esto es, el crecimiento del producto es la suma de las tasas de crecimiento del ingreso per cápita y de la población.
- 3) Históricamente un factor crucial sobre el que se apoya el incremento de la productividad del trabajo y del ingreso per cápita ha sido un creciente uso de energía.

De esta forma, y utilizando algebra simple, se pueden ilustrar los problemas mencionados. Podemos llamar “X” al producto real y asumir que la fuerza de trabajo y la población son proporcionales a la variable “L”. El consumo de energía en cualquier momento es “E”. Con ello se puede expresar que  $\lambda = X/L$  y  $\varepsilon = X/E$  expresan las productividades del trabajo y de la energía respectivamente. Además,  $e = E/L$  expresa, para Taylor, la intensidad energética<sup>21</sup>, con lo que también es fácil ver que  $e = \lambda/\varepsilon$ . Además, hay que aclarar que el acento circunflejo o sombrero (^) quiere decir tasa de crecimiento de la variable en cuestión, así Taylor plantea que:

---

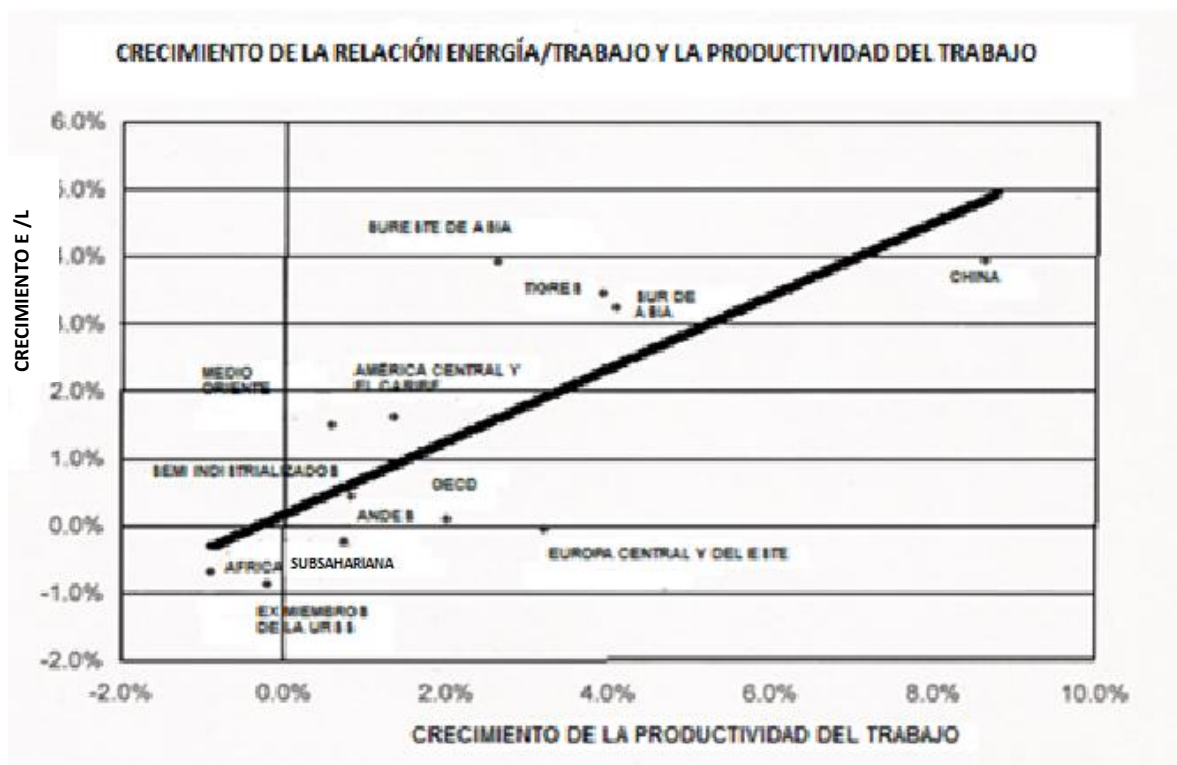
<sup>21</sup> Cabe aclarar que generalmente la intensidad energética se refiere a la cantidad de energía utilizada por unidad de producto generado, en los términos que estamos utilizando:  $e=E/X$ . Sin embargo, respetaremos para este apartado la terminología del autor.

$$\hat{\lambda} = \hat{\varepsilon} + \hat{e} \dots (1)$$

o sea, el crecimiento en la productividad del trabajo está directamente relacionado con la suma de las tasas de crecimiento de la intensidad energética y de la productividad de la energía, mencionando que existen datos históricos que ilustran esta relación.

De acuerdo a los datos que presenta muestra una robusta relación entre el incremento del uso de energía por trabajador y el incremento en la productividad del trabajo. La pendiente de la relación en el periodo 1990-2004 es de alrededor de 0.6, sugiriendo una contribución sustancial de un mayor uso de energía por trabajador a una más alta productividad. Cabe hacer la aclaración de que es muy común encontrarse con esta regularidad cuando se realizan análisis empíricos sobre la productividad del trabajo, por ello esta investigación parte del supuesto de que el uso de energía se mueve en la misma dirección que la productividad del trabajo. A continuación se muestra la gráfica 37, que se reproduce de la original que se encuentra en el texto de Taylor y en la que se relacionan la energía utilizada por cada trabajador contra la productividad del trabajo:

**GRÁFICA 37. CRECIMIENTO DE LA RELACIÓN ENERGÍA/TRABAJO Y DE LA PRODUCTIVIDAD DEL TRABAJO, 1990-2004.**



FUENTE: EXTRAIDO DE TAYLOR 2010.

Con esta gráfica se demuestra para un conjunto de regiones del mundo, que al menos en el periodo 1990-2004 hay una relación directa entre el crecimiento de la productividad del trabajo y el crecimiento de la intensidad energética, esto es, mientras un trabajador genere más producto mayor será la cantidad de energía que utiliza para generar una unidad de dicha producción.

Taylor señala que en la cuestión del calentamiento global tiene sentido enfocarse en los combustibles fósiles y la biomasa como los principales insumos energéticos a niveles nacional y global. Parte del supuesto de que la energía solar, eólica, hídrica y nuclear pueden ser inicialmente ignoradas, puesto que estas fuentes solamente representan una pequeña fracción del uso de energía global.

Taylor también nos muestra una amplia gama de relaciones energía/trabajo –desde un 0.01 (77 galones de gasolina) en el África sub sahariana a un 0.74 (5700 galones) en Arabia Saudita. La relación es de 0.58 en EEUU y menor a 0.3 en los países de Europa Occidental, los Tigres Asiáticos y Japón (véase la tabla 15). Hay que aclarar que este dato indica la cantidad de energía promedio utilizada por cada trabajador en la elaboración de una unidad de producto, es lo que él llama intensidad energética “e”.

**TABLA 15. DATOS PARA 15 PAÍSES Y TOTAL MUNDIAL, 2004**

	MUNDO	EEUU	REINO U.	SUIZA	FRANCIA	JAPÓN	CHINA	INDIA
EMISIONES TOTALES DE CO2 (MILES DE TONELADAS MÉTRICAS)	27,245,758	6,049,435	587,261	53,033	373,693	1,257,963	5,012,377	1,342,962
CONSUMO TOTAL DE ENERGÍA (MILES DE TERAJOULES)	361,849	81,762	8,926	671	5,667	17,094	51,339	14,890
EMPLEO (MILES DE HABITANTES)	2,836,437	140,702	28,008	4,311	24,963	63,290	752,000	394,612
POBLACIÓN (MILES DE HABITANTES)	6,411,145	293,028	60,271	8,986	60,991	127,480	1,295,734	1,065,071
CONSUMO DE ENERGÍA/TRABAJO	0.13	0.58	0.32	0.16	0.23	0.27	0.07	0.04
EMISIONES DE CO2/CONSUMO DE ENERGÍA	75.3	74	65.8	79	65.94	74	97.6	74
EMISIONES DE CO2/POBLACIÓN	4.25	20.6	9.7	5.9	6.1	9.9	3.87	1.3

	ARGENTINA	BRASIL	VENEZUELA	SUDÁFRICA	KENIA	ARABIA SAUDITA	POLONIA	RUSIA
EMISIONES TOTALES DE CO2 (MILES DE TONELADAS MÉTRICAS)	141,786	331,795	172,623	437,032	10,588	308,393	307,238	1,524,993
CONSUMO TOTAL DE ENERGÍA (MILES DE TERAJOULES)	2,358	4,880	2,295	4,939	119	5,715	3,745	24,355
EMPLEO (MILES DE HABITANTES)	14,329	71,058	8,855	19,092	15,110	7,675	13,855	66,407
POBLACIÓN (MILES DE HABITANTES)	38,984	183,169	24,765	44,448	33,973	25,796	38,580	143,508
CONSUMO DE ENERGÍA/TRABAJO	0.16	0.07	0.26	0.26	0.01	0.74	0.27	0.37
EMISIONES DE CO2/CONSUMO DE ENERGÍA	65.8	79	65.94	74	89	74	73.7	74.7
EMISIONES DE CO2/POBLACIÓN	3.6	1.8	7	9.8	0.31	12	8	10.6

FUENTE: EXTRAIDO DE TAYLOR 2010

En el contexto del calentamiento global los números del renglón energía/trabajo no son tranquilizadores, pues si la pendiente de la curva de la gráfica 37 es realmente de 0.6, entonces un 2% de crecimiento del ingreso per cápita, indica Taylor, requeriría un incremento en la relación energía/trabajo de 1.2% anual.

De acuerdo a la tabla 15, en 2004 las emisiones por unidad de energía se encontraban en el rango de 65-75 toneladas métricas por terajoule<sup>22</sup> en los países ricos y algo más altas en muchos de los países en desarrollo.

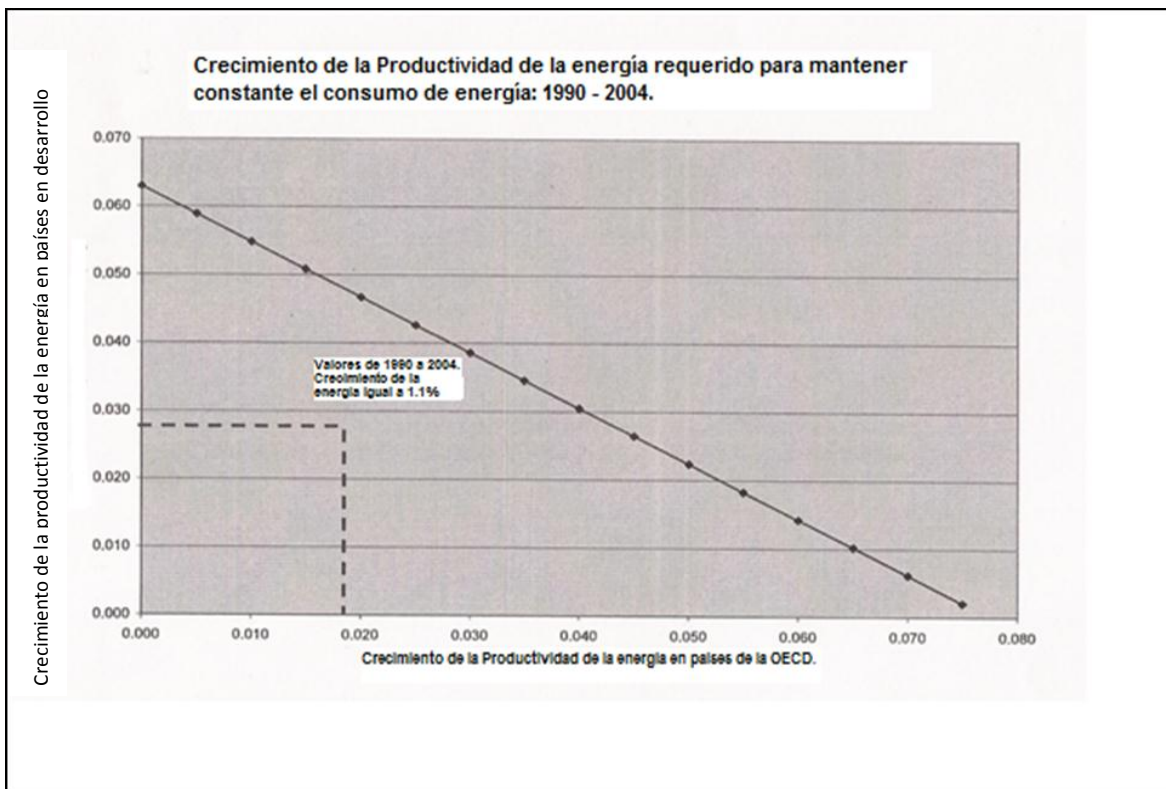
Una implicación de esto es que los más bajos niveles de emisiones mostrados en los países en desarrollo es mayormente debido a más bajas relaciones energía/trabajo, lo que puede deberse a la composición sectorial de dichas economías. Números para China o Brasil sugieren que hay espacio para reducir las emisiones mundiales simplemente por el incremento en los países pobres de la eficiencia de la utilización de carbón, pero beneficios mayores sólo pueden venir de recortes en el uso de energía per cápita y por unidad de producción.

Asumiendo que la relación emisiones de CO<sub>2</sub>/energía se mantenga constante, la gráfica 38 muestra potenciales intercambios (*trade-offs*) entre países ricos y pobres. De acuerdo a Taylor, en el periodo 1990-2004 la productividad de la energía creció en 1.9% por año en las economías ricas de la OECD y en 2.8% en el resto del mundo debido a las altas tasas de crecimiento de la productividad en algunas de las economías más grandes. En la gráfica 38 la línea de tendencia negativa es una isóclina que muestra las combinaciones de la tasa de crecimiento de la productividad de la energía que habrían sido necesarias para que la tasa de crecimiento del uso de la energía tendiera a cero.

---

<sup>22</sup> Un Terajoule (TJ) es igual a un millón de millones de joules, esto es, 1TJ = 1,000,000,000,000 J. El TJ es utilizado como unidad de energía, expresa la energía equivalente a 239,005,736 kilocalorías. Con el objeto de dar una idea, un barril de petróleo equivale a 1,272,000 kcal, o sea un terajoule equivale energéticamente a casi 188 barriles de petróleo crudo (187.8976 para ser exactos). A lo largo de la investigación utilizamos otro tipo de unidades de energía, se uso aquí de forma excepcional sólo para respetar las unidades utilizadas por el autor.

**GRÁFICA 38. Crecimiento requerido de la productividad de la energía para mantener el consumo de energía constante, 1990-2004.**



FUENTE: EXTRAIDO DE TAYLOR 2010

De acuerdo al modelo las perspectivas no son favorables, pues si se mantiene estable la tasa de crecimiento de la productividad de la energía en los países pobres, se requeriría una tasa de casi 4.5% en los países ricos para que el crecimiento del consumo de energía tendiera a cero. De otra parte, si se mantiene constante la tasa de crecimiento de la productividad de la energía en los países ricos, se requeriría un crecimiento en la productividad de la energía en los países pobres de más de 6% anual. La tasa de crecimiento de la relación energía trabajo correspondiente a los dos casos mencionados, sería de -2.5% y -2.3% para países ricos y pobres respectivamente.

De acuerdo a los objetivos del protocolo de Kioto se debía alcanzar una reducción de uno por ciento anual en el uso de energía en los países ricos, lo que implicaría una tasa de crecimiento en su productividad de la energía de alrededor de 4%. Si, hipotéticamente, los objetivos de Kioto pudieran ser alcanzados, se puede calcular el impacto del crecimiento global de uso de energía con la siguiente ecuación:

$$\hat{E} = \theta(n_r + \hat{\lambda}_r - \hat{\epsilon}_r) + (1 - \theta)(n_p + \hat{\lambda}_p - \hat{\epsilon}_p) \dots (2)$$



donde los subíndices “r” y “p” denotan países ricos y pobres respectivamente, “ $n_r$ ” y “ $n_p$ ” son sus respectivas tasas de crecimiento poblacional, y “ $\theta$ ” representa la proporción de los países ricos en el uso de energía global. La consecución de los objetivos de Kioto significaría la reducción del crecimiento del consumo de energía fósil a nivel mundial de 1.1% a .65% anual.

De acuerdo al modelo, el PIB global crece a la tasa  $\hat{X} = \hat{\lambda} + n$ , y es medido en dólares de 1990 a precios de mercado (sólo recordar que el sombrero, ^, indica tasa de crecimiento).

La variable G representa la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> (380 ppmv en el momento de elaboración del texto). Según el modelo, la catástrofe climática puede ser inevitable a menos que el nivel absoluto de carbono en la atmósfera llegue a ser constante o disminuya. En el mundo del modelo, esto sólo puede ocurrir si la tasa de crecimiento de la población “n” se convierte en cero o negativa, esto haría que la disipación natural o la mitigación redujeran el nivel de CO<sub>2</sub>, sin embargo, esto implica también una disminución del PIB.

En términos de Taylor se puede expresar a la concentración de CO<sub>2</sub> per cápita así:  $\gamma = \frac{G}{N}$  si sabemos que  $\lambda$  representa la productividad del trabajo, tenemos que  $\chi = \frac{\lambda}{\gamma}$  es el producto por unidad de CO<sub>2</sub> en la atmósfera definido también en dólares de 1990 por tonelada de CO<sub>2</sub> emitida. Asumiendo inicialmente que el trabajo es la única fuente del incremento del PIB, entonces:  $\hat{X} = \hat{\lambda} + n$ .

En este modelo el equilibrio se alcanza cuando  $\hat{X} = \hat{G} = n$ , es decir, el crecimiento es cero, por tanto  $\hat{\lambda} + n$  es igual a 0, dado que se mantiene constante la relación  $\frac{G}{X}$ . Esto es, no se incrementaría la concentración de gases en la atmósfera si tampoco lo hiciera la población, su respectiva productividad y con ello el producto, esto es, una economía en estado estacionario sin crecimiento demográfico ni crecimiento de la productividad del trabajo.

Así, la expansión de CO<sub>2</sub> depende del uso de energía, el cual crece con una alta productividad del trabajo y cae con una alta productividad de la energía. Se plantea además que la tasa de crecimiento de la concentración de CO<sub>2</sub> per cápita es:  $\hat{\gamma} = \hat{G} - n$ ; y en un contexto de estado estacionario puede converger a cero, pues:  $\hat{G} = n$

Lo que plantea Taylor como una solución al problema es que los países en desarrollo deberían comprar tecnología a los países ricos, y estos últimos deben generar estas tecnologías de forma que reduzcan en mayor medida la relación energía/trabajo y facilitar

su transferencia hacia los países pobres. Si esto no es posible, entonces las tres tendencias contradictorias mencionadas colisionarán.

De acuerdo a los datos que ofrece Taylor, únicamente 16% de la población mundial vive en los países ricos. Las economías avanzadas deben encontrar los medios para reducir la relación energía/trabajo, si no las consecuencias sobre el calentamiento global, aunque son imprevisibles, pueden ser catastróficas.

Las conclusiones a las que llega el autor indican que el calentamiento global es un problema muy serio, pues puede llevar a una catástrofe. Propone, como una de tantas soluciones, el cambio técnico generado en países ricos que permita elevar la productividad de la energía y del trabajo.

La emisión de gases de efecto invernadero impondrá costos a las futuras generaciones. Sin embargo, tanto las generaciones presentes y futuras pueden disfrutar de un alto consumo de bienes si son capaces de corregir esta externalidad del proceso de crecimiento económico.

Así, dadas las características del modelo, donde se agrega la variable energía como determinante del producto y de la contaminación, se propone que la estrategia de mitigación debe estar sustentada en la productividad de los tres elementos productivos del modelo (trabajo, energía y capital). Es muy importante la idea de que los países ricos, al ser los mayores responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero, son los que tienen una mayor obligación y capacidad para generar la tecnología que permita eficientar el uso de la energía para disminuir las emisiones de tales GEI. Además, resulta muy interesante la contradicción referente a que el deseo de todos los países por elevar su ingreso implica necesariamente una afectación directa al ambiente, que podría ser catastrófica. La idea central del texto es que la forma de mitigar el cambio climático en un contexto de crecimiento, dado que se utiliza energía en el proceso productivo, es elevando la productividad del trabajo con un aumento en la productividad de la energía.

Cómo se observó en el capítulo 2 de esta investigación, la tendencia del crecimiento del PIB mundial es positiva para el periodo analizado (1989-2010), claro que con altibajos, lo que implica crecimiento de la demanda de energía y, por tanto, un aumento del nivel de emisiones. También se observó en ese capítulo, que la relación que guarda el consumo de energía con el ritmo de crecimiento en los países desarrollados (OCDE) es relativamente menos sensible que en los países en desarrollo. Así, cuando el PIB crece en los países OCDE (gráfica 11) el aumento en el consumo de energía es en general menor al aumento en el crecimiento, incluso para 2008 que existe crecimiento del PIB negativo (decremento) el consumo de energía decrece en una cantidad mucho mayor. Mientras que en los países

no-OCDE el crecimiento en el consumo de energía ofrece un movimiento más ligado al ritmo de crecimiento del PIB, se puede ver en la gráfica 12 que incluso para 2010 el consumo de energía crece más que el PIB en los países no-OCDE, lo que es un caso único en el periodo analizado.

En referencia a lo anterior, Taylor señala que este comportamiento puede deberse a que en los países no desarrollados los procesos productivos son menos eficientes en términos de energía, lo cual parece ser correcto de acuerdo al análisis empírico del capítulo 2, quizá habría que añadir a ello la cuestión de la estructura productiva de cada economía, que como vimos también en dicho capítulo, es una variable fundamental en el nivel de emisiones de cada país.

La principal propuesta de medida de combate al cambio climático de este autor es incrementar el grado de productividad del trabajo, el capital y la energía, lo que debe hacerse a partir de nuevas tecnologías. Aquí es importante el punto de vista del autor en relación a que son los países más desarrollados los responsables de generar tales avances técnicos, pues históricamente son quienes han contribuido con un mayor nivel de emisiones. Esto podemos deducirlo del análisis del capítulo 2, donde si bien no analizamos el comportamiento histórico de las emisiones de todos los países, si vemos que cuando revisamos series históricas de emisiones de dióxido de carbono, no encontramos a países subdesarrollados con contribuciones significativas de emisiones, sin embargo, EEUU siempre aparece como el principal emisor de CO<sub>2</sub>, hasta años recientes en que China lo ha alcanzado y rebasado.

Otra cuestión importante señalada por el autor es que hay países que si bien no son desarrollados, tampoco podemos considerarlos como subdesarrollados y pueden ser de gran importancia en el abatimiento del nivel de emisiones globales, tal es el caso de China y Brasil, a quienes Taylor señala como países en los que si se incrementa la eficiencia energética, podrían contribuir de forma considerable a la disminución de emisiones. Lo anterior es, desde nuestro punto de vista, correcto, aunque parece que hay países que podrían ser más significativos que Brasil, tal es el caso de Rusia. Respecto a China, no hay duda que el incremento de su eficiencia tendría un impacto significativo sobre las emisiones globales, hay que recordar que, como lo mostramos en el capítulo 2, para 2010 China contribuyó con prácticamente un cuarto de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>, así que si se logrará disminuir a la mitad dicho nivel, el total mundial disminuiría en más del 10%.

En resumen, el texto de Taylor presenta un modelo en el que el producto, "X", es resultado de los factores de producción trabajo, capital y energía, y que la forma en que estos son utilizados influye en la concentración, "G", de dióxido de carbono. Además, el nivel de impacto de estos factores tanto en el producto como en la concentración de CO<sub>2</sub>,

depende de que tan productivos sean, por lo que plantea que para tener una mayor producción con menos emisiones, deben generarse los avances técnicos necesarios que permitan incrementar la productividad de los tres factores en la mayor medida posible.

También ofrece regularidades que son coincidentes con nuestro análisis empírico del capítulo anterior, y pareciera ser que de acuerdo a los datos estadísticos que hemos podido analizar, su solución, que aunque es muy general pues no detalla programas de incentivos o algún tipo de política pública, pareciera ser adecuada en el combate al CO<sub>2</sub> a nivel global.

Una vez analizado este texto de Lance Taylor, podemos seguir con un texto elaborado por Adalmir Marquetti y Gabriel Mendoza Pichardo, el cual se titula ***Producción de bienes y emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)***. Al igual que el escrito anterior, este cuenta con una serie de relaciones económicas que permiten hacer ciertos hallazgos interesantes y confirman algunas de las afirmaciones que hemos venido mencionando.

En cierta concordancia con los postulados de Taylor, aunque partiendo de premisas diferentes y analizando otro aspecto del problema, los autores de este texto generan un modelo que muestra las regularidades del crecimiento económico, considerando que el proceso de producción genera de forma conjunta productos buenos y malos. Ambos “productos” son generados por trabajo y capital físico, la producción se distribuye entre salarios y ganancias y puede consumirse o invertirse.

Los autores contrastan los resultados que obtienen con los hechos estilizados o regularidades propuestos por Kaldor (1957,1961), cabe mencionar que estas regularidades sólo consideran la generación de “producto bueno” en el proceso productivo. El trabajo no sólo analiza los hechos estilizados de Kaldor, sino que también observa algunas regularidades relacionadas con la producción de dióxido de carbono en el crecimiento económico. Kaldor introdujo una metodología de trabajo tal que los “hechos estilizados” de algún fenómeno, deben proporcionar al investigador las características centrales de tal fenómeno que le permitan elaborar un modelo. Propone seis hechos estilizados de crecimiento económico en las sociedades capitalistas:

- ✓ La producción y la productividad del trabajo se han incrementado a lo largo del tiempo a una tasa más o menos constante.
- ✓ El capital por trabajador también ha aumentado a una tasa más o menos constante a lo largo del tiempo.
- ✓ La tasa de ganancia ha sido estable en el largo plazo, particularmente, en los países capitalistas desarrollados.

- ✓ La tasa capital/producto también ha sido estable en el largo plazo.
- ✓ La distribución del ingreso entre salarios y ganancias ha sido estable.
- ✓ Hay diferencias considerables entre las tasas de crecimiento de la productividad del capital y del trabajo.

De acuerdo a los autores las dos primeras regularidades son generalmente aceptadas como hechos observables en el proceso de desarrollo económico, sin embargo, las dos siguientes son controversiales tanto empírica como teóricamente. Mientras la literatura neoclásica sugiere un patrón decreciente de la productividad del capital como producto de la convergencia hacia un estado estacionario en una función de producción estable que relaciona los factores capital y trabajo (Solow: 1970), muy poca literatura se enfoca en la alternativa clásica-Marxista a la función de producción neoclásica, la cual sugiere que el declive en la productividad del capital está basado en un cambio técnico más que en movimientos a lo largo de una isocuanta de una función de producción estable (Marquetti: 2003).

Para este trabajo se utiliza una base de datos para 142 países en el periodo 1963-2006. Los “productos buenos” son iguales al PIB medido en dólares internacionales de 2005. El factor trabajo es medido con el número de trabajadores; el capital fijo es medido en dólares de 2005 también (Heston, Summers and Aten: 2009). Los “productos malos” son el dióxido de carbono emitido durante el proceso de producción (Boden, Marlan and Andres: 2009).

Los hechos estilizados del crecimiento económico consideran un proceso de producción simple con rendimientos constantes a escala que producen “productos buenos”,  $X$ , y “productos malos”,  $B$ , utilizando capital físico homogéneo,  $K$ , y trabajo,  $N$ , como insumos. Los bienes corresponden a la producción total descontando la depreciación del capital fijo, valuado en precios monetarios menos insumos intermedios de la producción, materias primas y auxiliares. Una fracción  $d$  del stock de capital es depreciada en cada periodo, por lo que la depreciación total es  $D = dk$ .

**TABLA 16. EL PROCESO DE PRODUCCIÓN (INSUMO PRODUCTO)<sup>23</sup>**

Insumos		Productos		
Capital	Trabajo	Bueno	Malo	Capital
K	N	X	B	K-D

La técnica de producción es descrita por la intensidad del capital,  $k$ , que es la relación entre el stock de capital y el trabajo utilizado; por la productividad del trabajo,  $x$ , que es la relación entre el “producto bueno” y la cantidad de trabajo utilizada; por las “emisiones del trabajo”,  $b$ , que es la relación entre el “producto malo” y la cantidad de trabajo utilizada; y por una tasa de depreciación,  $d$ . También es posible estimar la “productividad” del capital,  $\rho$ , como la relación entre el producto y el stock de capital. La emisión del capital,  $a$ , es la relación entre “producto malo” y el stock de capital; mientras que la emisión por unidad de producto generado,  $o$ , es la relación entre “producto bueno” y “producto malo”.

**TABLA 17. LOS COEFICIENTES INSUMO-PRODUCTO<sup>24</sup>**

<i>Insumos</i>		<i>Productos</i>		
<i>Capital</i>	<i>Trabajo</i>	<i>Bueno</i>	<i>Malo</i>	<i>Capital</i>
$K$	$1$	$x$	$b$	$(1-d)k$

La participación de los salarios,  $1 - \pi$ , representa la cantidad de producto que corresponde a los asalariados; el salario real,  $w$ , es medido como la relación entre el total del salario y los trabajadores empleados. La tasa de ganancia bruta,  $v$ , es medida como la participación de la ganancia,  $\pi$ , multiplicada por la productividad del capital.

Es posible estimar las tasas de crecimiento para cada una de las variables mencionadas antes. Así, este trabajo calcula las siguientes: la de productividad del trabajo,  $g_x = \Delta x/x$ , productividad del capital,  $g_p = \Delta p/p$ , intensidad del capital,  $g_k = \Delta k/k$ , emisiones del trabajo,  $g_b = \Delta b/b$ , emisiones del capital,  $g_c = \Delta c/c$ , y emisiones del producto,  $g_o = \Delta o/o$ .

<sup>23</sup> Extraído del documento original: MARQUETTI, Adalmir y MENDOZA PICHARDO, Gabriel, “Producción de bienes y emisión de dióxido de carbono (CO2)”, Consejo Nacional de Universitarios, 2012.

<sup>24</sup> Ibid.

De acuerdo a las mediciones realizadas por los autores con las bases de datos mencionadas y las variables presentadas, se obtienen, entre otros datos, los siguientes:

- Para la muestra de 142 países es posible observar que sólo en Liberia, Zimbabue, Somalia y Líbano ha disminuido el producto. La generación de “producto malo” ha caído en tres países desarrollados de Europa, cinco de los antiguos países comunistas europeos, cuatro países de África y Cuba. Para 123 países del panel, se encuentra que el aumento del stock de capital incrementa la generación de ambos tipos de producto. La expansión del factor trabajo también aumenta la generación de “productos buenos”, pero hay poca evidencia que indique una relación entre el aumento del número de trabajadores y el de emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, hay una relación positiva entre “producto bueno” y “producto malo”, y entre insumos capital y trabajo.
- Un análisis con el método de regresión local no paramétrica revela que la producción de “producto bueno” se incrementa con la expansión de ambos factores (capital y trabajo), mientras que la producción de CO<sub>2</sub> únicamente se incrementa con el uso de capital. Esto es que, dado un stock de capital fijo, elevar el empleo de trabajo expande la producción de “producto bueno” sin tener efecto en la de “producto malo”.
- De acuerdo a Kaldor (1961) hay tres hechos estilizados del crecimiento económico relacionados con el cambio técnico: la productividad del trabajo y la del capital por trabajador han crecido, mientras la relación capital-producto ha sido estable a lo largo del tiempo. Los resultados de los autores indican una situación un tanto más compleja pues la productividad del trabajo y la relación capital trabajo han caído en 34 y 37 países de la base, esto es alrededor de un 25% de la misma.

Los autores hacen notar que la generación de ambos tipos de producción está socialmente organizada, pero mientras los “productos buenos” pertenecen a algún país en específico y son distribuidos entre sus habitantes, el CO<sub>2</sub> no se concentra en el país productor sino que lo sufre toda la población mundial.

Con datos para una “economía mundial” formada por 82 países (el principal problema de hacer esta reducción de países es dejar fuera a antiguos miembros del bloque socialista y a Alemania, más aún cuando Rusia y Alemania fueron el cuarto y sexto país, respectivamente, en emisiones de CO<sub>2</sub> en 2007) y para el periodo 1973-2006, los autores obtienen que: el PIB creció en 3.3 veces mientras la emisión de CO<sub>2</sub> lo hizo al doble, así mismo, el empleo del factor trabajo se duplicó y el de capital físico se incrementó en 3.7 veces. Aunado a esto, la productividad del trabajo y la relación capital-trabajo se

incrementaron, mientras la productividad del capital cayó. Dada la evidencia encontrada de la caída de las emisiones, proponen que la economía puede crecer a un ritmo de 2% sin generar impactos en la concentración de contaminantes.

Estos autores concluyen su trabajo enumerando cuatro regularidades: i) la generación de ambos productos aumenta en el proceso de crecimiento económico; ii) la productividad del trabajo y la relación capital/trabajo se han incrementado, mientras la «productividad del capital» ha disminuido en el proceso productivo; iii) las emisiones por unidad de producto como de trabajo se incrementan en cada una de las etapas del crecimiento económico; iv) hay una gran diferencia tanto en niveles como en tasa de crecimiento de “producto bueno” y de “producto malo” en los distintos países.

En contraste con los hechos estilizados, el modelo muestra una disminución de la “productividad del capital”, lo que implica una creciente emisión de contaminantes.

De esta investigación se obtienen resultados interesantes, particularmente en el sentido de que muestra estadísticamente una relación histórica (1963-2006) positiva significativa entre el incremento del acervo de capital y el crecimiento de las emisiones de dióxido de carbono, mientras que demuestra que el aumento del trabajo incide en menor grado en el crecimiento de las emisiones.

Pone en evidencia, además, el hecho de que la productividad del trabajo incide directamente en las emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que sugiere que las estrategias de mitigación deberían enfocarse en la disminución de la intensidad energética. Muestra que para el periodo de estudio hay una disminución en la relación producto-capital, esto es, menos producto por unidad de capital empleado en el proceso productivo, cuestión que sugiere un impacto positivo en el nivel de emisiones.

Otra cuestión a destacar de los resultados de esta investigación, es que plantea que si bien todos los países tienen la obligación de pugnar por mejorar la calidad ambiental del planeta, los países con mayores índices de emisión (que para los autores son los desarrollados y los densamente poblados) tienen la responsabilidad, ante el resto del mundo, de contribuir a tal mejora disminuyendo las emisiones propias.

Este texto es el único de los analizados en que la función de producción tiene un doble producto, por un lado mercancías, por el otro CO<sub>2</sub>. Esta idea nos remite a la concepción de la Economía Ecológica, en la que, como lo mencionaba Georgescu, debe tenerse en cuenta que los recursos materiales y energéticos que son puestos en movimiento y transformados en el proceso de producción por el trabajo y el capital, generan desechos y reducen el stock de tales recursos, cuestión que es comúnmente ignorada por la



economía convencional, la cual sólo habla de la generación de bienes y no del impacto de la utilización de recursos naturales.

Como vimos en el capítulo 2, se pueden hacer diversas divisiones y subdivisiones de países en grupos, ello en función de lo que se pretenda demostrar, sin embargo, una de las más comunes es dividir a la economía global en países ricos y pobres, clasificación que depende de la riqueza generada y su distribución en cada país, así, cada Estado soberano tiene la capacidad de administrar su riqueza como mejor convenga a su población o a sus representantes. Sin embargo, cuando hablamos de emisiones ningún país puede administrar solamente las que le confieren de forma exclusiva, pues dadas sus características físicas, es un problema que se vuelve transfronterizo. Esto es algo que plantea el texto de Marquetti-Mendoza y de lo que no se habla mucho por parte de los países más ricos cuándo se negocian acuerdos de combate al cambio climático. Como hemos visto en el análisis empírico de esta investigación, la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera se ha venido incrementando de forma constante, hasta llegar en este año (2012) a estar cerca de las 295 ppmv, y ello afecta a todos los países por igual, sin tomar en cuenta el nivel de emisiones de cada uno.

Los autores indican que en su modelo la economía global puede crecer a un ritmo de 2% anual, si se alcanzan los niveles de productividad que plantean. Si pensamos en el caso de México, un crecimiento de 2% anual se encuentra muy por debajo de lo que el país necesita crecer para solventar todas las deficiencias que existen en el ámbito económico y social. También podemos retomar el caso de China, que es quizá el país con el crecimiento más dinámico de emisiones de CO<sub>2</sub>, en función de lo analizado en el capítulo 2, y donde un crecimiento económico de 2% es un escenario que parece distante a la realidad del país asiático, eso sin tomar en cuenta los elevados niveles de ineficiencia energética de dicho país.

En resumen, aunque es un modelo que ve al problema de una forma más integral, al tomar en cuenta a las emisiones como parte del proceso de producción, los resultados son poco favorables. Primero habría que alcanzar una elevada productividad energética, lo que es difícil en el contexto actual, sólo para que en el mundo del modelo la economía global pueda crecer, de forma “sustentable”, a un nivel de 2% anual.

Visto lo anterior y avanzando al siguiente texto, es de interés aclarar que para este apartado analizaremos dos textos de Duncan Foley y un tercero en el que comparte créditos con un par de autores más. Esto no quiere decir que nos concentremos demasiado en un solo enfoque de un autor, pues como el lector detectará, los tres trabajos en los que interviene Foley consideran aspectos distintos e incluso parten de un enfoque teórico distinto del problema.

Así, este primer trabajo que analizamos de Duncan Foley se titula **Los fundamentos económicos del calentamiento global** (*The economic fundamentals of global warming*), y parte de la idea de que la emisión de gases de efecto invernadero impondrá costos a las futuras generaciones, sin embargo, tanto las generaciones presentes como las futuras pueden disfrutar de un alto consumo de bienes si son capaces de corregir esta externalidad del proceso de crecimiento económico.

En este modelo se pretende encontrar la combinación óptima de energía y capital para generar la cantidad adecuada de bienes que satisfagan el consumo corriente, esto afectando lo menos posible a las generaciones futuras y sin emitir más contaminantes de los que la atmósfera puede asimilar.

Los elementos económicos fundamentales de un escenario de calentamiento global pueden ser expresados en un modelo simple que contenga cuatro componentes: el consumo de la generación presente,  $C$ , el consumo de las generaciones futuras,  $F$ , el stock de capital resultante de la inversión de la presente generación,  $K$ , y el stock de capital climatológico representando la reducción en el stock de gases de efecto invernadero en la atmósfera debido a la inversión de la generación presente en la mitigación del calentamiento global,  $E$ . En términos matemáticos,  $C$  y  $F$  son función de  $K$  y  $E$ . El consumo de la generación presente decrece con incrementos en  $K$  y  $E$  porque tanto la inversión convencional como climatológica desvían recursos reales del consumo, mientras el consumo de las generaciones futuras se incrementa con  $K$  y  $E$  porque un mayor capital convencional y un bajo daño ambiental mediante el calentamiento global implica que las generaciones futuras puedan producir y consumir más. Se considera al consumo presente,  $C$ , como fijo.

Mientras el costo de los recursos utilizados en mitigación se paga con capital convencional, el costo de los errores, excesos o falta de inversión en la mitigación del calentamiento global serán pagados por las futuras generaciones. Una forma de proteger el consumo actual es financiar la mitigación con préstamos. Pedir un préstamo para financiar la mitigación de los efectos del calentamiento global subirá las tasas de interés y desplazará la inversión marginal convencional, lo que garantiza que los recursos utilizados para la mitigación proceden de inversión convencional, no de consumo actual. Financiar la mitigación mediante préstamos también asegura que los costos monetarios sean pagados por las generaciones futuras, que serán los principales beneficiarios de la inversión climatológica.

Cuando la externalidad del calentamiento global no es corregida, la asignación de consumo entre generaciones presentes y futuras es ineficiente. La corrección en esta externalidad permite un aumento en el consumo de ambas generaciones. Es muy

importante tener presente que los recursos para la mitigación deben venir de inversión convencional y no de consumo actual.

Si las emisiones de gases de efecto invernadero se reducen como resultado de la regulación directa, impuestos al carbono o un sistema de permisos negociables de emisión, el efecto económico de la mitigación será elevar el precio real de la energía intensiva en carbono a los consumidores.

Llega a la conclusión de que la emisión de gases de efecto invernadero es una externalidad económica que no se ha podido corregir, lo que debe hacerse para encontrar una frontera de producción eficiente.

La tesis de que es posible tener un alto consumo de bienes manteniendo una baja razón de emisiones es muy interesante pues otros autores hablan de la contradicción central entre el deseo de elevar el producto y el deseo de reducir las emisiones contaminantes, sin embargo, este punto puede ser ampliamente discutido.

En resumen, este texto presenta un modelo en el que el consumo de las generaciones actuales y futuras, depende de la inversión convencional y de la inversión destinada al combate al cambio climático respectivamente. Aclarando que el gasto en el combate al cambio climático se ve, desde el punto de vista del autor, como una inversión.

El autor menciona que entonces, como los beneficiados del gasto en combate al cambio climático serán las generaciones futuras, este gasto debe ser financiado con deuda, que tales generaciones deberán pagar en el futuro. Aquí podemos recordar lo que es bien sabido, pero que también analizamos en el capítulo 2, el comportamiento de la economía global en los últimos años, así, surge la pregunta de qué tan adecuado es bursatilizar la inversión ambiental, cuándo en años recientes vimos colapsar al sector financiero global con una rapidez extraordinaria. Además, como lo indica la evidencia estadística del capítulo 2, el problema ya es nuestro, no sólo de las generaciones futuras.

Aquí es importante recordar el enfoque de la Economía Ecológica pues el autor sólo habla de consumo e inversión presente y futura, como si los recursos estuvieran dados y en el futuro no fuesen a existir problemas de escasez, hemos visto como la incertidumbre en cuanto al suministro de petróleo ha elevado los precios de forma muy significativa, lo que muestra que nos encontramos cada vez más expuestos a problemas de escasez de recursos naturales. Así, para evaluar si habrá o no capacidad de satisfacer las necesidades de generaciones futuras, es necesario tomar en cuenta factores más allá de la financiarización de la deuda.

Un cuarto texto que se expone en este afán de presentar las que consideramos principales regularidades teóricas es el de Armon Rezai, Duncan Foley y Lance Taylor titulado *Calentamiento global y externalidades económicas* (*Global Warming and Economic Externalities*). Este documento contrasta con los anteriores, en especial con los dos primeros, (Taylor y Marquetti-Mendoza), pues se basa en la idea de tratar al problema del calentamiento global como una externalidad del sistema económico que no permite alcanzar un óptimo punto de equilibrio.

Así pues, lo que nos dicen los autores es que dada la evidencia científica de que las emisiones humanas de gases de efecto invernadero (GHG) contribuyen al calentamiento global, el cual tendrá consecuencias económicas reales a través del cambio climático, y el hecho de que hasta este momento no existe un precio a las emisiones de GHG impuesto por alguna autoridad regulatoria, observamos que la emisión de GHG es una externalidad económica no corregida. Lo anterior lleva a que no exista equilibrio económico, o si lo hay es ineficiente. Como consecuencia no hay un costo de oportunidad económico real para corregir esta externalidad que permita mitigar el calentamiento global.

Aquí se usa un modelo de crecimiento simple Keynes-Ramsey para ilustrar el significativo potencial de un óptimo de Pareto para inversión en mitigación, y para explicar un apropiado concepto de equilibrio para modelar una incorrecta externalidad económica.

Con el objetivo de maximizar la comparabilidad de los resultados con modelos basados en la teoría neoclásica del crecimiento, la economía sólo produce un bien con una función de producción Cobb-Douglas,  $F [K,L]$ , con capital convencional y trabajo efectivo.

N: El trabajo efectivo consiste en el patrón de crecimiento de la población (dado exógenamente, medido en unidades convencionales, número de trabajadores)

B: Cambio técnico neutral de Harrod

L: De acuerdo a lo anterior  $L=BN$  (trabajo en unidades eficientes)

I: Inversión

$\delta$ : Tasa de depreciación del capital

K: Capital, que se incrementa en función a la inversión y decrece en función (exponencial) a la tasa de depreciación.

Este modelo se basa en conceptos del crecimiento con enfoque keynesiano y neoclásico, lo que se argumenta es que se puede alcanzar un nivel óptimo en el sentido de Pareto, en el que se pueden tener altos niveles de consumo con bajos niveles de emisión de

contaminantes. La cuestión de la disponibilidad de recursos naturales queda de lado, siendo el cambio técnico lo que determina la eficiencia del proceso de producción.

Es importante tener en cuenta que la elevación sin precedentes en la concentración de gases de efecto invernadero es responsabilidad de la humanidad. Es un tanto recurrente la idea de Foley acerca de que poniendo un precio a la emisión de contaminantes se puede combatir en algún grado el problema, será un punto que requiere un profundo análisis.

Hasta aquí se ha visto que una medida de combate a las emisiones muy común dentro del enfoque convencional es poner precio a las cosas, ya sea a los energéticos o las emisiones mismas, y que con tales precios se alcanzará un punto de equilibrio óptimo, al cual se producirá adecuadamente con el nivel óptimo de emisiones. Si recordamos la revisión al enfoque de la Economía Ecológica que se hizo en el capítulo 1 de la presente investigación, este indica que un Estado estable en el que todo funcione a niveles económicamente “óptimos” es prácticamente imposible de alcanzar debido a que los recursos naturales son finitos y a la entropía. De tal suerte, sin ánimo de generar un juicio, parece un tanto limitada la idea de que las cosas se resolverán asignando precios a los problemas.

Por ejemplo, en nuestro país llevamos ya algunos años con un incremento mensual constante del precio de la gasolina y los niveles de emisiones no se han visto frenados en su crecimiento, en el día a día sufrimos de los mismos congestionamientos viales y lo que al parecer a ocurrido es un desplazamiento hacia el consumo de la gasolina más económica. Ello es prueba de que para combatir a las emisiones se requiere de un programa integral que eleve la eficiencia no sólo energética, sino en general de todas las actividades sociales y económicas.

Por otra parte, la cuestión de que la elevación sin precedentes de los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera es responsabilidad de la actividad humana es un hecho que difícilmente se puede discutir, como lo muestran los datos estadísticos que se presentaron al inicio de la presente investigación, donde se ve un ascenso claro del nivel de concentración de CO<sub>2</sub> a partir del inicio de la era industrial.

Así llegamos a un quinto texto de análisis, el cual se titula **Cambio técnico endógeno con externalidades en un modelo de crecimiento clásico** (*Endogenous technical change with externalities in a classical growth model*). En este otro documento de Duncan Foley se aborda el problema desde una perspectiva distinta a las que hemos visto hasta este punto, introduciendo al factor tierra en la ecuación, aquí se usan: una extensión del

modelo de crecimiento de Foley y Michl de 1999<sup>25</sup> con tres factores productivos (trabajo, capital y tierra); un modelo clásico de acumulación de Goodwin; mercado de trabajo y modelo de cambio técnico endógeno representado por los modelos de Duménil y Lévy de 1995<sup>26</sup>.

Se plantea que cuando se asigna un precio a la tierra hay un patrón de crecimiento de estado-estable con propiedades de distribución deseables. Cuando no se da un precio a la tierra no existe estado estable y el patrón de crecimiento lleva a una catástrofe. Estos resultados ocurren cuando la elasticidad de la sustitución entre capital y trabajo es menor a la unidad.

Hay evidencia considerable de que la acumulación atmosférica de dióxido de carbono, metano y otros gases de efecto invernadero emitidos a través de combustión de combustibles fósiles llevará a mayores cambios climáticos en la Tierra, con importantes efectos económicos. Las naciones del mundo han acordado en la Conferencia de Kioto en 1997 poner en función algún sistema de incentivos económicos para controlar la emisión de gases de efecto invernadero. Esto podría estar basado en acciones tales como impuestos al carbón o un sistema de permisos de emisiones transable a escala mundial.

El autor argumenta que deben generarse medidas que ayuden a contener la emisión de gases de efecto invernadero. La cuestión particularmente crítica en la evaluación de políticas para controlar el calentamiento global es la predicción del impacto del incremento de los costos económicos producto de las emisiones contaminantes en las tecnologías descubiertas y adaptadas. La teoría convencional del crecimiento económico se aproxima a este problema expresando a la tecnología como una función de producción con tasas dadas exógenamente de mejora técnica en los insumos. Bajo la argumentación de que este fenómeno implica al menos los últimos 200-400 años, el autor hace énfasis en la complicación de trabajar con series de tiempo tan largas, pues hay poca experiencia trabajando con patrones de comportamiento tan largos en el tiempo, además de mencionar la dificultad que implica el desconocimiento de los impactos en los incentivos económicos que genera una introducción de cambio técnico impulsado por el combate al cambio climático. A este respecto, de acuerdo con Foley, Marx argumentaba que las relaciones sociales capitalistas ponen en marcha un potente motor social de inducción del cambio técnico, pues cada productor capitalista tiene el fuerte estímulo de descubrir y adoptar nuevas técnicas que reduzcan el costo de la producción.

---

<sup>25</sup> Foley, D. y Michl, T.R., "Growth and Distribution". Harvard University Press, Cambridge, MA. 1999

<sup>26</sup> Duménil, G. y Lévy, D., "A stochastic model of technical change: an application to the US economy", *Metroeconomica* 46, 1995, 213-245.

Considerando un modelo de crecimiento económico continuo en el tiempo donde el producto es “X” (neto de la depreciación del capital), que requiere emplear trabajo “N”, capital “K” y tierra “V”. Se tiene una función de producción:

$$X = G [Z, u]$$

Donde  $Z = F[\bar{K}, \bar{N}]$  es “producción”, un índice de esfuerzo productivo de los insumos capital y trabajo.  $\bar{N} = xN$  es el trabajo efectivo,  $\bar{K} = \rho K$  es el capital efectivo y “u” es la tierra efectiva. La tierra representa las limitaciones impuestas a la producción por la disponibilidad de recursos naturales y la capacidad del medio ambiente para absorber las emisiones de la producción. Así,  $x$ ,  $\rho$  y  $u$  son coeficientes efectivos que pueden variar sobre el tiempo como resultado del cambio técnico.

G es una función de producción con rendimientos constantes a escala cóncava, con una elasticidad de sustitución entre producción y tierra efectiva,  $0 < \tau < 1$ . Así, el producto puede expresarse como  $X = uG \left[ \frac{Z}{u,1} \right] = ug[z]$ .

Cuando la tierra es apropiada y tiene un precio, se supone que la renta será igual a su producto marginal. Ya que la función de producción tiene rendimientos constantes a escala, la participación de la producción en el producto cuando la tierra tiene precio, también será la elasticidad del producto por unidad de tierra efectiva con respecto a la producción por unidad de tierra efectiva,  $\xi\rho[z] = \frac{\bar{g}[z]}{\dot{g}[z]}$ , con  $\xi\bar{\rho} = \left(\frac{\bar{g}}{g}\right)\left(1 - \frac{1}{\tau}\right) < 0$  cuando la elasticidad de la sustitución entre producción y tierra es menor a 1. Así la renta compartida será  $1 - \xi\rho$  cuando la tierra tiene precio, o sea, será igual a la “producción” total menos la proporción de la producción cuando la tierra tiene precio. Cuando la tierra no tiene propietario ni precio, entonces la participación en la producción será  $\xi u = 1$ . Las expresiones  $\xi\rho$  o  $\xi u$ , se refieren a si la tierra tiene precio o no. Escribiendo “w” para el salario por trabajador empleado, el salario por trabajador efectivo es  $\bar{W} = \frac{w}{X}$ . Siguiendo el modelo de Goodwin de mercado de trabajo, se supone que el salario por trabajador empleado crece o cae con la tasa de empleo,  $e = \frac{N}{L}$ , de acuerdo a la ley  $\hat{W} = \delta(e - e_0)$ , donde  $\delta$  es un coeficiente que mide la capacidad de respuesta del salario a la tasa de empleo, y  $e_0=1$  es un nivel de empleo dado exógenamente en el cual el salario se encuentra normalizado a la unidad.

La introducción de la tierra en un modelo de crecimiento tiene efectos importantes en los patrones de acumulación a través del impacto de la riqueza de la tierra en las decisiones de consumo y ahorro. Hay un gran número de capitalistas idénticos que son propietarios de la tierra y el capital, la riqueza del capitalista representativo, medida a escala del tamaño de la economía en su conjunto, es  $J = K + P$ , donde P es el precio de la tierra.

De esta forma, el producto es una función de trabajo, capital y tierra (o recursos) disponibles. La emisión de gases de efecto invernadero es función del capital utilizado, de la productividad del trabajo y la cantidad de tierra disponible. La acumulación de gases en la atmósfera depende, además de lo anterior, de la capacidad que tiene el ambiente para absorber los gases emitidos.

De acuerdo al autor, el modelo de cambio técnico inducido ofrece una explicación alternativa de gran alcance respecto a la participación de los salarios en el crecimiento económico capitalista basado en el impacto de los costos compartidos en los incentivos para el cambio técnico. Este modelo se adaptó adecuadamente, según el autor, al caso de un insumo más (tierra).

El análisis anterior tiene importantes implicaciones en el sentido de predecir los impactos de largo plazo de los impuestos a las emisiones que permitan frenar el calentamiento global. El fenómeno del cambio tecnológico inducido hace una gran diferencia cualitativa en el comportamiento de la economía en el largo plazo.

Es muy importante tener en cuenta las limitaciones que el medio ambiente impone al crecimiento económico. En el concepto de Foley, la “tierra efectiva” es la extensión de esta disponible para generar insumos, pero también la capacidad del ambiente para absorber las emisiones de gases de efecto invernadero que genera el proceso de producción. En este sentido, este punto es muy importante para la presente investigación y cualquier otra, pues los “insumos” que genera la naturaleza no tienen la misma lógica de reproducción que el sistema capitalista en general.

En resumen, este texto parte de una función de producción convencional a la que se añaden los recursos naturales como una restricción (en el lenguaje del autor, “tierra”). Pareciera ser en un principio un texto que surge de un enfoque más integrado al tomar en cuenta a los recursos naturales como un factor determinante del crecimiento y las emisiones, sin embargo, la solución que se ofrece es asignar un precio a los recursos para hacer eficiente el proceso de producción.

Este enfoque puede ser controversial, desde nuestro punto de vista, en el sentido de poner precio a los recursos naturales. Es evidente que estos tienen un valor intrínseco, que puede ir más allá del valor de uso que tenga para los humanos, pero cuándo se asignan precios a los recursos se están convirtiendo en una mercancía más, y es cuestionable si deben ser tratados como tal. Además, en el caso extremo, las maderas preciosas, por ejemplo, cuando tienen precios muy elevados, estos invitan a una depredación mayor, lo que se traduce en costos ambientales y económicos muy altos.



### 3.2. Análisis para México.

Ahora bien, hasta este punto hemos dado enfoques variados del problema desde una perspectiva económica global, se espera que el lector tenga una idea relativamente definida de como es analizado el problema y de las distintas vías de solución o mitigación que proponen los distintos autores.

Para el caso mexicano, vale la pena dar una breve mirada a las contribuciones tanto teóricas como empíricas existentes. Elaborar un estudio intensivo en este sentido, sería una labor extensa que ofrecería resultados de la misma magnitud. Es por ello que aquí sólo hablaremos de una muy pequeña proporción de las aportaciones que han hecho tres investigadores de nuestra Universidad, y en particular de la Facultad de Economía. Estos tres autores son los doctores Alejandro Álvarez Béjar, Ángel de la Vega Navarro y Luis Miguel Galindo Paliza.

Cabe mencionar que en México el tema ha sido discutido también por diversos grupos de investigadores ajenos al área del crecimiento económico, como son los campos de la energía, de los recursos naturales, del desarrollo sustentable, etc. Sin embargo, a diferencia de otros países, y a pesar de ser un tema de investigación inter y multidisciplinario, las estrategias, estadísticas y políticas públicas distan mucho de la profundidad que tienen en los países más desarrollados. Es en este contexto que el trabajo coordinado por el Dr. Luis Miguel Galindo, llamado **La economía del cambio climático en México**, ofrece una serie de datos muy importantes para analizar el caso mexicano, que van desde depredación de áreas naturales, problemas a la salud, impacto negativo al turismo, energía, emisiones de CO<sub>2</sub>, y una variada gama de aspectos que dan cuenta de un minucioso esfuerzo por ofrecer parámetros y datos muy importantes para el estudio del cambio climático en nuestro país.

En este texto se habla de la evidencia existente que relaciona a actividades específicamente humanas, como el uso de energía fósil o el cambio de uso del suelo, y crecientes emisiones de gases de efecto invernadero, y a su vez, como este incremento de emisiones ha tenido impacto sobre el clima. Parte del hecho de que el clima es un bien público y, por ello, el cambio climático es la mayor externalidad económica negativa del sistema.

Se habla del cambio climático producto de la emisión de GEI como un fenómeno global que puede tener resultados catastróficos, de los cuales México no estaría exento, más aún, los impactos de este fenómeno en nuestro país han sido crecientes en los últimos años.

Su análisis parte de la base de que el producto (Y) es una función de la inversión (I), el empleo (E), el tipo de cambio real (SR), y los precios relativos de la energía (PRE), así:

$$Y = f(I, E, SR, PRE) \dots (G.1)$$

Además:

$$PE = f(S, W, PRE) \dots (G.2)$$

y

$$CE = f(Y, PRE) \dots (G.3)$$

esto es, el nivel de precios de los energéticos, PE, es una función del tipo de cambio nominal, los salarios y los precios relativos de la energía. Mientras el consumo de energía, CE, es una función del producto y los precios relativos de la energía. Así pues, una forma de combatir las emisiones de GEI es disminuir la combustión de hidrocarburos, lo cual puede lograrse si el precio de tales combustibles se incrementa en términos reales, esto es, si se alcanza el precio óptimo que lleve al máximo consumo eficiente de energía y a la mínima emisión eficiente de GEI.

Postula como indispensable el hecho de crear una estructura de precios relativos de los energéticos que vaya “acorde” con la búsqueda de un desarrollo sustentable. Así, los precios relativos deben reflejar las afectaciones de las externalidades negativas existentes en el uso de ciertos bienes. Plantea como ejemplos de bienes de los que debe reestructurarse su precio a la energía, las gasolinas y el agua, haciendo la aclaración de que esta reestructuración no debe olvidarse de cuestiones sociales.

Indica la necesidad de que México transite hacia una economía de baja intensidad de carbono, sin embargo, reconoce que en un país como el nuestro, y dado que tal transición requiere de altos recursos monetarios, esto puede ser un problema, pues los recursos internos son necesarios en cuestiones de infraestructura o seguridad social. De tal suerte, propone como una de varias soluciones el aprovechamiento en el corto plazo de recursos internacionales disponibles a través de fondos u organizaciones, y en el mediano y largo plazo cuestiones como acuerdos multilaterales que tengan como objetivo el combate al calentamiento global.

En general, se ofrece una salida que teóricamente se enmarca en el enfoque convencional de los fenómenos económicos, cuestión que invita a la discusión y proposición de métodos alternos o a contribuir al enriquecimiento de los principales postulados del texto. Algo que resulta muy útil de este minucioso trabajo es la serie de datos sobre contaminación, energía, biodiversidad, salud pública, entre otros tópicos, que ofrece y que

contribuyen a la comprensión y análisis de las causas y efectos del calentamiento global sobre nuestro país.

Otra investigación que aporta en varios sentidos a este trabajo y al estudio del caso mexicano, es la elaborada por el Dr. Alejandro Álvarez Béjar llamada **Cambio Climático, Transición y Seguridad Energéticas en México**, que presenta en su reporte final a la Universidad de Montreal en 2012. Aquí pone en evidencia el hecho de que si bien el Cambio Climático es un problema global, sus consecuencias si serán diferenciadas, pues obviamente las precipitaciones pluviales o sequías extremas afectarán primero a los países más pobres, con grandes extensiones costeras o altamente dependientes de actividades agrícolas.

En este sentido, se habla del caso de México como uno particularmente sensible debido a sus características geográficas y socioeconómicas. Ofrece datos que invitan a la reflexión acerca de nuestra vulnerabilidad ante el Cambio Climático, por ejemplo, que 60 de las 77 Ciudades más importantes del país se encuentran en zonas costeras con gran vulnerabilidad ante huracanes, o que  $\frac{3}{4}$  partes de la población del país sufre algún tipo de pobreza, y que el 85% del territorio es árido o semiárido sufriendo un acelerado proceso de deforestación (Álvarez Béjar: 2012). Ante este escenario es alarmante la pasividad y sumisión del gobierno de México para elaborar una firme y objetiva estrategia nacional de combate al cambio climático.

Cabe mencionar, y el autor lo hace, que mientras los países con mayores problemas de pobreza y geográficamente más expuestos, como México, sufrirán de forma más severa los efectos del cambio climático, los países desarrollados han sido históricamente los mayores responsables de las emisiones de GEI responsables del calentamiento global, y son precisamente ellos, destacando el caso de EEUU, quienes han puesto mayores trabas a los esfuerzos multilaterales de combate al cambio climático. Menciona el autor la gran problemática que significa a este respecto el hecho de que los países desarrollados no quieran comprometerse a la disminución de sus emisiones de CO<sub>2</sub> en un rango de entre 25% y 40%, y que los países subdesarrollados se nieguen a hacerlo a menos que los otros lo lleven a cabo (Álvarez Béjar: 2012). En este último punto refuerza lo planteado por Marquetti y Mendoza Pichardo en su texto antes analizado.

Es por ello que el autor invita al Estado, y al país en general, a explotar de forma responsable los recursos petroleros, a someter al análisis la viabilidad, en términos reales, de reducir gradualmente la participación del Estado en la cadena de valor energética y abrir la puerta cada vez más a la iniciativa privada, más aún, si, como lo afirma el autor, hemos llegado al “pico petrolero”. Pugna por un cambio de sistema energético, en el que ya no se dependa del 90% de energía fósil para el consumo interno, pero sobre todo invita

a pasar a una economía con mayor eficiencia energética, lo que permitiría administrar el remanente de petróleo que nos queda y, aunque aclara que en este sentido la contribución del país es poco significativa a nivel global, disminuir la intensidad de nuestras emisiones.

En el sentido de la búsqueda de crecimiento económico con bajas emisiones podemos citar también un artículo, entre tantos, del Dr. Ángel de la Vega Navarro que aparece en la revista **Energía a Debate** en su número de noviembre-diciembre de 2010, titulado “*Energía, Crecimiento y Cambio Climático en la perspectiva de Cancún*”. Aquí, De la Vega habla del grave problema que significa el hecho de que los países emergentes, grupo en el que destaca China, no quieran adquirir compromisos serios respecto a la baja en sus niveles de emisiones, y es que lo hacen pensando en el tan anhelado crecimiento económico.

El autor habla de lo que parecen ser dos paradigmas distintos sobre el cambio climático. Antes de Copenhague existía un paradigma “el cual consideraba que el cambio climático era un problema ambiental (externalidades) que se podría resolver gracias a la mitigación (reducción de emisiones) con un acuerdo internacional y un sistema de permisos negociables. Después de Copenhague, y en el marco de la crisis global, parece imponerse un nuevo paradigma: el cambio climático se relaciona estrechamente con el tema del desarrollo económico” (De la Vega: 2010). Así, este era un problema que ya no debía enfrentarse con un gran acuerdo internacional (como el intento de Kioto), sino desde el ámbito nacional o regional.

Nos indica que “la composición del producto es el principal determinante de las emisiones”, para el caso de México, por ejemplo, ofrece el dato esquemático de la industria del cemento, la cual tiene el primer lugar en consumo de combustóleo y el cuarto en el de electricidad, hay que recordar que la del cemento es una de las industrias con mayor índice de emisiones de GEI, en particular de CO<sub>2</sub>. Hace también la anotación de la estructura de la economía de los países como elemento potenciador de emisiones. Compara a México con EEUU, indicando que el segundo tiene una economía con mayor peso relativo del sector servicios (para 2009, 78.9% contra 65.1% de México), mientras nuestro país posee un peso relativo mayor del sector industrial (31.2% contra 20% de EEUU para 2009), evidentemente esto significa un uso de distintos tipos de energía que se traduce en un distinto tipo de emisiones (De la Vega: 2010).

Por último el autor concuerda con varios de los textos antes analizados, en particular los de Álvarez Béjar y Marquetti-Mendoza Pichardo, en el sentido de que una cuestión fundamental en la relación del crecimiento y las emisiones (y sus consecuencias) es atender al grave problema de desigualdad, tanto en México como en el resto del Mundo,

pues indica que hay una relación directa entre desigualdad internacional o pobreza, y degradación de los sistemas ecológicos, proponiendo que los países más afectados por consecuencia del cambio climático, generalmente los subdesarrollados, puedan tener un papel más activo en lo que él llama un probable *“nuevo régimen climático internacional”*.

### **3.3. Consideraciones generales de los textos.**

Los trabajos tratados aquí muestran la diversidad que existe en el enfoque sobre el tratamiento del problema de la contaminación que genera el proceso productivo. Sin embargo, si en un punto confluyen las distintas argumentaciones es en que las emisiones de CO<sub>2</sub> son en gran medida responsabilidad de actividades antropogénicas, y de la necesidad de crecimiento económico en particular. Aunque los tratamientos y diagnósticos propuestos pueden variar en cada texto, (por ejemplo, mientras Taylor habla de una catástrofe casi inminente, Foley dice que es posible mantener una alta producción y consumo de bienes si se corrige “la externalidad” económica que es el cambio climático), lo central es tratar y alertar sobre un fenómeno que puede resultar catastrófico para la humanidad. Todos los textos hablan en algún grado de la importancia de la eficiencia energética como herramienta para abatir emisiones de CO<sub>2</sub>. Es importante hacer notar que para el caso de México, el análisis más adecuado, a nuestro juicio, es el elaborado por Álvarez Béjar, pues aunque no cuenta con un modelo econométrico, describe de forma detallada una amplia gama de regularidades y relaciones sociales que son muy particulares de nuestro país.

Este trabajo utiliza los análisis anteriores como punto de referencia, es decir, para partir de algo ya establecido, ya sea para apoyarse en la argumentación o para generar una crítica fundamentada de lo que proponen otros autores referente al tema.

## CONCLUSIONES.

A lo largo de este trabajo ha quedado de manifiesto el hecho de que el ritmo de crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub>, y por tanto de su concentración en la atmósfera, está directamente determinado por el comportamiento del consumo de energía primaria, la que a su vez depende del ritmo de crecimiento económico. Las tendencias históricas, los datos empíricos actuales y las relaciones econométricas (todo ello presentado a lo largo del trabajo) así lo indican.

En primer lugar mostramos los datos históricos, así como algunos enfoques de los muchos existentes respecto al fenómeno, ello con la finalidad de dejar claro que en efecto hay una relación histórica de los tres elementos. En segundo lugar, analizamos como se han comportado las tres variables analizadas (crecimiento, consumo de energía, emisiones) en el periodo de tiempo que estudia este texto, se trató de demostrar que el hecho de que los países menos eficientes energéticamente sean los más dinámicos económicamente, ha potenciado el nivel de emisiones, lo que es consistente con nuestra tesis que indica que la eficiencia energética es central para abatir los niveles de CO<sub>2</sub>. Y por último se puso en evidencia que teóricamente la eficiencia energética es un argumento central para las distintas corrientes económicas al proponer herramientas para el combate al calentamiento global.

Prácticamente todos los autores de los modelos vistos, coinciden en el hecho de que el consumo de energía, y sus consecuentes emisiones, varían en la misma dirección que la productividad del trabajo y en sentido contrario a la productividad de la energía. Este fue un supuesto del que partimos pues ya se ha demostrado estadísticamente.

Así, en el periodo de análisis, quedó de manifiesto con los datos mostrados que el crecimiento económico y las emisiones de CO<sub>2</sub> se mueven casi de forma conjunta, ello a pesar de un decremento en la intensidad energética. Entonces, dado que las relaciones históricas indican un incremento en la productividad del trabajo como parte intrínseca del sistema capitalista, y dando por supuesto que todos los países buscan el incremento del ingreso real de sus habitantes, la única forma de disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub>, y su consecuente concentración en la atmósfera, es disminuyendo en un mayor grado al actual la intensidad energética. Lo anterior bajo el supuesto de que al menos en las próximas dos o tres décadas no habrá un cambio significativo en la composición de la matriz energética mundial.

En nuestro análisis, también quedó de manifiesto la potenciación de las emisiones de CO<sub>2</sub> debido a lo que consideramos es una nueva división internacional del trabajo, que se ha gestado a partir de la profundización del proceso de globalización, profundización que se

debe en gran medida al desarrollo de las llamadas Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC). Dado esto, observamos un proceso de terciarización de las economías más ricas del mundo, mientras los países emergentes tienen una considerable producción industrial en relación a su PIB, ello debido en buena medida a que partes del proceso productivo más intensivas en trabajo han sido mudadas desde las potencias centrales hacia las regiones en las que encuentran una baja de costos debida a la existencia de fuerza de trabajo más barata y regímenes impositivos favorables.

Hemos visto el caso de China como un foco de alarma a nivel mundial en cuestión de emisiones. Procesos productivos intensivos en carbón, una estructura de la producción cargada hacia el sector industrial, ritmos de crecimiento envidiables para muchos países desarrollados junto con una enorme población, han convertido al país asiático en el mayor emisor de CO<sub>2</sub> desde hace varios años, ello a pesar de que su ingreso per cápita dista mucho del de países desarrollados, lo que indica que aún tiene un gran potencial de crecimiento (en todos sentidos).

Lo mismo pasa con los demás países llamados emergentes, que aunque no en los niveles chinos, son los que han mostrado un mayor dinamismo en su crecimiento en últimos años, lo que aunado al uso de tecnologías menos eficientes energéticamente en relación con las utilizadas en el “Primer Mundo”, a marcos regulatorios ambientales laxos, a una creciente y desmedida explotación de sus recursos naturales, así como a la composición de su matriz energética, han contribuido a tener ritmos de crecimiento sin precedentes de emisiones de CO<sub>2</sub> en los últimos años. Es por ello que a pesar de una fuerte recesión en la actividad económica en los años 2007 y 2008, está no impactó de forma significativa en el nivel de concentración de CO<sub>2</sub>.

Pero no sólo contribuyen al problema los países en desarrollo con importante dinamismo económico, también países como Venezuela, Irán, Arabia Saudita, entre otros, contribuyen debido a su estructura altamente intensiva en uso de energía fósil, y por ello en emisiones, debida a las enormes reservas de petróleo que poseen.

Y no pueden quedar fuera de la ecuación los países más avanzados, pues aunque ya no tienen una composición sectorial tan intensiva en emisiones como los subdesarrollados, han contribuido históricamente con la mayor proporción de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Entre ellos hay que destacar el caso estadounidense, que si bien pudimos observar en el primer capítulo ha mantenido estables sus emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita, es el segundo consumidor de energía primaria y de emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel mundial, y el único país que se acerca a los niveles chinos en ambos rubros.

Así, el origen de las emisiones de CO<sub>2</sub> que contribuyen de forma más que significativa al calentamiento global, es un mosaico multifacético que refleja las condiciones históricas de cada ente involucrado en él. Esta multitud de causas implica estrategias integrales a nivel global, que atiendan las distintas problemáticas en base a sus particularidades. Sin embargo, creemos que el punto en que confluyen diferentes posturas analíticas es el aumento de la eficiencia energética, que es lo mismo que la disminución en la intensidad de la energía o el incremento en la productividad de la misma.

El abogar por soluciones integrales, implica que cada quién cumpla con la parte que le corresponde. Y es ahí donde encontramos las mayores trabas al combate del problema. Los países más avanzados no quieren cumplir con las cuotas establecidas en el incremento de la eficiencia en su uso de energía y de la disminución de emisiones; los demás están dispuestos a hacerlo sólo si los primeros lo llevan a cabo.

Parece que son los países desarrollados los que deben invertir en la generación de las tecnologías que permitan lograr el tan anhelado incremento en la eficiencia energética, pues cuentan con los recursos y la infraestructura para hacerlo. No deben creer como correcto el hecho de que sustentaron su desarrollo en la afectación ambiental de todo el mundo, el adquirir conciencia de ello implicaría que aceptarán su responsabilidad histórica en el problema y su obligación por contribuir en mayor proporción a su abatimiento.

Los países subdesarrollados son los que resienten y, en la medida en que se agudicen, resentirán en mayor grado las consecuencias del cambio climático. De tal suerte deben jugar un rol más activo a nivel global en el combate al calentamiento global. De ellos podemos aprender formas diferentes de relacionarnos con la naturaleza, cambiar del modo depredador de recursos naturales occidental a uno que nos indique que somos parte del medio y nos haga sentirnos responsables por lo que le ocurre.

También analizamos distintos enfoques teóricos de la problemática. A pesar de ello podemos hablar de algunas regularidades. La mayoría coincide en que es un problema causado por la humanidad en su búsqueda de elevar su nivel de vida y no explotar los recursos naturales de forma controlada. También coinciden en que hay que disminuir el uso de energía fósil, ya sea poniéndole un precio elevado, generando un marco regulatorio estricto o elevando su rendimiento con la utilización de nuevas tecnologías. Otro punto en el que varios confluyen es que si no se atiende al problema con carácter de urgente los costos serán mayores (en términos monetarios, ambientales o sociales).

De esta forma, consideramos que nuestra hipótesis se ve ampliamente apoyada tanto por los datos estadísticos mostrados en el capítulo 2, como por los postulados teóricos analizados en el tercer capítulo.



En conclusión, el cambio climático producto del efecto invernadero originado por la alta emisión de GEI, en particular de CO<sub>2</sub>, es un problema del proceso de desarrollo de la humanidad en el que todos tenemos algún grado de responsabilidad. Su combate depende de nuestra capacidad de cambiar ciertas cuestiones del proceso de producción para que, sacrificando en la menor medida posible nuestro nivel de vida, seamos capaces de avanzar hacia un modelo de crecimiento económico con baja intensidad en emisiones.

## BIBLIOGRAFÍA

### Libros:

- FOLEY, D. y MICHL, T.R., *"Growth and Distribution"*. Harvard University Press, Cambridge, MA. 1999
- GALINDO PALIZA, Luis Miguel, *"La economía del cambio climático en México"*. SHCP, México, Junio, 2008.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholae, *"The Entropy Law and the Economic Process"*, Harvard University Press, Primera edición, 1971.
- MASLIN, M., *"Global Warming, a very short introduction"*. Oxford University Press, Oxford 2004
- SOLOW, R., *"Growth Theory: An Exposition"*. New York: Oxford University Press. 1970.

### Artículos y ponencias:

- Armon Rezai, Duncan K. Foley, and Lance Taylor, **"Global Warming and Economic Externalities"**, SCEPA Working Paper 2009-3, WORKING PAPER SERIES, February 2009.
- ARRHENIUS, Svante. **"On the Influence of Carbonic Acid in the Air Upon the Temperature of the Ground."** Philosophical Magazine, Núm. 41, 1896.
- ARROW, K., BOLI, B., COSTANZA, R., **"Economic Growth, Carrying Capacity, and the Environment"**. Science Magazine, Vol. 268, 28 Abril de 1995, pp. 520-521.
- BARNETT, P. Tim y Neil Adger, **"Seguridad y Cambio Climático Hacia un Mejor Entendimiento de Oslo, Noruega"**, Taller sobre Seguridad Humana y Cambio Climático, 2005.
- BODEN, T., MARLAND, G., ANDRES, B., **"Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO2 Emissions"**. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, 2010. Disponible en: [http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/tre\\_glob.html](http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/tre_glob.html), Downloaded: 3/2/2010.
- CALLENDAR, GS. **"The Artificial Production of Carbon Dioxide and Its Influence on Climate."** Quarterly J. Royal Meteorological Society 64, 1938.

- DE LA VEGA NAVARRO, Ángel, **“Energía, Crecimiento y Cambio Climático en la perspectiva de Cancún”**, en *Energía a Debate*, Noviembre-Diciembre de 2010.
- de ZEEUW, Aart, **“Dynamic effects on the Stability of International Environmental Agreements”**, *Journal of Environmental Economics and Management*, Num. 55, pp. 163-174.
- DUMÉNIL, G. y LÉVY, D., **“A stochastic model of technical change: an application to the US economy”**, *Metroeconomica* 46, 1995, 213–245.
- FOLEY, Duncan, **“Endogenous technical change with externalities in a classical growth model”**, Department of Economics, Graduate Faculty, New School University, 65 Fifth Avenue, New York, NY 10003, USA Received 19 November 2001; accepted 15 August 2002.
- FOLEY, Duncan, **“The economic fundamentals of global warming”**, Leo Model Professor of Economics, New School for Social Research, External Faculty Member of the Santa Fe Institute, October, 2007.
- LÓPEZ, Ramón, **“The environment as a factor of production: The effects of Economic Growth and Trade Liberalization”**, *Journal of Environmental Economics and Management*, Num. 27, pp. 163-184.
- MARQUETTI, Adalmir y MENDOZA PICHARDO, Gabriel, **“Producción de bienes y emisión de dióxido de carbono (CO2)”** en CALVA, José Luis, Coord., **“Cambio Climático y Políticas de Desarrollo Sustentable”**, Análisis Estratégico para el Desarrollo, Volumen 14, Consejo Nacional de Universitarios, 2012.
- PANAYOTOU, Theodore, **“Economic growth and the environment”**. Harvard University and Cyprus International Institute of Management. 2003.
- STERN, Paul, **“New Environmental Theories: Toward a Coherent Theory of Environmentally Significant Behavior”**, *Journal of Social Issues*, Vol. 56, Issue 3. Año 2000, pp. 407-424.
- TANAKA, Nobou, Director Ejecutivo, **“World Energy Outlook, China”**. International Energy Agency (IEA), Beijing, 17 de Noviembre de 2010.
- TAYLOR, Lance, **“Energy Intensity, Greenhouse Gas, and Global Warming”**, Background paper World Economic and Social Survey 2010.

- TYNDALL, John. "On the Absorption and Radiation of Heat by Gases and Vapours" Philosophical Magazine, 1861.

Bases de datos y manuales:

- BP Statistical Review of World Energy June 2011
- ENERGY EFFICIENCY POLICIES AROUND THE WORLD: REVIEW AND EVALUATION. World Energy Council (WEC) 2008.
- HESTON, A., SUMMERS, R., and BETTINA, A., "Penn World Table Version 6.3", Center for International Comparisons of Production, Income and Prices at the University of Pennsylvania, 2010. Available in: <http://pwt.econ.upenn.edu>. Descargado: 3/3/2010.
- WORLD ENERGY OUTLOOK (WEO) 2010, International Energy Agency (IEA). Disponible en [www.worldenergyoutlook.org](http://www.worldenergyoutlook.org)

#### REFERENCIAS INTERNET:

- SERIES HISTÓRICAS BANCO MUNDIAL, 209 PAÍSES (1981-2010)
- PARTICIPACIÓN SECTOR SERVICIOS:  
<http://datos.bancomundial.org/indicador/NV.SRV.TETC.ZS/countries?page=5>
- PARTICIPACIÓN SECTOR INDUSTRIAL:  
<http://datos.bancomundial.org/indicador/NV.IND.TOTL.ZS?page=5>
- PARTICIPACIÓN SECTOR AGRÍCOLA:  
<http://data.worldbank.org/indicador/NV.AGR.TOTL.ZS/countries>
- PIB POR UNIDAD DE ENERGÍA:  
<http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.GDP.PUSE.KO.PP.KD/countries?page=1>
- CONSUMO DE ENERGÍA FÓSIL:  
<http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.COMM.FO.ZS/countries>
- PIB PPA PRECIOS CONSTANTES DE 2005:  
<http://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.PP.KD?page=5>
- UTILIZACIÓN DE ENERGÍA PRIMARIA:  
<http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.COMM.KT.OE/countries?page=5>
- CAMBIO CLIMÁTICO.ORG <http://www.cambioclimatico.org/contenido/tres-electricas-chinas-emiten-mas-co2-que-todo-reino-unido>