

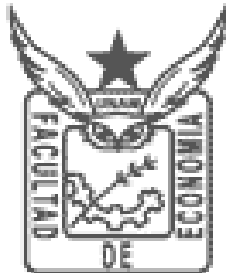


**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

FACULTAD DE ECONOMÍA

**EFFECTOS DE LAS EMISIONES DE CO₂
EN EL CRECIMIENTO ECONÓMICO Y SUS FACTORES:
UN ENFOQUE CON DATOS DE PANEL.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADO EN ECONOMÍA
P R E S E N T A :
ARELI MENDIETA PACHECO



ASESOR: MTRO. ARMANDO SÁNCHEZ VARGAS

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DEL 2006
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"



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.

*Este importante paso se lo dedico a Dorotea y a Amado,
pues lo que soy y lo que seré es gracias a ellos;*

A Sandy y Mittany pues me enseñan cada día algo nuevo;

A “Aje” por enseñarme lo que puede hacer una gran amistad;

A la “BanK” por ser tan especiales;

*A mis amigos de la Facultad de Economía (tendría sería
mencionarlos a todos) por haber estado... y estar aun...*

*A los profesores que he tenido en la Facultad de Economía, por
haber cincelado mi pensamiento **economista** en diferente estilo e
intensidad;*

*Especialmente a los profesores C. Ruíz, M.A. Mendoza,
L.M. Galindo y H. Catalán, por lo importante que fueron para mí
sus clases y por haberme permitido participar en sus proyectos;*

*Finalmente aunque principalmente al profesor A. Sánchez,
por haber escuchado mi idea y haber encaminado
su materialización.*

He ... Wo de swt kttn ... W. H. N.

Para reflexionar antes...

“Por muy lejos que vaya el espíritu, nunca irá más lejos que el corazón.”

Confucio

“Cuando veáis a un hombre sabio, pensad en igualar sus virtudes.

Cuando veáis a un hombre desprovisto de virtud examinaos vosotros mismos.”

Confucio

“La ignorancia es la noche de la mente, pero una noche sin luna y sin estrellas.”

Confucio

““Los defectos de un hombre se adecuan siempre a su tipo de mente.

Observa sus defectos y conocerás sus virtudes”

Confucio

“Quien pretenda una felicidad y sabiduría constantes,

deberá acomodarse a frecuentes cambios”

Confucio

EFFECTOS DE LAS EMISIONES DE CO_2
EN EL CRECIMIENTO ECONÓMICO Y SUS FACTORES:
UN ENFOQUE CON DATOS DE PANEL

I. INTRODUCCIÓN.....	6
II. INTERACCIONES ENTRE CRECIMIENTO ECONÓMICO Y EMISIONES CONTAMINANTES	10
II.A. GENERACIÓN Y REPERCUSIONES DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES	11
II.A.1 SOBRE DE LA CONVENCION DE KYOTO DE 1997	13
II.B. HECHOS ESTILIZADOS SOBRE LAS INTERACCIONES.....	16
II.C. REVISIÓN LITERARIA SOBRE LA RELACIÓN DEL CO_2 Y EL CRECIMIENTO ECONÓMICO	19
II.D. COMENTARIOS GENERALES.....	23
III. MODELO CONJUNTO DE LA FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN Y EMISIONES CONTAMINANTES	27
III.A. LA FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN AMPLIADA Y EL CRECIMIENTO ECONÓMICO	28
III.B. FORMALIZACIÓN DEL MODELO Y ESTÁTICA COMPARATIVA.....	32
III.C. FORMALIZACIÓN CON FORMA FUNCIONAL COBB DOUGLAS	36
IV. METODOLOGÍA ECONÓMICA: TRES TÉCNICAS DE DATOS DE PANEL	40
IV.A. MODELO DE PANEL ESTÁTICO	43
IV.A.1. EFECTOS FIJOS.....	46
IV.A.2. EFECTOS ALEATORIOS.....	49
IV.B. MODELO DE VARIABLES INSTRUMENTALES.....	50
IV.C. MODELO DE PANEL DINÁMICO.....	51
V. ESTIMACIONES EMPÍRICAS DEL EFECTO DE LAS EMISIONES DE CO_2 SOBRE	

EL CRECIMIENTO ECONÓMICO MEDIANTE ESTIMACIONES CON DATOS DE PANEL.....	55
V.A. PANEL ESTÁTICO.....	58
V.A.1. ESTIMACIÓN DE LA FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN AMPLIADA	59
V.A.2. PANEL ESTÁTICO DE LAS FORMAS REDUCIDAS CON EFECTOS FIJOS	61
V.A.2.1. ESTIMACIÓN DE LA FORMA REDUCIDA DE LA FUNCIÓN DE PRODUCCION.....	62
V.A.2.2. ESTIMACIÓN DE LA FORMA REDUCIDA DE LA FUNCIÓN DEL CAPITAL	63
V.A.2.3 ESTIMACIÓN DE LA FORMA REDUCIDA DE LA FUNCIÓN DEL TRABAJO.....	64
V.B. PANEL CON VARIABLES INSTRUMENTALES	64
V.B 1. ESTIMACIÓN DE LA FORMA REDUCIDA DE LA FUNCION DE PRODUCCION.....	65
V.B.2. ESTIMACIÓN DE LA FORMA REDUCIDA DE LA FUNCION DEL CAPITAL.....	66
V.B.3 ESTIMACIÓN DE LA FORMA REDUCIDA DE LA FUNCION DEL TRABAJO	67
V.C. PANEL DINÁMICO	67
V.C 1. ESTIMACIÓN DE LA FORMA REDUCIDA DE LA FUNCION DE PRODUCCION	68
V.C.2. ESTIMACIÓN DE LA FORMA REDUCIDA DE LA FUNCION DEL CAPITAL	69
V.C.3 ESTIMACIÓN DE LA FORMA REDUCIDA DE LA FUNCION DEL TRABAJO	70
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES.....	71
ANEXOS	75
REFERENCIAS	76

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico, como muchos especialistas han previamente descrito depende de la dinámica del mercado mundial, el tamaño de la economía, la tecnología, la población, la estructura sectorial, así como la composición energética, el incremento de emisiones contaminantes ambientales provenientes de la actividad y la expansión empresarial y manufacturera, que impactan al cambio climático y a su vez afectan cada vez más nuestra calidad de vida.

Por lo que el medioambiente y los recursos naturales constituyen ambiguamente un factor importante en el proceso de crecimiento económico, pues este puede determinar un límite al crecimiento económico. Este límite al crecimiento podría incrementarse partiendo de los montos existentes y finitos de algunos recursos naturales tales como los materiales brutos o crudos, o por limitada habilidad de la naturaleza para absorber los contaminantes humanos.

El crecimiento económico depende de muchos factores de producción, algunos de estos que son utilizados de manera intensiva generan externalidades negativas en los factores de producción aunque al mismo tiempo motiven el crecimiento económico¹. Las externalidades negativas provenientes de la utilización de algunos factores afecta la expansión de la acumulación de capital, así como la productividad de los individuos y su bienestar.

Esto debido a que el uso intensivo de algunos insumos (inputs) de producción, incrementa el nivel de producto, pero al mismo tiempo genera mayores emisiones contaminantes, que afecta negativamente la salud. Estos efectos generan costos macroeconómicos cuya magnitud ha sido estudiada y evaluada anteriormente utilizando diferentes métodos de estudio por diversos

¹Como es el caso de factores de producción utilizados en los sub-procesos de generación de los diferentes tipos de energía, el cual es también un factor de producción que genera externalidades.

autores como Kalaitzidakis (2006), Azomahou (2001), Gilland (1998), Zhang (1996), Selden (1992), entre otros.

Actualmente varios autores han utilizado modelos de equilibrio general, análisis estadístico, y modelos econométricos que buscan explicar la relación entre el crecimiento económico y las emisiones contaminantes. De igual manera, en esta tesis se busca explicar las interacciones entre la dinámica del producto y los factores que lo determinan, tales como Trabajo y Capital; pero agregando como factor adicional a las emisiones de CO₂².

Aunque parece una relación difícil de formalizar, pueden exponerse los efectos por varios enfoques, dependiendo de los factores explicativos que se utilicen para determinar las relaciones³. El principal objetivo de esta tesis es determinar el impacto de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en la oferta de trabajo, en la acumulación del capital, y fundamentalmente sobre el producto agregado. Esto mediante un modelo econométrico de panel en el periodo de estudio de 1989 a 2005, para 10 países industrializados y desarrollados, que firmaron el Protocolo de Kyoto: Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Italia, Japón, Holanda, y Estados Unidos.

Por lo que en esta tesis se demostrara empíricamente la existencia de una relación directa entre los efectos de las emisiones contaminantes, de las cuales aquí solo se retoman los niveles de CO₂, sobre el crecimiento económico. Esto ultimo mediante el uso de una función de producción ampliada. Esto es, desde un punto de vista de los factores de oferta que la determinan⁴.

² En este estudio buscamos exponer las interacciones entre la producción, sus componentes de oferta, y el CO₂ primordialmente. Se escogió el CO₂ porque a este se le atribuye el 60% del efecto invernadero intensificado a largo plazo, sin olvidar el contenido ya en la atmósfera. Además, que la principal fuente de emisiones de CO₂ se debe al uso de combustibles fósiles, que han sido y son la principal fuente de energía, lo que dificulta su reducción.

³ Nuestro estudio retoma el enfoque de oferta, aunque podría realizarse igual por parte de la demanda.

⁴ Pues también se puede desarrollar el estudio por medio de la demanda, que en conjunto mostrarían el efecto completo de las emisiones contaminantes en la economía global.

La hipótesis principal a demostrar en esta tesis es que “*las emisiones contaminantes son un factor determinante del crecimiento económico*”; construimos un modelo conjunto, con una función de producción ampliada. Para ello, formalizamos y estimamos un modelo sencillo que captura las principales interacciones entre las variables de oferta y las emisiones de CO₂.

Este modelo incluye una función de producción ampliada, con un factor de producción (*input*) *contaminante* que impulsa el crecimiento económico, a la vez que, genera externalidades negativas en el producto a través de efectos reductores sobre los factores trabajo y capital.

En la primera sección exponemos los hechos estilizados acerca de las interacciones entre el producto, los factores de oferta y las emisiones de CO₂. En la segunda sección se formaliza un modelo simple de oferta agregada que permite llevar a cabo ejercicios de estática comparada sobre los efectos de shocks exógenos en el nivel de emisiones de CO₂ sobre el producto global.

Así, partimos de una función de producción ampliada donde se incorpora el factor contaminación ambiental o *Pollution*, el cual denotaremos en adelante como “*P*”, el cual asumimos reflejará el comportamiento de la generación de diversos tipos de energía⁵. También en esta sección se realiza la aplicación de estática comparativa que explica los efectos de “*shocks*” en el producto.

En la cuarta sección llevamos a cabo las estimaciones de nuestro modelo propuesto usando un panel de datos de 10 países industrializados y desarrollados⁶. Para esto se especifica un modelo econométrico con datos de

⁵ Pues no toda la generación de energía resulta en emisiones contaminantes, ya que depende de si son insumos contaminantes los se utilicen en su producción; como la leña, el petróleo, el carbón, etc

⁶ Estos han firmado el protocolo de Kyoto y se verán afectados por los convenios de reducción de emisiones, por lo que se han seguido el comportamiento estadístico de sus emisiones contaminantes.

una muestra de economías industriales y desarrolladas firmantes del protocolo de Kyoto⁷.

Los principales resultados confirman que existe un efecto positivo entre el CO₂ y el crecimiento económico, lo cual permite explicar las interacciones de los distintos países. La evidencia empírica que mostraremos conduce a la discusión sobre implicaciones de política económica – ambiental regional e internacional, por el peso que las emisiones contaminantes tienen en la función de producción, esto es por el costo o beneficio en los agentes económicos de pretender reducir las emisiones contaminantes.

Esto puede ser por medio de implementación de impuestos especiales por la cantidad de emisiones generadas, o modificar las costumbres y preferencias en consumo y generación de energéticos, desarrollo tecnológico dirigido al incremento de calidad de vida global o sustitución tecnológica antigua por “limpia”, a través del tiempo en industrias y/o empresas.

Lo que implicaría mayor inversión y/o mayores costos a corto plazo, lo cual no se reflejará en beneficios inmediatos, esto es, en la tasa de crecimiento económico que merma los planes e intenciones de sustitución tecnológica de agentes económicos.

En la última sección discutimos los resultados y se aclaran los efectos de las emisiones de CO₂ en el producto o ingreso de los países. Se llega a conclusiones acerca del significado de la ratificación del protocolo de Kyoto para este conjunto de naciones y se delinearán algunas medidas de política que derivan de nuestro análisis empírico.

⁷ Aunque estas no lo hayan ratificado aun, como Estados Unidos y Australia. Las cuales se encuentran listadas en el anexo I o anexo B del protocolo de Kyoto (1998).

II. INTERACCIONES ENTRE CRECIMIENTO ECONÓMICO Y LAS EMISIONES CONTAMINANTES

Nuestro estudio parte de la verificación de la hipótesis en la realidad, lo cual se muestra en esta sección. Se explican los hechos estilizados a partir de la elaboración de gráficas donde se contraponen las variables, que encamina la especificación de un modelo de crecimiento económico. Con esto se inició el proceso de análisis de las interacciones entre el crecimiento económico y las emisiones contaminantes, así como este último y los factores de producción: Capital y Trabajo.

Esto, a través de la adaptación de un modelo de crecimiento económico con una función de producción ampliada, donde se añade un factor de producción que genera directamente externalidades ambientales, esto es un factor contaminante que influye en la función de oferta. Este factor contaminante son las emisiones de dióxido de carbono, el cual tiene un efecto corrosivo sobre los factores trabajo y capital. Sin embargo el efecto conjunto de ambos, es menor que el efecto directo que mantiene sobre el crecimiento económico.

Posteriormente, se justifica el factor emisiones contaminantes añadido, esto es un factor ambiental, es un elemento importante, pues a causa del crecimiento económico progresivo y las actividades humanas contaminantes, se han incrementado la posibilidad de un cambio climático, por el incremento de las concentraciones de gases de invernadero en la atmósfera, que intensifican la velocidad del proceso natural del efecto invernadero, el cual va permitiendo el paso de la radiación solar a la tierra.

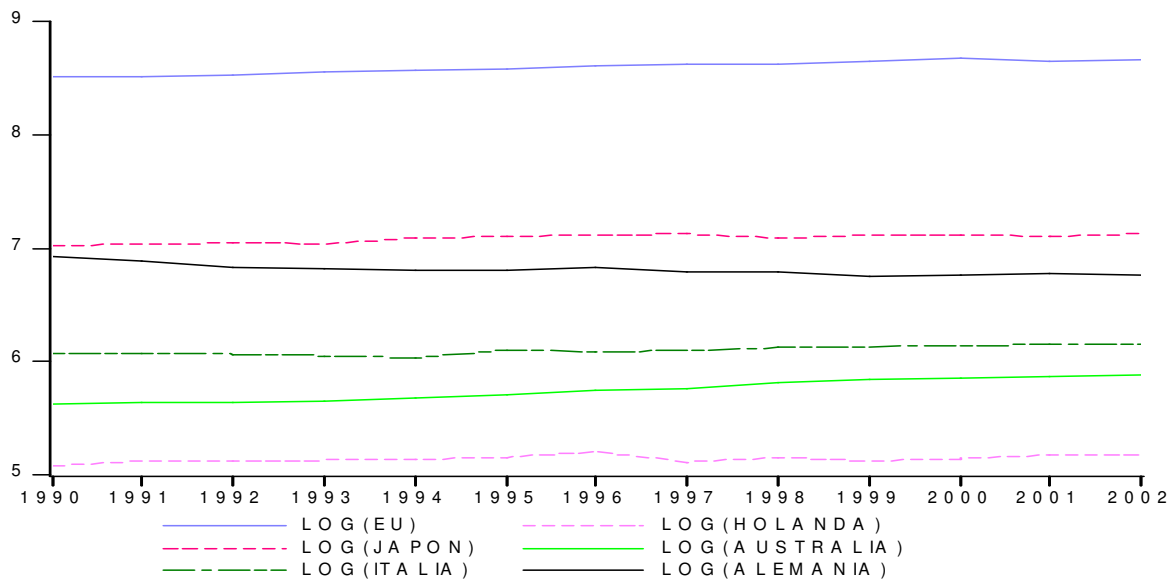
Por ultimo en este capítulo se realizó la revisión de estudios previos que conllevan supuesto para su aplicación. Varios autores recientemente como Azomahou (2001), Zhang (1996), Tooze (2005), entre otros, han explorado extensivamente de diversas maneras la relación existente entre el crecimiento económico y las emisiones contaminantes.

II.A GENERACIÓN Y REPERCUSIONES DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES

El incremento de las concentraciones de gases invernadero atmosféricos, provocan el cambio climático, que resultan de las actividades humanas contaminantes, esto sumado a los contaminantes naturales. La preocupación mundial creciente respecto al crecimiento de las emisiones de gases invernadero, llevó a convocar la Convención sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas¹, llevada a cabo en 1998.

Esta Convención sobre Cambio Climático tuvo como objetivo plantear la reducción de las emisiones de gases causantes del efecto invernadero entre 2008 y el 2012 a poco más de 5% del límite básico de 1990, esta reducción de los gases esta conferida en el protocolo de Kyoto², donde los países desarrollados firmantes³ acordaron disminuir estas emisiones, utilizando como los niveles de 1990 como comparativos.

II.A EMISIONES Y TASAS DE CRECIMIENTO DE CO₂ DE PAISES PERTENECIENTES A UNFCC⁴

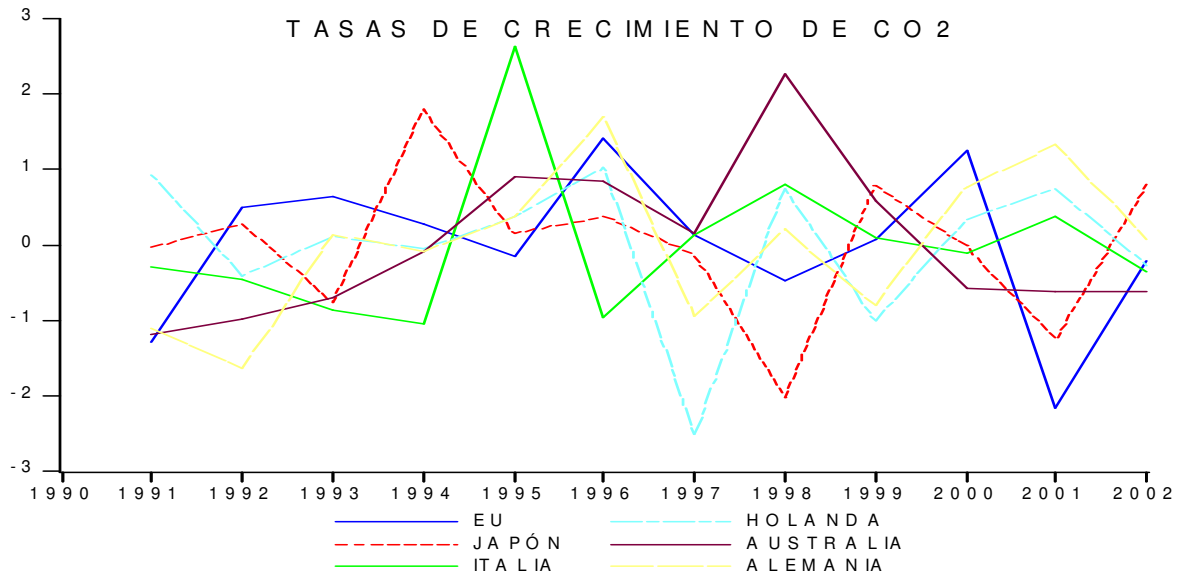


¹ United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCC)

² Kyoto Protocol to the United Nations Framework, Convention on Climate change, United Nations, 1998.

³ Véase el Anexo del Protocolo de Kyoto (1998)

⁴ Presentación en escala logarítmica y tasas de crecimiento. Elaboración propia en base a datos de fuente. Fuente: Heston (2002), Penn World Table Version 6.1. (CICUP).



La primer grafica II.A presenta la proporción existente de emisiones contaminantes entre 6 países desarrollados pertenecientes a la UNFCC de 1990 al 2002. Donde el principal país emisor en el mundo de CO₂ es E.U. y el menor emisor en proporción a las emisiones de E.U. es Holanda. Las emisiones de CO₂ de Alemania y Japón se encuentran proporcionalmente en la media, si tomamos a las emisiones de E.U. como el máximo y las emisiones de Holanda como el mínimo.

De acuerdo a las tasas de crecimiento de las emisiones de CO₂ de estos mismos países en 12 años, se observa que en conjunto los mayores incrementos fueron de Italia en 1995 y Australia en 1998, mientras que Holanda en 1997 tuvo la menor tasa de emisiones. De 1990 al 2002, las emisiones de E.U. y Australia fueron las que tuvieron mayor tendencia positiva, en este conjunto de países.

A partir del 2001 la tasa de crecimiento de emisiones de CO₂ en Alemania, Holanda e Italia, muestran la misma tendencia decreciente, aunque contrariamente en este mismo año las emisiones de E.U. y Japón habían sido significativamente reducidas, y a partir de este ambas mantienen su tendencia creciente y paralela.

Para lograr esta meta colectiva propuesta por el Protocolo de Kyoto, a cada país se le asignaron objetivos específicos que van desde la reducción de 8% en la Unión Europea, a un incremento de 10% entre los años 2008 y 2012, en el caso de Islandia. La Unión Europea, Canadá, Suiza, Islandia, Noruega y Nueva Zelanda se han comprometido a destinar 410 millones de dólares por año hasta el 2005 a los países en desarrollo para ayudarles a combatir el cambio climático y sus efectos. Las metas alcanzadas excluye a EE UU, el mayor contaminante del planeta (el 25% de las emisiones mundiales con sólo el 4,7% de la población mundial).

El hecho de que Rusia, Canadá y Japón se hayan sumado a la UE aumenta la posibilidad de que el Protocolo entre en vigor. Algunos países europeos como Alemania o el Reino Unido, están consiguiendo importantes reducciones de sus emisiones de dióxido de carbono sin dejar de crecer económicamente.

Lo anterior contradice los argumentos del gobierno de E.U., en el sentido de que reducir emisiones perjudica al crecimiento del PIB. Sin embargo E.U. tiene un plan de reducción de emisiones de CO₂ basado sólo en medidas voluntarias por parte de la industria, el cual preveía reducir en 18% el volumen de las emisiones de CO₂, sin embargo la relación con el Producto Interior Bruto, genera discusión de intereses por las consecuencias de la aplicación de estas medidas.

A partir del Protocolo de Kyoto, la substitución de tecnología derivó en mayor crecimiento de los precios energéticos a corto plazo, así como del aparente estancamiento temporal del producto/ingreso, puesto que en relación a periodo antes del protocolo de Kyoto, donde de acuerdo a algunos autores la relación entre el crecimiento económico y las emisiones de energía era positiva.

La intensificación de las actividades humanas han generado y generan externalidades sobre el medio ambiente global vital para el bienestar de todos. Estas externalidades productivas principalmente, provocan residuos directa e indirectamente

que contaminan el ambiente, ya sea de forma sólida, líquida o atmosférica, siendo esta última forma parte del enfoque de este estudio.

Los contaminantes atmosféricos generan problemas locales y globales, como el “Efecto Invernadero” o “Calentamiento Global” el cual es un aumento paulatino (esto nos da efectos a Largo Plazo) de la temperatura de la superficie terrestre⁵. Los gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera en condiciones normales, emanan de la respiración y descomposición de las plantas y animales, absorbidos por los bosques y océanos, y existen de forma natural en equilibrio en pequeñas cantidades.

Pero con el efecto de las externalidades productivas humanas elevan la temperatura de la superficie terrestre, generando el calentamiento global progresivo. El principal gas contaminante generador del calentamiento global es el Dióxido de carbono (CO₂), que ha tenido un crecimiento del 20% desde el principio de la era industrial, resultado principalmente de la suma de la utilización de combustibles fósiles (como el petróleo), la deforestación, el crecimiento de la población mundial, etc.

Científicos especialistas del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) demostraron en el 2001 que si continua la tendencia de generación de emisiones contaminantes, nuestro planeta se encaminaría hacia un período de cambio rápido y continuo de clima, caracterizado por el calentamiento global. Por lo que esos especialistas suponen que entre los años 2030 y 2050 la atmósfera contendrá el doble de gases invernadero que a mediados del pasado siglo.

Lo que provocaría que el calentamiento de la Tierra aumente de promedio entre 1,5 a 2 grados centígrados por año, en función de las zonas. Según estos expertos, lo anterior motivará que el nivel del mar suba, desaparezcan paulatinamente ecosistemas costeros, que alterarían los patrones de pesca y afectaría a las poblaciones en territorios vulnerables por la escasez de sus recursos naturales.

⁵ Esto nos lleva a remarcar el enfoque a demostrar en este ensayo, el cual es que los contaminantes atmosféricos desintensivan el desarrollo sustentable y tienen un efecto ambiguo sobre el crecimiento económico global

II.A.1 SOBRE LA CONVENCION DE KYOTO DE 1997

La necesidad de crear una convención internacional con un enfoque mundial ante la creciente preocupación sobre el calentamiento global progresivo y sus consecuencias finales, dio a lugar a la convención sobre el cambio climático celebrada en Kyoto, Japón, en diciembre de 1997, tuvo como objetivo global el reducir las emisiones de gases causantes del efecto invernadero en el 2012 a poco mas de 5% del limite básico de 1990, un objetivo modesto pero asequible.

Lo fundamental del protocolo de Kyoto es el acuerdo de los países firmantes desarrollados del anexo 1, en disminuir la emisión de gases que contribuyen al efecto invernadero por lo menos 5% por debajo de los niveles de 1990, entre 2008 y 2012. Para lograr esta meta colectiva a cada país se le asignaron objetivos específicos que van desde una reducción de 8% en el caso de la Unión Europea a un incremento de 10% en el caso de Islandia, con base a los niveles de 1990 entre 2008 y 2012.

El protocolo de Kyoto incluye 6 gases en su estudio: dióxido de carbono, metano, oxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre. La disminución de la emisión de gases causantes del efecto invernadero de las fuentes y la eliminación de carbono en las zonas de absorción se puede utilizar para lograr los objetivos.

Tanto la Unión Europea, Canadá, Suiza, Islandia, Noruega y Nueva Zelanda se han comprometido a destinar 410 millones de dólares por año hasta el 2005 a los países en desarrollo para ayudarles a combatir el cambio climático y sus efectos. El compromiso alcanzado excluye a EE UU, el mayor contaminante del planeta (el 25% de las emisiones mundiales con sólo el 4,7% de la población mundial).

El hecho de que Rusia, Canadá y Japón se hayan sumado a la Unión Europea(UE) aumenta la posibilidad de que el Protocolo entre en vigor. Actualmente

países como Alemania o el Reino Unido, están consiguiendo importantes reducciones de sus emisiones de dióxido de carbono sin dejar de crecer económicamente.

Esto contradice las razones del gobierno de E.U. en no ratificaron el protocolo de Kyoto, para no acatar medidas imparciales de reducción en emisiones contaminantes, puesto que la planeación del gobierno de E.U. está basada solamente en medidas voluntarias industriales, que preveían reducir en un 18 % el volumen de las emisiones de CO₂. De acuerdo a investigaciones mostradas para el “American Council for Capital Formation” (Comité Americano para la Formación de Capital)⁶, el acatar las medidas de reducción de emisiones del Protocolo de Kyoto perjudicarían el crecimiento del Producto Interno Bruto (Gross Domestic Product o GDP) a corto plazo.

II.B HECHOS ESTILIZADOS SOBRE LAS INTERACCIONES

Del conjunto de gases invernadero el foco de atención en esta tesis es el comportamiento del CO₂ sobre el crecimiento económico, de 10 países firmantes del protocolo de Kyoto⁷, los cuales emiten más de la mitad de CO₂ en el mundo; además son economías industrializadas, aunque no todas han ratificado el protocolo. Los países incluyentes en este análisis son: Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Italia, Japón, Holanda, Portugal, España, Suecia y Estados Unidos; en el periodo de 1989 al 2005 tanto para el análisis del PIB, el capital, y trabajo.

En el caso de Estados Unidos, este ha exhibido diversos modelos económicos como evidencia de que ratificar el protocolo de Kyoto, que significa reducir niveles de 7% las emisiones de CO₂ desde 1990, representa menguar la tasa de crecimiento de su economía⁸. Ya que se reducen significativamente los salarios, la competitividad en

⁶ Thorning Margo (1999), “The Impact of the Kyoto Protocol on U.S. Economic Growth and Projected Budget Surpluses”, American Council for Capital Formation before the Senate Committee on Energy and Natural Resources

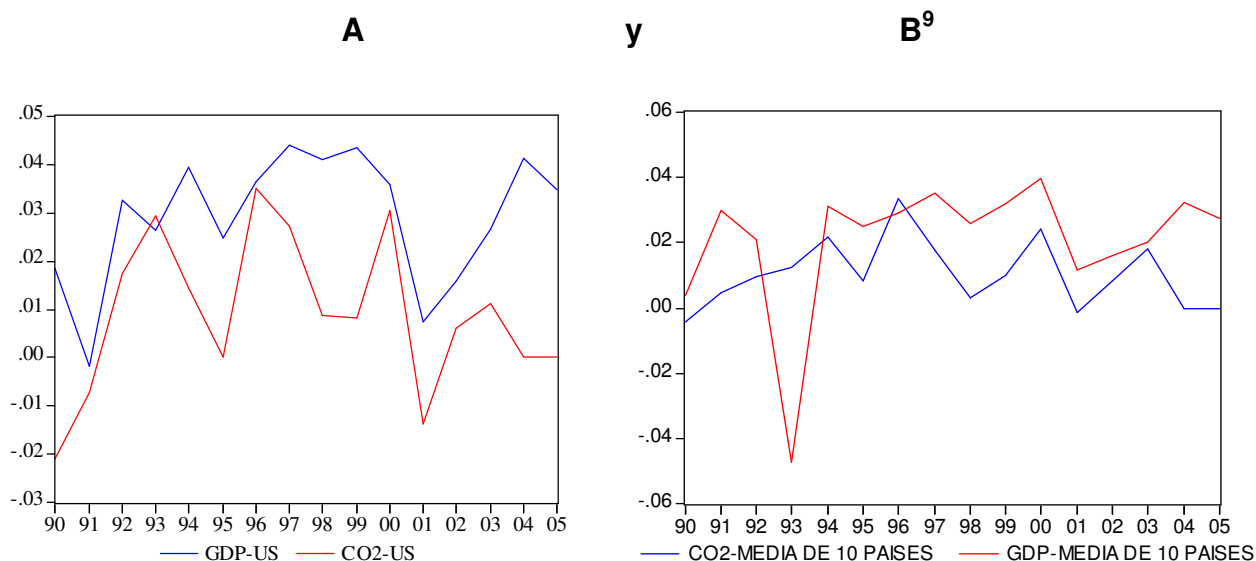
⁷ Naciones Unidas (1998), “Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”.

⁸ Thorning (1999)

la industria manufacturera intensiva en energía y además requiere de un cambio de política fiscal por la aplicación de más impuestos. También disminuiría la acumulación neta de capital, reflejando capital prematuro obsoleto.

La grafica **A** ilustra la relación directa de las tasas de crecimiento en el tiempo de E.U. del Gross Domestic Product (GDP o PIB) y las emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Con esto comenzamos a demostrar que la generación de emisiones de CO₂ y el crecimiento económico tienen una relación directa, porque si aumentan las emisiones de CO₂, aumenta el crecimiento económico y viceversa.

Tasas de Crecimiento

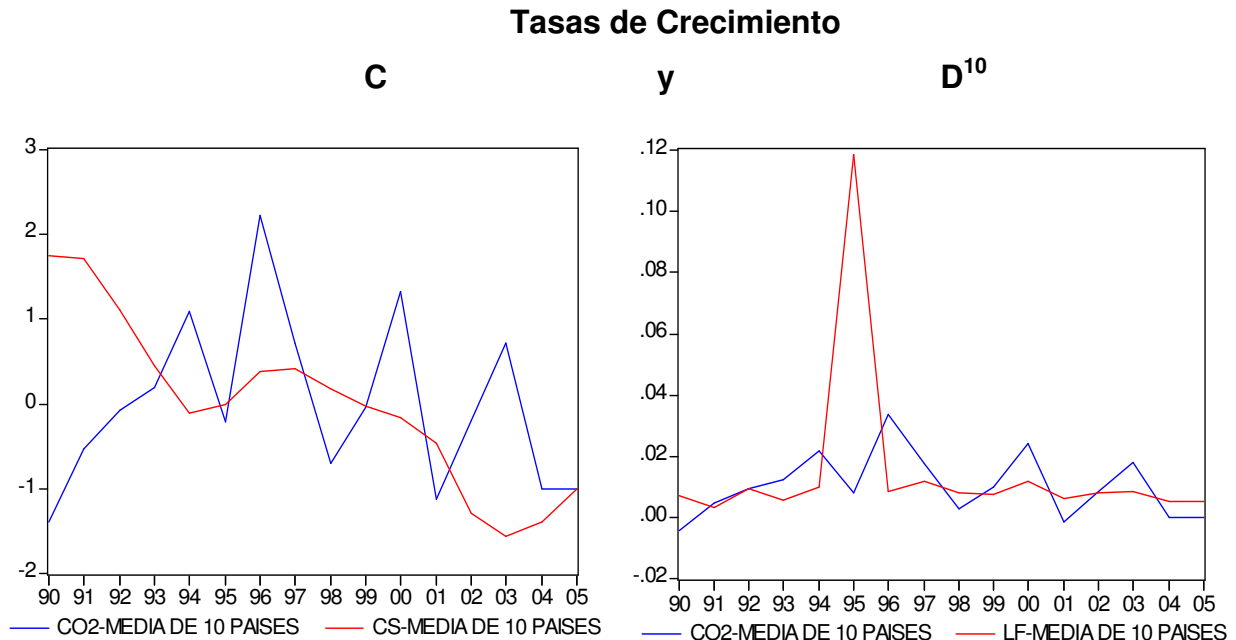


Realizando un promedio de las emisiones de CO₂ y del Producto Interno Bruto entre los países incluyentes en este análisis, se puede observar en el gráfico **B** que se tiene la misma tendencia entre ambas series de 1989 al 2005, esto es, una relación directa representativa en los países muestra de este estudio.

En el grafico **C** indica la existencia de un comportamiento representativo inverso, entre las tasas de crecimiento del CO₂ y la acumulación de Capital, en los

⁹ Elaboración propia en base a fuentes de datos. Fuente: Economic Outlook No 79: Annual and Quarterly data, OCDE Statistics; United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC-CDIAC) y Energy Information Administration (EIA), Emissions of Greenhouse Gases in the United States 2003 (2004), Tables ES1 and ES2

países pertenecientes a la muestra de 1989 a 2005, donde las series tienen una relación contraria, explicando así que el crecimiento de las emisiones de energía disminuye la acumulación de capital.



Este comportamiento negativo en el capital se podría explicar por la combinación de dos efectos; el primero es el efecto sustitución ya que el capital sería más caro relativamente en comparación con el trabajo. El capital se ve afectado por la corrosión inducida de las emisiones contaminantes, ya que provoca necesariamente un reemplazo, mantenimiento y reparación. Generando el crecimiento de los costos del capital, donde la tasa de cambio del costo es pequeña en relación a la tasa de cambio por la depreciación de las estructuras y construcciones.

El gráfico **D**, expresa que entre las tasas de crecimiento de las variables CO₂ y la fuerza de trabajo se halla una relación inversa característica de los países muestra en el periodo de estudio. Puesto que a mayores niveles de CO₂ ha disminuido la fuerza laboral promedio en estos 10 países de 1989 al 2005.

¹⁰ Elaboración propia en base a fuentes de datos

Lo anterior podría atribuirse a que las fricciones ambientales provocan pérdida en la productividad laboral y el producto. El otro efecto es que la meta de la escala de producción disminuya, por lo cual disminuiría la demanda de capital real dados los precios.¹¹ El incremento de las emisiones explica parte de la pérdida de bienestar de servicios ambientales, esto explica como el incremento en la depreciación de la productividad laboral.

II.C REVISIÓN LITERARIA SOBRE LA RELACIÓN CO₂ Y EL CRECIMIENTO ECONÓMICO

La relación entre el crecimiento económico y la calidad ambiental ha sido explorada en años recientes, como resultado de la búsqueda de definir las relaciones entre la función de crecimiento económico y las medidas ambientales que motiven el bienestar social. Thorning (1999) planteó ante el Senado de E.U. la significancia de los efectos del CO₂ en la macroeconomía, donde el principal objetivo fue mostrar suficiente evidencia tendiente a la no ratificación del Protocolo de Kyoto. Pues de acuerdo al Consejo Americano de formación de Capital, de seguir los E.U. con las políticas sugeridas en el Protocolo de Kyoto, se tendrían impactos negativos sobre el crecimiento económico a corto plazo.

Dentro de la discusión es importante puntualizar que el crecimiento económico y el incremento de la demanda de energía, se vinculan estrechamente con el crecimiento de las emisiones de CO₂. La reducción de emisiones del CO₂ pueden tener injerencia en un choque económico de proporciones considerables. Como en el caso de la 'crisis del petróleo' a principios del decenio de los 70 (cuando los precios se incrementaron durante un breve período), que condujo a una divergencia casi inmediata y sostenida en la mayoría de los países desarrollados, entre las emisiones contaminantes y el PIB.

¹¹ Bruvoll (1999), "Environmental drag: Evidence from Norway", Norway.

Las bajas tasas históricas de mejoras en la intensidad de la energía (uso de energía por unidad de PIB) reflejan la prioridad relativamente baja que muchos productores y usuarios de la tecnología le conceden a la eficiencia energética (IPCC 2001). Existe un vínculo estrecho entre las emisiones contaminantes, el crecimiento económico y la demanda de la energía, el cual se refleja en choques económicos similares a la crisis petrolera de 1973 en América Latina.

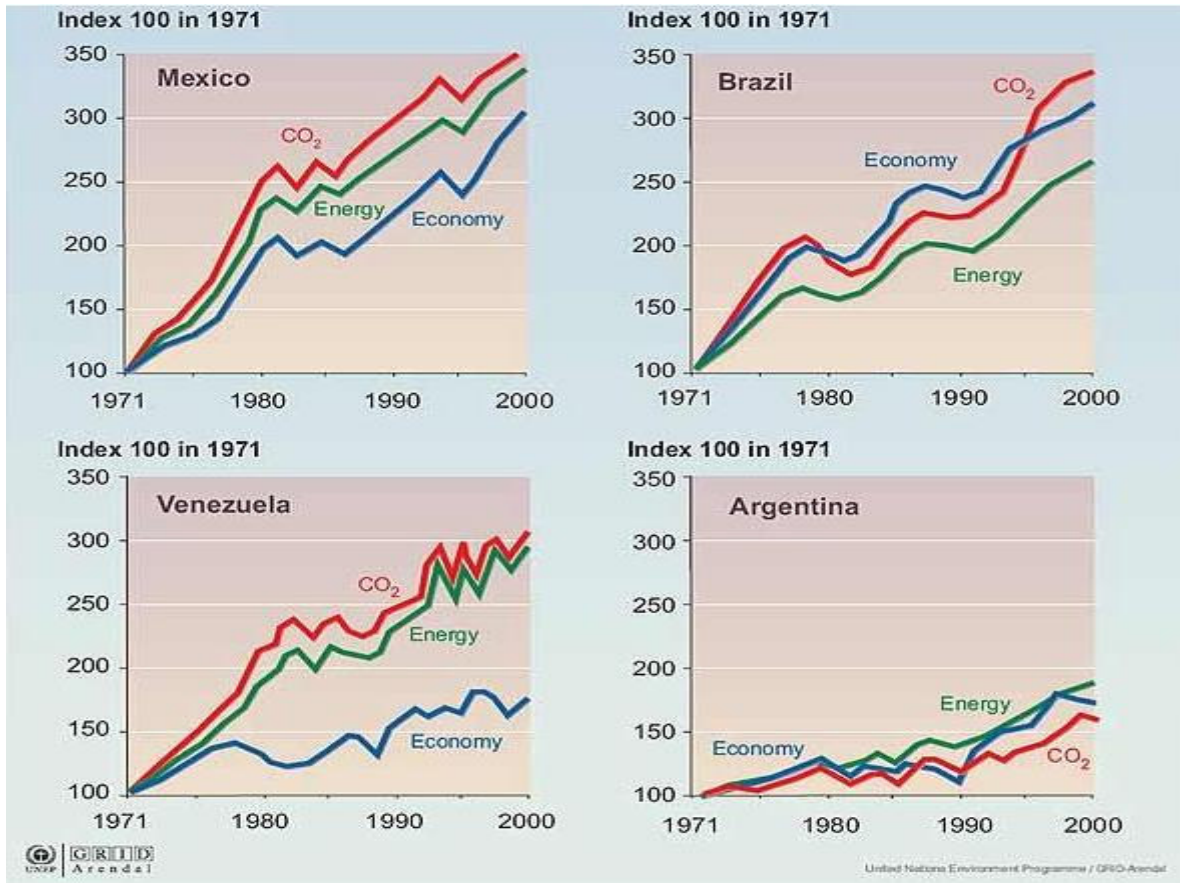
Sin embargo, esta región no se vio muy afectada, pues es una región de alta producción petrolera que presentaba una estructura con poca apertura económica. Para la década de los 80's, por los altos precios del petróleo se estabilizaron las emisiones del CO₂ durante varios años.

En este aspecto existen estudios enfocados sobre regiones específicas como América Latina, generados por el *World Resource Institute* y el Programa ambiental de las Naciones Unidas, los cuales muestran evidencia de que las series del PIB, la energía y el CO₂ han tenido la misma tendencia histórica positiva, lo que expresa claramente la relación directa y positiva entre estas variables.

En otras palabras y en base a la gráfica siguiente se advierte la existencia de alta correlación explicativa en el periodo de 1971 al 2000, entre el crecimiento económico, la energía y las emisiones de CO₂, en México, Brasil, Argentina y Venezuela. En el caso de México podemos advertir como las emisiones de CO₂ en 29 años han crecido en mayor medida en comparación con los otros países mostrados en esta gráfica. Contrariamente Brasil disminuyó sus niveles de emisiones de CO₂ de 1980 a 1995, aun así mantienen un mismo comportamiento las series de emisiones de CO₂ y el crecimiento económico de Brasil.

El comportamiento de esta problemática en América Latina es de gran importancia, sin embargo en nuestro estudio no añadimos países de esta región, ya que nuestro enfoque se sitúa solo en países industrializados y desarrollados que firmaron el protocolo de Kyoto.

II.C GRAFICA DE CONSUMO DE ENERGÍA, DESARROLLO ECONÓMICO Y EMISIONES DE CO₂ EN PAISES SELECCIONADOS DE AMÉRICA LATINA



Source: World Resource Institute

Fuente: World Resource Institute

En otra forma, Azomahou (2001), realizan un análisis no-paramétrico sobre las interacciones del Crecimiento Económico y las emisiones de CO₂ lo para 100 países, quienes aseguran que el proceso de desarrollo económico ha tenido un efecto negativo sobre la emisión de gases por el desarrollo tecnológico, resultado de los esfuerzos de los países por reducir las emisiones de CO₂.

Ellos realizan una investigación sobre la Curva Ambiental de Kuznets (Environmental Kuznets Curve / EKC) usando menos restricciones en el acercamiento no-paramétrico, y no asumen una forma especial paramétrica. Realizan estimaciones con modelos de panel a partir del PIB per cápita y las emisiones de CO₂.

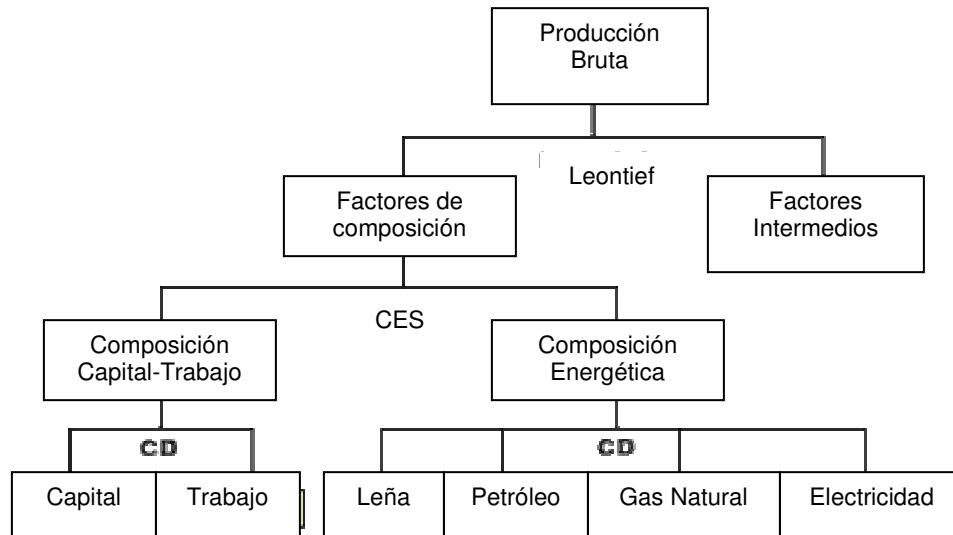
Holtz-Eakin y Selden (1995) investigaron la forma reducida de las interrelaciones entre las emisiones per capita de dióxido de carbono nacional y el PIB o GDP per capita para 130 países en el periodo de 1959 a 1986. Ellos usaron una especificación de efectos de países fijos y años específicos con una función cuadrática polinomial, y encontraron un ejemplo de curva de Kuznets. Taskin y Zaim (2000) usan una metodología noparametrica para investigar la existencia la eficiencia ambiental de la Curva Ambiental de Kuznets (EKC).

Ellos usaron datos de sección cruzada sobre las emisiones de CO₂ para computar el índice de eficiencia ambiental para países de bajos y altos ingresos entre 1975 – 1990. Obteniendo como resultado que la relación entre el índice de eficiencia ambiental y el GDP per capita es de forma cúbica.

El factor contaminación ambiental aquí se substituye de manera directa por el mercado energético, puesto que la generación de energía da origen a las emisiones contaminantes que son externalidades productivas, como lo explico el diagrama 2.1 anteriormente. Otros autores han trabajado con la función de producción añadiendo el factor energía como Zhang (1996) y el factor contaminación como Göran (2004).

El diagrama 1 que se muestra a continuación, dilucida mas la relación directa de la composición energética en la producción, en este caso en una función de producción CES, que es compuesta de el trabajo, capital y la energía. Los insumos utilizados en la composición energética, esto es, en la producción de energía producen contaminantes, entre estos diversos contaminantes ambientales como el CO₂.

El producto bruto resultante de la composición de los factores en una función de producción ampliada por el factor de producción energía, depende directamente de factores de producción contaminantes utilizados en los procesos de transformación de los factores que componen la función de producción.

II.C Diagrama 1

Fuente: Zhang, Zhong Xiang (1996), "Macroeconomic Effects of CO₂ Emission Limits", Integrated Economy-Energy-Environment Policy Analysis, Chapter 7, Wageningen University, Netherlands.

II.D COMENTARIOS GENERALES

Para explicar la interrelación entre el crecimiento económico y las emisiones de CO₂, partimos de la confrontación de los datos reales a la investigación de estudios anteriores relacionados a nuestro objetivo. Existen diversos estudios que tratan de explicar con diversas metodologías los efectos de las emisiones de CO₂ en el Crecimiento Económico, entre estos tenemos a los trabajos de Bruvel(1999) y Hutailla(2003) que utilizaron modelos de equilibrio general computable, mientras que Azomahou (2001) realizó un modelo de panel con 100 países explicar, donde relaciona el PIB Per cápita con las emisiones de CO₂.

También existen estudios enfocados sobre regiones generados por el *World Resource Institute*¹² que muestran evidencia clara de que las series del PIB, la energía y el CO₂ tienen la misma tendencia histórica, lo que expresa claramente la relación directa y positiva entre estas variables.

¹² Véase Grafica en Anexo

Otro punto importante que resulta este capítulo, es el importante papel que juegan las instituciones como las políticas internacionales. Las cuales median entre el debate de intereses y estrategias a corto plazo de los agentes económico-sociales, y las políticas en dirección al desarrollo integral a largo plazo. Estas últimas conllevan metas de bienestar social, que se traduce en mayor calidad de vida de la población, que a la vez incrementa la productividad del trabajo, o el crecimiento económico a corto plazo.

El debate principal se sitúa en el costo de obtener mayores beneficios mañana por los que no se obtienen hoy, pues los beneficios perdidos hoy se traducen en mayores beneficios mañana, puesto que los beneficios del mañana no son solo económicos, sino son beneficios integrales, que a través de la negociación y planeación consensadas de los individuos económicos-sociales, dirigen el desarrollo futuro.

Un ejemplo de esto, es una estrategia planeada en dirección a la reducción de emisiones de CO₂ para incrementar el bienestar social y la calidad de vida, la cual necesitaría modificar tanto las estructuras, procesos, equipamientos y comportamientos que directa o indirectamente usen combustibles fósiles; lo que deriva en mayor inversión dirigida a la sustitución tecnológica a corto plazo, sin embargo a su vez, a largo plazo se observa el efecto de larga duración de las inversiones en los sectores energéticos y de transportes¹³.

De acuerdo a lo anterior, podemos suponer que la disminución de niveles de emisiones contaminantes por medio de la sustitución tecnológica antigua por "limpia", a través del tiempo en industrias y/o empresas, implica mayor inversión y/o mayores costos a corto plazo, lo cual no se reflejará en beneficios inmediatos, esto es, en el ingreso, lo que a su vez, merma los planes e intenciones de sustitución tecnológica de empresas y de naciones.

¹³ Comisión Europea, 1997; Comisión Europea, 1998

Por lo que las emisiones contaminantes son externalidades productivas importantes para el crecimiento económico, pues estas pueden ser estudiadas como un factor de producción importante que al mismo tiempo, desgasta paulatinamente las condiciones de vida de la población total, desintensiva la productividad diaria¹⁴, tanto laboral como escolar, y afecta el desarrollo del capital humano.

Entonces el crecimiento económico afecta negativamente al ambiente, y a su vez la contaminación ambiental reduce el crecimiento de la productividad así como el bienestar de los consumidores. En el caso hipotético que se duplicaran las emisiones del CO₂ atmosférico con respecto a los niveles preindustriales o que se incrementaran las concentraciones de gases de efecto invernadero, se modificaría el régimen y la distribución espacial y temporal de las precipitaciones pluviales.

Además de que existirían cambios en la humedad de suelos y aire, con alteraciones de los procesos de evapo-transpiración y recarga de acuíferos. Lo que agudizaría las sequías, la desertificación del territorio y generaría una modificación potencial de la regionalización ecológica, por la reducción drástica de ecosistemas boscosos templados y tropicales.

El cambio climático paulatino, provocado por el incremento de gases contaminantes generaría mayor incidencia de incendios forestales, profundizando la deforestación, la erosión, la liberación de carbono y la pérdida de biodiversidad. Así como la alteración de cuencas hidrológicas y la distribución de escurrimientos superficiales e inundaciones. A su vez esto incrementaría el nivel del mar, con impactos sobre ecosistemas costeros y marinos¹⁵.

En estas circunstancias, la no reducción de las concentraciones de CO₂, contendrían consecuencias como deforestación, erosión y pérdida de biodiversidad

¹⁴ Principalmente en los países y ciudades con gran industria desarrollada.

¹⁵ El 30% del territorio mexicano corresponde a zonas áridas y semiáridas. Los bosques y selvas cubren el 28% de la superficie total. Cerca del 80% de los suelos de nuestro país registran algún grado de erosión, principalmente por la deforestación de terrenos con pendientes pronunciadas.

que aceleran los procesos de desertificación; y aumentarían la frecuencia y/o gravedad de fenómenos naturales potencialmente desastrosos.

Conllevando la reducción proporcional de áreas potenciales de producción de granos básicos; de ecosistemas forestales, que dañan el modo de vida de las especies; que a la vez afectaría el abasto de agua para riego y para consumo humano, en tanto que la infraestructura productiva puede experimentar daños severos. Ante esto las regiones productivas de temporal como las costeras y agrícolas son más susceptibles a inundaciones y sequías con el cambio climático, que derivarían en pérdidas cuantiosas.

Por lo que actualmente se puede deducir que las Organizaciones No Gubernamentales (ONG's, que actualmente representan más los intereses sociales), deberían presionar a los gobiernos de las naciones más contaminantes, para que reduzcan sus emisiones de Gases Invernaderos (GEI) y disminuir los riesgos por efecto invernadero.

Finalizando, en este capítulo planteamos el problema objetivo, así como los hechos estilizados que ilustran la cuestión principal, esto es, las relaciones existentes entre las emisiones de dióxido de carbono y el crecimiento económico de forma directa, además de los efectos del CO₂ sobre el capital y el trabajo que posteriormente generan un efecto sobre el crecimiento económico.

Para la exposición de la problemática es indispensable puntualizar la importancia del papel que tiene E.U. ya que genera la mayor cantidad de CO₂ del planeta de acuerdo a los registros estadísticos¹⁶. A partir de esto se facilita la conformación y formalización de un modelo conjunto entre las emisiones de CO₂ y el crecimiento económico en el capítulo siguiente.

¹⁶ Estas estadísticas no aclaran si las emisiones contaminantes de EU registran la generación de contaminación de sus empresas fuera de sus fronteras, o si solamente registran el CO₂ dentro de EU.

III. MODELO CONJUNTO DE LA FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN Y EMISIONES CONTAMINANTES

En este capítulo con base en la evidencia teórica y empírica examinada, se especificará y formalizará un modelo de oferta mediante una función de producción aumentada donde intervienen las emisiones contaminantes, de los cuales solo retomamos los niveles de emisiones de CO₂, que es un *input* contaminante denotado como P , que genera externalidades negativas en el producto. La formalización de nuestro modelo pretende mostrar las proporciones de cambio en un momento, de la variable exógena CO₂ en el crecimiento económico.

Para explicar el crecimiento económico con la función de producción que depende de los factores capital, trabajo y tecnología. Aquí suponemos que las emisiones contaminantes determinan al ingreso de manera directa, ya que directamente los niveles del *input* contaminante, dependen de transformaciones físico-químicas necesarias que generan diferentes tipos de energía¹, así como subprocesos de diferentes tipos de producción, que dinamizan la economía y la sociedad.

Sin embargo, en esta tesis no suponemos que el mayor desarrollo tecnológico actual llega de forma inmediata a todos los procesos y subprocesos de producción que generan externalidades contaminantes. Pues si esto sucediera los subprocesos de producción actuales se perfeccionan y las emisiones de CO₂ disminuirían, por lo que podemos decir que las emisiones de gases contaminantes indican un grado de error tecnológico o de rezago tecnológico.

Lo anterior puesto que en la economía real se supone que a mayor progreso tecnológico, mayor renovación de tecnología antigua contaminante por tecnología moderna mas limpia, que genera paulatinamente menor externalidades productivas contaminantes.

¹ Algunos tipos de energía como la eléctrica, nuclear, termodinámica, etc.; son producto de combustiones naturales e industriales que engruesan las emisiones contaminantes ambientales.

III.A. LA FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN AMPLIADA Y EL CRECIMIENTO ECONÓMICO

De los modelos favorables a la convergencia inspirados en los modelos de crecimiento neoclásicos, los principales son el modelo de Solow(1959), Harrod-Domar, y posteriormente Romer (1987). En los años setenta se produjeron muchas aportaciones que trasladaban las ideas de los modelos de crecimiento económico de corte neoclásico a otros campos como Borts y Stein (1964), Romans (1965) o Siebert(1969), etc. Un nuevo impulso se vio en los 80's con las aportaciones de Baumol(1986), Barro y Sala-i-Martín (1992), Mankiw, Romer y Weil(1992).

Bajo las premisas que sostienen estos modelos, como principalmente que se basan en la existencia de rendimientos decrecientes de escala en los factores que se acumulan; se predice que las disparidades en la relación capital-trabajo, y en los niveles de renta tienen a reducirse con el paso de tiempo.

Por el contrario los modelos favorables a la divergencia, predicen por el contrario, situaciones a largo plazo distintas. Entre estos tenemos a los de acusación acumulativa de Myrdal o los modelos de base exportadora. Lo esencial en estos modelos es que admiten la posible existencia de rendimientos crecientes (Romer, 1987), generados por el capital humano (Lucas, 1988).

El problema de convergencia / divergencia, se ha traducido en el debate teórico –empírico, entre los modelos de crecimiento neoclásico y las teorías de crecimiento endógeno. En las décadas de los 80's y 90's, la investigación macroeconómica neoclásica ha desplazado su interés de estudio de los ciclos económicos hacia el estudio del crecimiento, pues ahora su enfoque esta en el bienestar de los países, que es mas determinado por la tendencia a largo plazo que las oscilaciones cíclicas.

Sin embargo las estadísticas sobre el crecimiento de los paises, como la observación de Lucas (1988), en que las tasas de crecimiento no parecen reducirse, y

que tampoco la desigualdad internacional muestra signos de disminuir; parecen contradecir los modelos neoclásicos más extendidos como el modelo de Solow.

Partiendo de este marco conceptual, se trata de estudiar cual ha sido el impacto de factores exógenos contaminantes como parte importante del crecimiento económico en países desarrollados, así como las políticas tentativas a aplicar diferente en cada país, estipuladas en el Protocolo de Kyoto sobre reducción de las emisiones contaminante², que han encontrado oposición en estudios principalmente provenientes de E.U., los cuales justifican que al adaptar estas políticas la tasa de crecimiento económico reduciría.

Entonces como supuesto de partida en este análisis se justifica la necesidad de explicar los efectos tanto de estas políticas de reducción de emisiones de contaminantes en el crecimiento económico, las cuales al aplicarlas podrían aminorar desigualdades o desequilibrios territoriales. Esto partiendo principalmente de aclarar los efectos de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en el crecimiento económico, así como en los factores de producción Capital y Trabajo.

Existen diversos tipos de recursos energéticos, los cuales ya explicamos en el capítulo anterior, como el petróleo; que son un buen ejemplo de *input* contaminante, pues son factores de producción que generan externalidades contaminantes como las emisiones de CO₂. Los cuales se pueden sustituir en la función de producción directamente, para obtener una función de producción ampliada con los factores capital (K), trabajo (L), y emisiones contaminantes de CO₂ (P). Ahora, la función III.A.1 muestra la redefinición de la función de producción, esto es la función de producción extendida que incluye tanto a los factores de producción L, K y P.

$$(III.A.1) \quad Y = \tilde{A} * F(K, L, P)$$

² Véase en el apartado II.A.1

En esta función tenemos que Y es el nivel del producto, \tilde{A} es el nivel del factor total de productividad que no tienen influencia de las emisiones contaminantes. Utilizando la comúnmente usada especificación o función de producción Cobb-Douglas tenemos:

$$(III.A.2) \quad Y = \tilde{A}K^\alpha L^\beta P^\gamma = \tilde{A}K^\alpha L^{1-\alpha} P^{1-(1-\alpha)}$$

Tomando los logaritmos naturales generamos la siguiente ecuación estimada:

$$(III.A.3) \quad \ln Y = \ln \tilde{A} + \alpha \ln K + \beta \ln L + \gamma \ln P$$

La anterior ecuación expone que γ es la elasticidad de producción con respecto a las emisiones contaminantes. El producto marginal de las emisiones contaminantes definido como $MP_P = \gamma \cdot Y/P$, el cual implica un incremento en las emisiones contaminantes sobre el producto en un periodo. Además α es la elasticidad de producción en relación al capital y β es la relación de cambio del producto y el trabajo. Sin embargo necesitamos realizar lo mismo en relación el Capital y al Trabajo para conocer los efectos de los contaminantes en estos.

A continuación se explica de forma amplia la elasticidad de las emisiones contaminantes con respecto al producto. De acuerdo a la teoría económica, la elasticidad de la producción con respecto a estos factores es como sigue; si suponemos que la función de producción Y es una función de capital K , trabajo L , y P (generado por el input contaminante).

Suponiendo que los precios de producción son P_q y los precios del capital, trabajo y contaminación ambiental son P_k , P_l , y P_e . Denotando la elasticidad de producción respecto a la contaminación con P_{qe} y la distribución de contaminación ambiental por S_p , entonces se puede definir lo siguiente:

$$\varepsilon_{qp} = \frac{\frac{\partial Q}{\partial P}}{\frac{Q}{P}} \quad s_p = \frac{p_p P}{P_q Q}$$

De acuerdo a la teoría del producto marginal, el valor del producto marginal de un factor debería igualar este precio (Varian, 1993):

$$P_q \frac{\partial Q}{\partial P} = P_p$$

Substituyendo la $\frac{\partial Q}{\partial P}$ en ε_{qp} se obtiene:

$$\varepsilon_{qp} = \frac{\frac{\partial Q}{\partial P}}{\frac{Q}{P}} = \frac{p_p P}{P_q Q} = s_p$$

En la explicación anterior se construyó la elasticidad con las emisiones contaminantes (P)³ y donde \mathbf{p} son los precios, por lo que tenemos que la elasticidad de producción respecto a las emisiones contaminantes es igual a la distribución de las emisiones contaminantes. Este modelo es caracterizado por un conjunto de especificaciones de funciones, las cuales mediante estática comparativa nos mostrarán por medio de las derivadas parciales, como en la función de oferta afectan los niveles contaminantes, que es la principal variable de cambio exógeno que nos interesa en esta tesis. Para obtener estos cambios, se rescribe el modelo de forma compacta, esto es como funciones específicas o implícitas del conjunto de ecuaciones simultáneas:

A continuación en base a evidencia teórica y empírica examinada en el apartado anterior y con las bases de la construcción del modelo de oferta, se desarrolla este por medio de una función de producción aumentada donde intervienen las emisiones contaminantes, que es el input contaminante denotado como P que genera externalidades negativas en el producto, con lo que se pretende mostrar los principales mecanismos que determinan las interacciones entre el CO₂ y el ingreso.

³ Sin olvidar que las emisiones de CO₂ son generadas por factores contaminantes como la energía.

III.B FORMALIZACIÓN DEL MODELO Y ESTÁTICA COMPARATIVA

Este modelo de oferta agregada se especifica a partir de tres ecuaciones simultáneas, donde el producto, el capital y el trabajo, son las variables endógenas a explicar en función de la variable exógena emisiones contaminantes, y de otras tres variables exógenas que son: salario, tipo de cambio y tasa de interés. Esto es, se asume que la oferta agregada cambia de acuerdo a efectos contaminantes, económicos domésticos y externos.

$$(III.B.1) \quad Y = f(K, L, P_0) \quad Y'(K) > 0, Y'(L) > 0, Y'(P_0) > 0$$

$$(III.B.2) \quad K = f(P_0, r_0, \theta_0, Y) \quad K'(P_0) < 0, K'(\theta_0) \leq 0, K'(r_0) \leq 0, K'(Y) > 0$$

$$(III.B.3) \quad L = f(wr_0, P_0) \quad L'(P_0) < 0, L'(w_0) > 0$$

En nuestro sistema ya especificado, las variables endógenas son definidas como sigue: Y = Producto o Ingreso, K = Capital y L = Trabajo; mientras que las variables exógenas son: r = Tasa de Interés Real, θ = Tipo de Cambio Real, wr = Salario Real, P = Emisiones contaminantes⁴.

Nuestra principal función es la III.B.1, que describe los factores determinantes de la Producción por el lado de la oferta, donde se añade un factor exógeno que es la contaminación ambiental, que en este caso determina al producto de manera directa y positiva. Por lo que en esta tesis los determinantes de la oferta económica, en una función de producción, son el Capital, el Trabajo y las emisiones contaminantes que tienen efectos directos y positivos.

La función de capital es definida por la función III.B.2, dependiente de las variables exógenas tipo de cambio, tasa de interés real y contaminación, además de la variable endógena producción. Esta función es creciente en el producto, decreciente

⁴ Donde el CO₂ es el principal gas contaminante, mas se puede aplicar este modelo a las otros contaminantes Pues se puede aplicar un estudio metodológico multiobjetivo, esto es, multigases y/o multisectoriales.

en el tipo de cambio real (Pérez, 2004) y decreciente en términos de contaminación. Esto por el efecto ambiguo de los bienes intensivos (como la energía) utilizados en subprocesos de producción dirigidos al capital y al trabajo.

Dado que el monto total del capital disponible en la economía es fijo, el único camino para que el capital adicionado sea absorbido en otros sectores, es por el precio relativo decreciente del capital. En contraste a este efecto negativo, el incremento de la producción bruta es absorbido por el sector servicios, esta expansión crece por las emisiones de dióxido de carbono, por que el sector servicios utiliza una proporción pequeña de bienes de consumo intermedio que son directa e indirectamente afectados (Zhang, 1996)

La función III.B.2 especifica la función de oferta del trabajo, que es determinada por los salarios reales de manera directa, así como de los niveles de contaminación ambiental de manera inversa. Principalmente el efecto de la contaminación ambiental es sobre la productividad laboral, en la oferta de horas trabajadas, pues las horas de actividad laboral están teniendo una restricción respiratoria dada por los niveles de contaminación ambiental, que devalúa los niveles “normales” de salud de la población.

Puesto que el incremento de las emisiones de contaminantes significa un principal impacto en la salud que deriva en los niveles de calidad de vida, por el costo del bienestar de la contaminación que reduce la productividad laboral, y que genera un efecto negativo en el crecimiento económico. La productividad laboral entonces es reducida por estas externalidades negativas, ya que se pierden horas laborales por las enfermedades respiratorias, que teóricamente son capturadas en la dinámica del sector salud, este efecto regresa y disminuye la producción (Vennemo, 1999; Östblom, 2004 y Huhtala, 2003).

Este modelo se caracteriza por un conjunto de especificaciones de funciones las cuales mediante estática comparativa nos mostraran por medio de las derivadas parciales, como las emisiones de CO₂, que es la principal variable exógena que nos

interesa, afectan la función de producción. Para obtener estos cambios, rescribimos el modelo de forma compacta, esto es, como funciones implícitas del anterior conjunto de ecuaciones simultaneas:

$$(III.B.4) \quad F^1 = f^1(Y, K, L; r_0, w_0, \theta_0, P_0) = Y - Y \left(\begin{matrix} (+) & (+) & (+) \\ K, & L, & P_0 \end{matrix} \right) = 0$$

$$(III.B.5) \quad F^2 = f^2(Y, K, L; r_0, w_0, \theta_0, P_0) = K - K \left(\begin{matrix} (-) & (-) & (-) & (+) \\ P_0, & r_0, & \theta_0, & Y \end{matrix} \right) = 0$$

$$(III.B.6) \quad F^3 = f^3(Y, K, L; r_0, w_0, \theta_0, P_0) = L - L \left(\begin{matrix} (-) & (+) \\ P_0, & w_0 \end{matrix} \right) = 0$$

Con la finalidad de llevar a cabo el ejercicio de estática comparativa, se requiere que el determinante jacobiano, por medio de las derivadas parciales continuas respecto a las variables endógenas, sea diferente de 0, que satisfaga el teorema de la función implícita, con el cual se puede asegurar que las ecuaciones se pueden resolver.

$$J = 1 - \frac{\partial F^1}{\partial K} \cdot \frac{\partial F^2}{\partial Y}$$

Dado que las funciones tienen derivadas parciales continuas y el determinante jacobiano no es nulo, que puede indicar algún punto que sea una solución de equilibrio relacionado a las variables endógenas Y, K, L. Con lo que se justifica la relación explicativa de los valores de equilibrio de las variables endógenas como funciones implícitas de las variables exógenas.

Las derivadas parciales de las funciones implícitas son estático comparativas, por lo que se necesitan las derivadas parciales de las funciones específicas evaluadas en el estado de equilibrio del modelo. Puesto que la matriz es 3 x 3, se supone se pueden hallar 3 derivadas parciales, pero suponiendo que las demás variables exógenas y los parámetros permanecen fijos excepto CO₂.

Ahora, manteniendo los parámetros y las variables exógenas fijas, excepto la tasa de interés y realizando lo mismo para el tipo de cambio, se obtienen las derivadas parciales siguientes. Las derivadas estáticas comparativas obtenidas, presentan la existencia de interacciones encadenadas por medio del capital y el trabajo, que es el multiplicador del CO₂ en ambos. Así como de manera directamente positiva en el ingreso, que lleva a concluir que si crece o decrecen los niveles de emisiones de CO₂, entonces se tendrá un efecto directamente negativo tanto en el trabajo como en el capital.

La variación de las emisiones de CO₂ provocan un cambio sobre el crecimiento económico, lo cual nos explica los efectos directos e indirectos sobre la oferta agregada. De acuerdo a la ecuación II.B.7 que es la derivada parcial de dY/dCO₂ del sistema de funciones implícitas. En las siguientes ecuaciones la notación es como sigue: las variables endógenas son denotadas con letras mayúsculas y las variables respecto a las que fueron derivadas se indican con los subíndices.

$$(III.B.7) \frac{dY}{dP} = \frac{J_Y}{J} = \frac{- \left[\begin{matrix} (+) & (+) & (-) & (-) & (+) \\ Y_P & + Y_L & L_P & + K_P & Y_K \end{matrix} \right]}{1 - \left(\begin{matrix} (+) & (+) \\ Y_K & K_Y \end{matrix} \right)} > < 0$$

El efecto final mostrado de las emisiones de CO₂ sobre el ingreso o producto puede ser un efecto ambiguo, pues depende del efecto conjunto de los efectos parciales que llevan a diversas conclusiones. Entre estas tenemos que, principalmente el crecimiento de las emisiones de CO₂ merman directamente al capital y al trabajo. Sin embargo, el efecto final depende del comportamiento de las variaciones de las variables endógenas entre si, por lo que puede ser positivo o negativo el efecto final.

$$(III.B.8) \frac{dL}{dP} = \frac{J_L}{J} = \frac{- \left[\begin{matrix} (-) & (+) & (+) & (-) \\ L_P & + K_Y & Y_K & L_P \end{matrix} \right]}{1 - \left(\begin{matrix} (+) & (+) \\ Y_K & K_Y \end{matrix} \right)} < 0$$

El efecto final de la ecuación III.B.8, de la contaminación en el trabajo es negativo, sin embargo el efecto final que se expone en la ecuación III.B.9, puede ser ambiguo, al igual que el efecto sobre el producto.

$$(III.B.9) \frac{dK}{dP} = \frac{J_K}{J} = \frac{- \left[\overset{(-)}{K_P} + \overset{(+)}{K_Y} \overset{(+)}{Y_L} \overset{(-)}{L_P} + \overset{(+)}{K_Y} \overset{(+)}{Y_P} \right]}{1 - \left(\overset{(+)}{Y_K} \overset{(+)}{K_Y} \right)} > < 0$$

Podemos concluir que es clara la existencia de un efecto negativo de las emisiones contaminantes sobre el trabajo. Y que el que no sean claros los efectos sobre el producto y el capital de la contaminación ambiental, puede depender de el periodo de estudio, así como del movimiento de las demás variables endógenas.

III.C FORMALIZACIÓN CON FORMAN FUNCIONAL COBB DOUGLAS

Ahora aplicando la misma metodología anterior a la función de producción en la forma Cobb-Douglas, obtendremos un sistema de ecuaciones conformado por tres funciones específicas de oferta. Realizando la estática comparativa y obteniendo las derivadas parciales se mostraran principalmente los efectos de la variación de las emisiones contaminantes en la función de producción.

La principal variable de estudio que nos interesa en esta tesis explicar como modifica al crecimiento económico son las emisiones de CO₂, por lo que es la principal variable de cambio exógeno en la función de producción. De esta forma, se describirá en este capítulo el modelo de forma compacta, como funciones específicas o implícitas del conjunto de ecuaciones simultáneas con lo que obtendremos los efectos a demostrar. Partiendo del que el sistema de ecuaciones en forma Cobb-Douglas con sus respectivas restricciones o supuestos específicos, es el siguiente:

$$\begin{aligned}
 (III.C.1) \quad Y &= K^{\gamma_Y} L^{\beta_Y} P^{\alpha_Y} = K^{\alpha_Y} L^{1-\alpha_Y} P^{1-(1-\alpha_Y)} & Y'(K) > 0, Y'(L) > 0, Y'(P_0) > 0 \\
 (III.C.2) \quad K &= r_o^{\gamma_K} \theta_o^{\beta_K} P_o^{\alpha_K} Y_o^{\delta_K} = r_o^{\alpha_K} \theta_o^{1-\alpha_K} P_o^{1-(1-\alpha_K)} Y_o^{1-[1-(1-\alpha_K)]} & K'(P_0) < 0, K'(\theta_0) \leq 0, K'(r_0) \leq 0, K'(Y) > 0 \\
 (III.C.3) \quad L &= w_o^{\gamma_L} P_o^{\beta_L} = w_o^{\alpha_L} P_o^{1-\alpha_L} & L'(P_0) < 0, L'(w_0) > 0
 \end{aligned}$$

Obteniendo las funciones específicas para realizar la estática comparativa:

$$(III.C.4) \quad F^1 = f^1(Y, K, L; r_0, w_0, \theta_0, P_0) = Y - f^1(K^{\gamma_Y} L^{\beta_Y} P^{\alpha_Y}) = 0$$

$$(III.C.5) \quad F^2 = f^2(Y, K, L; r_0, w_0, \theta_0, P_0) = K - f^2(r_o^{\gamma_K} \theta_o^{\beta_K} P_o^{\alpha_K} Y_o^{\delta_K}) = 0$$

$$(III.C.6) \quad F^3 = f^3(Y, K, L; r_0, w_0, \theta_0, P_0) = L - f^3(w_o^{\gamma_L} P_o^{\beta_L}) = 0$$

Con lo anterior, se obtiene el principal jacobiano, por medio de las derivadas parciales continuas respecto a la variables exógena de principal estudio, el cual debe ser diferente de 0, para satisfacer el teorema de la función implícita, que resultará en un conjunto de ecuaciones que incluyen las diferenciales.

$$J = 1 - \left[\gamma_Y K^{1-\gamma_Y} L^{\beta_Y} P^{\alpha_Y} \cdot \delta_K Y^{1-\delta_K} r_o^{\gamma_K} \theta_o^{\beta_K} P_o^{\alpha_K} \right]$$

Como las funciones tienen derivadas parciales continuas, que pueden indicar un punto que sea una solución de equilibrio relacionado a las variables endógenas Y o *producto*, K o *capital* y L o *trabajo*. Se justifica la relación explicativa de los valores de equilibrio de las variables endógenas como funciones implícitas de la variable exógena emisiones contaminantes

Se necesitan las derivadas parciales de las funciones específicas evaluadas en el estado de equilibrio del modelo. Puesto que la matriz es 3 x 3, se pueden hallar 3 derivadas parciales, suponiendo que las demás variables exógenas y los parámetros permanecen fijos excepto emisiones contaminantes. Se observan claramente dos tipos de efectos uno directo del emisiones contaminantes sobre el producto y el segundo es un efecto encadenado conjunto por medio de los factores capital y trabajo de las emisiones contaminantes sobre el producto.

El jacobiano del sistema se conforma de las razones de cambio parcial del capital en el ingreso y del ingreso en el capital, de los cuales, de acuerdo a los supuestos del modelo la elasticidad del primer efecto es mayor.

De acuerdo a la ecuación III.C.7 que es la derivada de $\frac{dY}{dP}$ del sistema de funciones implícitas, el efecto de la contaminación ambiental sobre el producto es impreciso o ambiguo. Este efecto puede ser positivo o negativo dependiendo del periodo de muestra, como del comportamiento de las variables de los países, y el tipo de países empleados en el estudio.

$$J_Y = -\alpha_Y P^{1-\alpha_Y} K^{\gamma_Y} L^{\beta_Y} - \beta_Y L^{1-\beta_Y} K^{\gamma_Y} P^{\alpha_Y} \cdot \beta_L P^{1-\beta_L} W_0^{\gamma_L} - \gamma_Y K^{1-\gamma_Y} L^{\beta_Y} P^{\alpha_Y} \cdot \delta_K P^{1-\delta_K} r_0^{\gamma_K} \theta_0^{\beta_K} Y_0^{\delta_K}$$

$$(III.C.7) \frac{dY}{dP} = \frac{J_Y}{J} = \frac{-[\alpha_Y P^{1-\alpha_Y} K^{\gamma_Y} L^{\beta_Y} + \beta_Y L^{1-\beta_Y} K^{\gamma_Y} P^{\alpha_Y} \cdot \beta_L P^{1-\beta_L} W_0^{\gamma_L} + \gamma_Y K^{1-\gamma_Y} L^{\beta_Y} P^{\alpha_Y} \cdot \delta_K P^{1-\delta_K} r_0^{\gamma_K} \theta_0^{\beta_K} Y_0^{\delta_K}]}{1 - [\gamma_Y K^{1-\gamma_Y} L^{\beta_Y} P^{\alpha_Y} \cdot \delta_K Y^{1-\delta_K} r_0^{\gamma_K} \theta_0^{\beta_K} P_0^{\alpha_K}]} > < 0$$

La proporción de cambio de la contaminación sobre el producto se conforma de la relación del jacobiano respecto al producto y el jacobiano total. El jacobiano respecto al producto tiene un efecto negativo conjunto del cambio parcial de la contaminación en el producto, aunado al producto del cambio del trabajo en el producto y el cambio de la contaminación en el trabajo, sumado al producto del cambio del capital en el producto y la proporción de cambio parcial de la contaminación en el capital.

Se observa la suma de los efectos tanto el directo de la contaminación sobre el ingreso como de los efectos encadenados de las emisiones contaminantes sobre el capital y el trabajo. Entonces, de acuerdo a los supuestos del modelo dentro del efecto final mostrado de las emisiones de emisiones contaminantes sobre el ingreso o producto, la elasticidad de la contaminación en el producto, esto es de P en Y, es importante como los otros pesos de los demás factores de producción.

$$J_L = -\beta_L P^{1-\beta_L} w_0^{\gamma_L} + \beta_L P^{1-\beta_L} w_0^{\gamma_L} \cdot \gamma_Y K^{1-\gamma_Y} L^{\beta_Y} P^{\alpha_Y} \cdot \delta_K Y^{1-\delta_K} r_0^{\gamma_K} \theta_0^{\beta_K} P_0^{\alpha_K}$$

$$(III.C.8) \frac{dL}{dP} = \frac{J_L}{J} = \frac{-\beta_L P^{1-\beta_L} w_0^{\gamma_L} + \beta_L P^{1-\beta_L} w_0^{\gamma_L} \cdot \gamma_Y K^{1-\gamma_Y} L^{\beta_Y} P^{\alpha_Y} \cdot \delta_K Y^{1-\delta_K} r_0^{\gamma_K} \theta_0^{\beta_K} P_0^{\alpha_K}}{1 - [\gamma_Y K^{1-\gamma_Y} L^{\beta_Y} P^{\alpha_Y} \cdot \delta_K Y^{1-\delta_K} r_0^{\gamma_K} \theta_0^{\beta_K} P_0^{\alpha_K}]} < 0$$

Mientras que el efecto final que se expone en la relación de cambio III.C.8, de la contaminación sobre el trabajo es negativo. La razón de cambio de la contaminación en el trabajo se conforma de la relación del jacobiano del trabajo y el jacobiano total. El jacobiano que explica el efecto en el trabajo, se conforma de la proporción de cambio directamente negativa de la contaminación en el trabajo, sumado al producto de las razones de cambio del capital en el producto, con el producto en el capital y de nuevo el cambio de la contaminación en el trabajo.

$$J_K = -\delta_K P^{1-\delta_K} r_0^{\gamma_K} \theta_0^{\beta_K} Y_0^{\delta_K} - \beta_Y L^{1-\beta_Y} K^{\gamma_Y} P^{\alpha_Y} \cdot \beta_L P^{1-\beta_L} w_0^{\gamma_L} \cdot \delta_K Y^{1-\delta_K} r_0^{\gamma_K} \theta_0^{\beta_K} P_0^{\alpha_K} - \delta_K Y^{1-\delta_K} r_0^{\gamma_K} \theta_0^{\beta_K} P_0^{\alpha_K} \cdot \alpha_Y P^{1-\alpha_Y} K^{\gamma_Y} L^{\beta_Y}$$

$$(III.C.9) \frac{dK}{dP} = \frac{J_K}{J} = \frac{-[\delta_K P^{1-\delta_K} r_0^{\gamma_K} \theta_0^{\beta_K} Y_0^{\delta_K} + \beta_Y L^{1-\beta_Y} K^{\gamma_Y} P^{\alpha_Y} \cdot \beta_L P^{1-\beta_L} w_0^{\gamma_L} \cdot \delta_K Y^{1-\delta_K} r_0^{\gamma_K} \theta_0^{\beta_K} P_0^{\alpha_K} + \delta_K Y^{1-\delta_K} r_0^{\gamma_K} \theta_0^{\beta_K} P_0^{\alpha_K} \cdot \alpha_Y P^{1-\alpha_Y} K^{\gamma_Y} L^{\beta_Y}]}{1 - [\gamma_Y K^{1-\gamma_Y} L^{\beta_Y} P^{\alpha_Y} \cdot \delta_K Y^{1-\delta_K} r_0^{\gamma_K} \theta_0^{\beta_K} P_0^{\alpha_K}]} > 0$$

Pero el efecto de la contaminación en el capital también es indeterminado, esto es la tasa de cambio del Capital, que es derivada III.C.9 respecto a las emisiones contaminantes puede ser positiva o negativa. Puesto que este depende del comportamiento de las series históricas de las variables, y de los países que se utilicen para realizar el ejercicio y el análisis. Este efecto es la relación del jacobiano del capital y el jacobiano total. El jacobiano del capital es negativo y se conforma de la suma de tres elementos conformados por las proporciones de cambio parciales.

El primero elemento es respecto a las emisiones contaminantes o de la contaminación en el capital. Mientras que los dos últimos elementos son productos de las derivadas parciales. El segundo elemento se refiere al producto de la participación de cambio parcial del trabajo en el ingreso, la contaminación en el trabajo e ingreso en

el capital. El tercer elemento es el producto del cambio parcial del ingreso en el capital con el cambio parcial de las emisiones de contaminación en el ingreso.

De acuerdo a estos ejercicios podemos suponer el comportamiento de los coeficientes a obtener con la técnica de panel, que nos mostrara las elasticidades entre las variables, esto es, el comportamiento del cambio del CO₂ como variable exógena en las variables endógenas Ingreso o Producto, Capital y Trabajo.

IV. METODOLOGÍA ECONOMETRICA: TRES TÉCNICAS DE DATOS DE PANEL

Para realizar un análisis económico amplio se utilizan herramientas técnicas de modelación econométrica, según los datos utilizados o disponibles, de acuerdo a las diferentes dimensiones de la información. De las cuales se busca obtener conclusiones sobre relaciones de causalidad o de comportamiento entre diferentes tipos de variables; y según las relaciones supuestas entre las variables, estos se clasifican en uniecuacionales, multiecuacionales, lineales y no lineales.

En nuestro estudio nos centramos en la técnica de modelación econométrica de datos de panel, que se explicara a lo largo de este capítulo. En general, la técnica econometrita de datos de panel incluye una muestra de agentes económicos o de interés, que son las unidades o casos de estudio para un periodo determinado de tiempo, donde se combinan tanto datos de dimensión temporal y estructural, como individuos, países, empresas, etc.; que tengan datos mixtos de serie temporal y corte transversal.

El principal objetivo de aplicar y estudiar los datos con técnica de panel, es capturar la heterogeneidad no observable, ya sea entre agentes económicos o de estudio así como también en el tiempo, dado que esta heterogeneidad no se puede detectar ni con estudios de series temporales ni tampoco con los de corte transversal.

Esta técnica permite si se cuenta con la disposición de un gran numero de observaciones incrementar los grados de libertad¹, que reducen la colinealidad entre las variables explicativas y mejorando la eficiencia de las estimaciones econométricas. Además, esta técnica permite capturar la heterogeneidad no observable ya sea entre unidades individuales de estudio como en el tiempo y mediante la aplicación de diversas pruebas de hipótesis, se acepta o rechaza la heterogeneidad².

¹ Puesto que la obtención y el procesamiento de la información estadística sobre las unidades individuales de estudio, es una desventaja de la técnica de datos de panel

² Hsiao 1986y Baltagi 1999

Además, se puede realizar un análisis dinámico al incorporar mayor dimensión temporal de los datos. Entonces la aplicación de metodología de panel permite analizar tanto los efectos individuales específicos y los efectos temporales, que son aspectos que forman parte de la heterogeneidad no observable. Desde el punto de vista económico se estudia la dinámica de los procesos de ajuste, de acuerdo al grado de duración y permanencia de ciertos niveles de condición económica.

La metodología de panel analiza dos aspectos de suma importancia cuando se trabaja con este tipo de información y que forma parte de la heterogeneidad no observable, tanto efectos individuales específicos como efectos temporales. Los efectos individuales específicos afectan de manera desigual a cada uno de los agentes de estudio contenidos en la muestra³, que son invariables en el tiempo y que afectan de manera directa las decisiones que tomen dichas unidades. En este caso se identifica este tipo de efectos con cuestiones de crecimiento económico

Los efectos individuales específicos, son aquellos que afectan de manera desigual a cada uno de los agentes de estudio contenidos en la muestra que son invariables en el tiempo y que afectan directamente las decisiones que tomen los individuos de estudio. Mientras que los efectos temporales son los que afectan por igual a todas las unidades individuales de estudio en un periodo dado.

En la especificación general de un modelo de regresión con datos de panel, i se refiere al individuo o a la unidad de estudio, donde tenemos el análisis de corte transversal; t es la dimensión en el tiempo, α es un vector de interceptos de n parámetros, β es un vector de K parámetros y X_{it} es la i -ésima observación en t para las K variables explicadas:

$$Y_{it} = \alpha_{it} + x_{kit} \sum_{k=1}^K \beta_{kit} + u_{it} \quad i = 1, \dots, N; \quad t = 1, \dots, T$$

³ Ya sea conformada de individuos, empresas o bancos.

En esta especificación del modelo la muestra total de las observaciones esta dada por $N \times T$, que se refiere al caso en que no existe heterogeneidad no observable en el sistema de datos de panel, por lo que se puede utilizar el Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO u OLS). Esta especificación se puede interpretar a través de los componentes de los errores:

$$U_{it} = \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it}$$

En el termino de error U_{it} , μ_i representa los efectos no observables que difieren entre las unidades de estudio, δ_t se le identifica con efectos no cuantificables que varían en el tiempo, y ε_{it} es el termino aleatorio.

Se puede utilizar con la especificación anterior el componente de error conocido como “one way” para el cual $\delta_t = 0$, el cual supone que no existen efectos no cuantificables que varíen en el tiempo pero no entre las unidades individuales de estudio. Cuando el componente de error $\delta_t \neq 0$, se tiene el modelo “two way” que pretende capturar efectos temporales específicos o choques, que no están incluidos en la regresión⁴. Para el modelo “one way” existen básicamente tres variantes que utilizan distintos supuestos acerca del termino μ_i :

- I. En este modelo no existe heterogeneidad no observable entre los individuos, ya que la $\mu_i = 0$. Por lo que los U_{it} satisfacen todos los supuestos del modelo lineal general, por lo cual el método de estimación de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) producen los mejores estimadores lineales insesgados (MELI)
- II. Suponemos que μ_i tiene un efecto fijo y distinto para cada individuo, por lo que la heterogeneidad no observable se incorpora a la constante del modelo.
- III. Suponemos a μ_i como variable aleatoria no observable que varia entre los individuos pero no en el tiempo.

Dado el valor de los parámetros, los supuestos y restricciones del modelo, se pueden derivar algunas variantes de modelos de datos de panel. Las variantes

⁴ Wooldridge(2001)

principales a explicar aquí, son la especificación de efectos fijos y aleatorios en un modelo de panel estático, así como la especificación de un modelo de panel dinámico y la estimación con variables instrumentales, las cuales se describirán a continuación

IV.A. MODELO DE PANEL ESTÁTICO

Principalmente se tienen las especificaciones de efectos fijos y aleatorios en un modelo de panel estático⁵. Sin embargo, nos topamos con la toma de decisión sobre la estructura apropiada de análisis pues existe un problema de no consistencia del estimador de panel estático que nos lleva a la prueba de Hausman. Para resolver el problema de inconsistencia de las especificaciones de estimación en panel estático y conocer cual es el estimador consistente, se pueden utilizar la prueba de Hausman o la prueba LM.

PRUEBA DE HAUSMAN

Esta prueba permite determinar por medio de un contraste que modelo es el más adecuado para el panel de datos que se está realizando, si el de efectos fijos o el de efectos aleatorios. Con esta prueba se analiza la posible correlación entre los α_i y los regresores y poder decidir entre una estimación por efectos fijos (FE) o efectos aleatorios (RE).

La hipótesis nula del contraste es $H_0: E[\alpha_i | x_{it}] = 0$. Bajo H_0 , el estadístico de Wu-Hausman, definido como $Q_{FE,RE} = (\hat{\beta}_{FE} - \hat{\beta}_{RE}) (\hat{\sigma}_{\hat{\beta}_{FE}}^2 - \hat{\sigma}_{\hat{\beta}_{RE}}^2)^{-1} (\hat{\beta}_{FE} - \hat{\beta}_{RE})$, converge en distribución a una $X^2(n)$, siendo $n = NT$. Como se puede observar, $Q_{FE,RE}$ es el cociente del cuadrado de la diferencia entre los dos estimadores y la diferencia entre las varianzas de estos. Así, si H_0 es cierta, FE es consistente y por tanto deben tender al mismo valor, de modo que la diferencia entre los estimadores debe ser pequeña.

Además, puesto que el estimador $\hat{\beta}_{RE}$ es más eficiente que $\hat{\beta}_{FE}$, la varianza de aquel es pequeña en comparación con la de este y por tanto la diferencia entre las

⁵ Las cuales serán explicadas adelante; Véase: Wooldridge (2001) y Greene (2000).

varianzas es grande. Esto dará como resultado un valor estadístico $Q_{FE,RE}$ cercano a 0 y que por tanto no se pueda rechazar la hipótesis nula.

Si, por el contrario, H_0 no es cierta, entonces $\hat{\beta}_{FE}$ es consistente pero $\hat{\beta}_{RE}$ no lo es, con lo que debe haber diferencia notable entre los valores de estos estimadores. Esto implicará que el valor del estadístico $Q_{FE,RE}$ será alto, con lo que se rechaza la hipótesis nula. En otras palabras, se utiliza una prueba basada en un estadístico con distribución χ^2 con la hipótesis nula de que el modelo de efectos fijos es el que mejor explica la relación de la variable dependiente con las explicativas, mientras que la hipótesis alternativa de que el mejor método que se ajusta es el de efectos aleatorios.

Entonces, este procedimiento parte de la comparación entre dos modelos *extremos*, pues el primero considera que no hay heterogeneidad no observable y el segundo considera que hay diferencias entre unidades de corte transversal tanto en el intercepto como en los coeficientes de las variables explicativas. Si no es posible explicar igualmente bien los datos con los supuestos de los dos modelos extremos, entonces se evalúan las siguientes opciones de especificaciones:

a) Modelo Total

Esta técnica combina las series de tiempo de las unidades de corte transversal para estimar el modelo “subyacente” usando Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO u OLS), esto suponiendo que el conjunto de coeficientes tanto de la pendiente (intercepto α) como del impacto de cada una de las variables explicativas ($\beta=\beta_i$), es el mismo con respecto a la variable dependiente $Y_{it} = \alpha + X_{it}\beta$.

Se utiliza la prueba F para determinar si este modelo es el que mejor se ajusta a los datos, donde la hipótesis nula consiste en que el comportamiento de la variable dependiente se explica de la misma manera tanto con el modelo Total que con el modelo BYID, que contiene interceptos y coeficientes de las variables explicativas que varían a lo largo de las unidades cruzadas.

b) Modelo BYID

Este modelo asume que los coeficientes de las variables explicativas y los interceptos varían entre los individuos. La prueba F se utiliza para determinar la conveniencia de este modelo, pues permite concluir que entre las unidades de corte transversal, tanto los interceptos como el impacto de las distintas variables explicativas es diferente entre los distintos individuos. La identificación de la hipótesis nula de la prueba F es: $H_0 : \alpha, A = \alpha_i, A_i$

c) Modelo entre grupos (Between)

Es una estimación de corte transversal que se realiza sobre los promedios de las variables de las unidades de corte transversal a lo largo del periodo observado (OLS on means). Produce estimadores “entre grupos” (promedio para el sistema) y proporciona datos que sugieren la idea de largo plazo ya que se trata de un promedio de los diferentes momentos, ignorando la variación que existe dentro de cada unidad de corte transversal a largo tiempo, es decir, se basa en una estimación de \bar{y}_i sobre \bar{x}_i en el modelo $\bar{y}_i = \bar{x}_i' \beta + \varepsilon_i = \alpha_i + \bar{x}_i' \beta + \bar{v}_i$.

La estimación between (BE) es también un modelo clásico de regresión lineal que por tanto puede ser estimado por MCO, y su principal atractivo es que permite obtener un estimador consistente para σ_α^2 . Es un procedimiento exactamente igual que TOTAL con la salvedad de que se realiza una regresión con mínimos cuadrados ordinarios pero utilizando los promedios para cada individuo.

IV.A.1 EFECTOS FIJOS

“*One Way Fixed Effects Model*” o Modelo de efectos fijos es el procedimiento de estimación que utiliza los componentes de error donde no varían los efectos específicos a lo largo de los periodos (t):

$$y_{it} = \alpha + x_{it} \beta + \varepsilon_{it}$$

En otra forma tenemos lo siguiente, donde d_i es una variable dummy que indica la i -ésima unidad⁶:

$$\begin{matrix} y_1 = \\ y_2 = \\ \vdots \\ y_n = \end{matrix} \begin{bmatrix} i & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & i & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_n \end{matrix} + \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_n \end{bmatrix} \beta + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad \text{o} \quad y = [d_1, d_2, \dots, d_n X] \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} + \varepsilon$$

Esta común formulación de este modelo asume que las diferencias de las unidades cruzadas pueden ser capturadas en diferencias en el término de la constante. De acuerdo a la especificación cada α_i es un parámetro incógnita a ser estimado, y el término residual (los componentes de error) puede ser asociado $T \times 1$ vector de distribución toma la forma siguiente:

$$\varepsilon_{it} = \mu_i + v_{it}$$

El componente μ_i es específico de cada individuo en los datos de corte transversal (i)⁷, por lo que son los parámetros fijos por estimar; mientras que v_{it} son los efectos restantes. Entonces las filas de las matrices nT determinan el siguiente modelo llamado (LSDV) Mínimos Cuadrados con Variable Dummy:

$$y_{it} = \alpha + x_{it}\beta + \sum_{i=1}^N \mu_i D_i + v_{it}$$

Donde D_i es una variable ficticia para cada individuo, el término de error v_{it} es la variable aleatoria que se distribuye de forma normal e independiente con $E[\varepsilon_{it}] = 0$ y $Var[\varepsilon_{it}] = \sigma_\varepsilon^2$. El mejor estimador linealmente insesgado (MELI) se representa al aplicar a la anterior ecuación (MCO) Mínimos Cuadrados Ordinarios. En esta especificación el estimador de distribución de la varianza es:

$$s^2 = \frac{\sum_i \sum_t (y_{it} - a_i - b'x_{it})^2}{nT - n - K}$$

⁶ Greene (2000)

⁷ En este caso para cada país

El numerador en s^2 es exactamente la suma de los residuos al cuadrado, desde la regresión del estimador β por MCO:

$$\beta = [X' M_d X]^{-1} [X' M_d y] \quad \text{donde} \quad M_d = \begin{bmatrix} M^0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & M^0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & M^0 \end{bmatrix} = I_r - \frac{1}{T} \mathbf{1}\mathbf{1}' = I - D(D'D)^{-1} D'$$

La regresión de $M_d y$ sobre $M_d x$ es equivalente a la regresión de $[y_{it} - \bar{y}_i]$ en $[x_{it} - \bar{x}_i]$, donde \bar{x}_i es la $K \times 1$ vector de medias de x_{it} sobre las T observaciones.

En resumen el modelo de efectos fijos es una aproximación razonable cuando se puede tener confianza de que las diferencias entre las unidades pueden ser observadas como cambios paramétricos de la función de regresión. Esta especificación considera que existe un término constante diferente para cada individuo y supone que los efectos individuales son independientes entre sí.

Ya que se considera que las variables explicativas afectan por igual a las unidades de corte transversal, y por medio del intercepto se diferencian las características propias de cada variable. Pero en este modelo se presenta una pérdida importante de grados de libertad.

Modelo Específico Within para Efectos Fijos

Este es un modelo de efectos fijos que asume que cada variable explicativa tiene un solo coeficiente, es decir tiene el mismo impacto sobre la variable dependiente, pero en donde cada individuo tiene distinta constante:

$$Y_{it} = \alpha_i + X_{it} \beta$$

Se utiliza una prueba de F, con la hipótesis alternativa de que hay suficiente evidencia empírica para decir que aún agregando interceptos diferentes, se explica

mejor el comportamiento de la variables dependiente cuando se están diferentes coeficientes para las variables explicativas. En forma esquemática sería:

$$H_0 : \beta_i, A = \beta_i, A_i$$

No rechazar esta primera prueba implica que los datos siguen un modelo de efectos fijos para la variables explicativas, por lo que en segundo lugar debe someterse a prueba que además de que se tiene los mismos coeficientes para las variables explicativas, los parámetros del intercepto varían entre unidades de corte transversal. Esto se realiza con la segunda prueba de hipótesis del modelo *Within*, que establece como hipótesis nula: $H_0 : \beta, A = \beta_i, A$

En caso de que se concluya que los parámetros del interceptos son variables, se hace uso de la estimación de cada uno de ellos que muestra el software E-Views 5. Este comando esta asociado con el análisis de los efectos de corto plazo, ya que operan sobre el componente de los datos asociado con el tiempo, ignorando la variación que existe entre las unidades de corte transversal

IV.A.2. EFECTOS ALEATORIOS. MÍNIMOS CUADRADOS GENERALIZADOS.

El enfoque de efectos fijos puede ser interpretado como exclusivamente aplicable a los grupos considerados en el estudio, pero no a grupos adicionales no incluidos en la muestra. En la aplicación que se lleva a cabo en el siguiente capítulo, la muestra de los países considerados es exhaustiva, pues no es una muestra aleatoria de los países, ya que se utilizamos 2 criterios de elección, y por tanto podría ser apropiado, plantear la estimación de efectos aleatorios a partir de los efectos fijos.

En otros contextos, cuando los grupos considerados son extracciones muestrales de una población mas grande, puede resultar mas apropiado considerar que los términos constantes específicos de cada unidad están aleatoriamente

distribuidos entre los grupos. Es en este caso que se considera un modelo de estimación de efectos aleatorios (RE).

Este modelo considera que los efectos individuales están distribuidos aleatoriamente alrededor de un valor dado. Pues se considera que tanto el impacto de las variables explicativas como las características propias de cada individuo son diferentes. Con este modelo se realiza inferencia condicional o marginal respecto a una población:

$$Y_{it} = (\alpha + \mu_i) + \beta' X_{it} + \varepsilon_{it}$$

Donde μ_i representa la perturbación aleatoria que permitiría distinguir el efecto de cada individuo en el panel. Para realizar una estimación se agrupan los componentes estocásticos:

$$Y_{it} = \alpha + \beta' X_{it} + U_{it}$$

Donde el nuevo término de la perturbación es U_{it} , que no es homocedástico, donde δ_t corresponde al error asociado con las series de tiempo, μ_{it} es la perturbación de corte transversal, ε_{it} es el efecto combinado de ambos:

$$U_{it} = \delta_t + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

Para este modelo no es aplicable el Método de Mínimos Cuadrados (MCO o LS) pues ya no se cumplen los supuestos que permiten que el estimador sea consistente, por lo que, se utiliza el método de Mínimos Cuadrados Generalizados (MCG o GLS).

IV.B. MODELO DE VARIABLES INSTRUMENTALES

La utilización de esta especificación parte de la problemática de las variables explicativas endógenas en los modelos de sistemas de ecuaciones múltiples, cuando se omite una variable importante, los estimadores de MCO son inconsistentes.

La estimación de efectos fijos o la primera diferencia con datos de panel, para estimar los efectos de variables independientes que varían con el tiempo en presencia

de variables omitidas constantes en el tiempo, elimina las variables temporalmente constantes y no resuelve el problema de las variables omitidas que varían en el tiempo y que están correlacionadas con las explicativas.

La estimación con variables instrumentales aborda el problema de endogeneidad en una o más variables explicativas. Este método se utiliza para obtener estimadores consistentes en presencia de variables omitidas, y también resuelve el problema de errores en las variables.

A fin de obtener estimadores consistentes de β_0 y β_1 cuando x y u están correlacionadas se necesita información adicional, la cual proviene de una nueva variable que debe satisfacer dos suposiciones: que la variable adicional z no se correlaciona con u .

En otras palabras, $Cov(z,u)=0$; y que z se correlaciona con x , lo que es: $Cov(z,x)\neq 0$. Si la variable adicional satisface esto entonces se denomina variable instrumental para x , o en otras palabras se añade una variable exógena en la ecuación. La identificación de un parámetro significa que podemos escribir β_1 en términos de momentos poblacionales que se estiman con una muestra de datos, y en términos de covarianzas tenemos:

$$\beta_1 = \frac{Cov(z, y)}{Cov(z, x)}$$

Después de cancelar los tamaños de la muestra en el numerador y el denominador, obtenemos el estimador de variables instrumentales (VI) de β_1 y β_0 :

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})(x_i - \bar{x})} \quad \hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x}$$

Las características del estimador de VI son: a) que nunca es insesgado cuando x y u están realmente correlacionadas, de modo que se hace necesaria la estimación

con variables instrumentales, b) el estimador β_1 se parece al de la intercepción de MCO salvo que ahora el estimador de la pendiente, β_1 es el de VI, c) se supone homoscedasticidad condicionada a la variable instrumental, y no a la variable explicativa endógena, d) $E\left(\frac{u^2}{z}\right) = \sigma^2 = \text{Var}(u)$, $\frac{\sigma^2}{STC_x \cdot R_{x,z}^2}$, la varianza asintótica del estimador de VI siempre es mas grande y a veces mucho mayor que la del estimador de MCO.

IV.C. MODELO DE PANEL DINÁMICO

Esta metodología de estimación de panel fue principalmente desarrollada por Arellano y Bond (1991) y Arellano y Bover (1995). El estimador de panel dinámico de Arellano y Bond partió del modelo con variables instrumentales (IV), el cual incorpora como instrumentos los rezagos en niveles de las variables explicativas y_{i1}, X_{i1}, X_{i2} y también se pueden utilizar los rezagos de la variable dependiente, para obtener la siguiente especificación:

$$y_{i3} - y_{i2} = \gamma(y_{i2} - y_{i1}) + \beta'(X_{i3} - X_{i2}) + (u_{i3} - u_{i2})$$

Donde los coeficientes de variables instrumentales (IV) se obtienen mediante el siguiente método de estimación:

$$\begin{bmatrix} \gamma \\ \beta \end{bmatrix} = \left[\left(\sum_{i=1}^N X_i' Z_i \right) \left(\sum_{i=1}^N Z_i' Z_i \right)^{-1} \left(\sum_{i=1}^N Z_i' X_i \right) \right]^{-1} \times \\ \left[\left(\sum_{i=1}^N X_i' Z_i \right) \left(\sum_{i=1}^N Z_i' Z_i \right)^{-1} \left(\sum_{i=1}^N Z_i' Y_i \right) \right]$$

$$\text{Var} \begin{bmatrix} \gamma \\ \beta \end{bmatrix} = \sigma_u^2 \left[\left(\sum_{i=1}^N X_i' Z_i \right) \left(\sum_{i=1}^N Z_i' Z_i \right)^{-1} \left(\sum_{i=1}^N Z_i' X_i \right) \right]^{-1}$$

Sin embargo este no resolvía los problemas de autocorrelación y endogeneidad, que si resuelve el estimador de Arellano y Bond de panel dinámico. Ahora partimos a explicar el panel dinámico del modelo simple:

$$y_{it} = \gamma y_{it-1} + \beta x_{it} + \varepsilon_{it}$$

Donde Y representa la variable dependiente, X representa un conjunto de variables explicativas rezagadas, y Z representa un conjunto de variables explicativas contemporáneas y en $\varepsilon_{it} = \mu_i + \eta_{it}$, las unidades de sección cruzada son $i = 1, \dots, N$ y $t = 1, \dots, T$ son los periodos de tiempo.

Se observa un claro problema de simultaneidad como la variable rezagada dependiente y_{it-1} esta correlacionada con el termino de error ε_{it} , por la correlación de este con el componente de tiempo invariante de el termino de error μ_i . Nickell (1981) mostró que aunque si los “Efectos Fijos” (FE) o Mínimos Cuadrados con Variable Dummy (LSDV) son usados, y_{it-1} aun estarán correlacionados con el termino de error y resultaran parcialidades de $O(1/T)$ ⁸.

Los estimadores de panel dinámico utilizan instrumentos internos, definidos como instrumentos basados en previas realizaciones de las variables explicativas, para considerar de esta la potencial endogeneidad conjunta de los regresores.

Sin embargo, este método no controla la completa endogeneidad pero si para un débil tipo de este, pues con este método se asume que las variables explicativas son solo débilmente exógenas, que significa que ellos pueden ser afectados por realizaciones contemporáneas y pasadas de la tasa de crecimiento, pero tiene que ser no correlacionado con futuras realizaciones del termino de error.

El usual acercamiento sobre este problema es obtener la primera diferencia de los datos, para remover la μ_i :

$$y_{it} - y_{it-1} = \gamma(y_{it} - y_{it-1}) + \beta(x_{it} - x_{it-1}) + (\varepsilon_{it} - \varepsilon_{it-1})$$

⁸ Andersen y Hsiao (1981) y Hsiao (1986)

Como Δy_{it-1} esta correlacionado con la primera diferencia del termino de error, este es necesariamente utilizado este como un instrumento. Andersen y Hsiao (1981) utilizaron Δy_{it-2} o y_{it-2} como un instrumento, pues este termino no esta correlacionado con $\Delta \varepsilon_{it} = \eta_{it} - \eta_{it-1}$. Arellano(1989) mostró que un estimador que usa instrumentos en niveles obtiene no singularidad y varianzas pequeñas, tanto hacen a los estimadores análogos como usa diferencias como estimadores.

Holtz-Eakin (1988) adopta la aproximación al panel de VAR en una función para probar la causalidad de Granger en paneles y sugirió usar una variación del tiempo de los instrumentos tanto en niveles como en diferencias. Es difícil encontrar buenos instrumentos para primeras diferencias rezagadas de la variables dependiente, la cual puede por si misma crear problemas para la estimación.

Sin embargo otros autores como Kiviet(1995) han mostrado que los modelos de panel de datos que usan estimaciones de variables instrumentales, en ocasiones dejan poca eficiencia y aproximación. En bases de datos de varios paises cruzados que tienen dimensión temporal de entre 15 y 20 años, (como es nuestro caso) es difícil juzgar tanto las aproximaciones como si la fragilidad de los instrumentos dañaría más la estimación.

Puesto que si se tiene una T larga, las aproximaciones comenzarían a disminuir el problema, solo siendo útil al tener un estimador el cual no tuviera grandes aproximaciones para una T pequeña, no se requerirían estimaciones de variables instrumentales.

Otro problema de introducir dinámica en un modelo de panel de datos es la aproximación potencial inducida por la heterogeneidad de las unidades de sección cruzada. Pesaran y Smith(1995) han mostrado que la estimación de parámetros derivados de datos cruzados no son consistentes en modelos dinámicos, ni para **N y T** largas. Weinhold(1999) considera un modelo en el cual el coeficiente sobre la variable

dependiente rezagada es forzada a ser igualmente cruzada con todas las unidades de sección cruzada:

Sin embargo los problemas de endogeneidad y de restricciones sobreidentificadas no han sido aclarados con las especificaciones anteriores, por lo que se tiene que Arellano y Bond desarrollo la prueba de Autocorrelación con la hipótesis nula de existencia de Autocorrelación, mientras que Sargan desarrollo la prueba de restricciones sobreidentificadas, que tiene la hipótesis nula de existencia de sobreidentificación del modelo, lo que nos dice que el modelo esta exactamente identificado, esto es que es las variables utilizadas son adecuadas para la estimación.

Para tratar el problema de endogeneidad la prueba existente, contrasta la endogeneidad de una variable explicativa del MCO y MC2E, si difieren en forma significativa entonces deben ser endógenas. Ya que cada z_j no esta correlacionada con u_1 , y_2 no se correlaciona con u_1

V. ESTIMACIONES EMPÍRICAS DEL EFECTO DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES SOBRE EL CRECIMIENTO ECONÓMICO MEDIANTE UN MODELO ECONOMÉTRICO DE PANEL¹

El objetivo de este capítulo es mostrar la evidencia empírica obtenida mediante las estimaciones con datos de panel estático, con variables instrumentales y panel dinámico, la cual pretende sostener la veracidad de nuestras hipótesis. Sin embargo necesitamos partir de los problemas metodológicos ya resueltos en el proceso de construcción de esta evidencia empírica.

Al principio de esta investigación se pretendía realizar el análisis con series históricas de 30 años, pero nos enfrentamos con diversos problemas en la recolección de datos que se utilizarían para generar las variables de interés. Para la obtención de las series históricas se utilizaron diversas fuentes estadísticas, sin embargo solo se obtuvo un conjunto de series heterogéneas por falta de datos².

Esto llevó a la toma de decisión de disminuir el tamaño de la serie de tiempo, para disminuir el grado de incertidumbre de las estimaciones que se pretendían realizar. Por lo que, solo se utilizaron datos de 1989 a 2005, para una muestra de 10, que fueron elegidos por dos características comunes, pues son países desarrollados y firmaron el protocolo de Kyoto. Los países que utilizamos en nuestro análisis son: Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Italia, Japón, Holanda, y Estados Unidos.

Sin embargo, no todos estos países han ratificado el protocolo de Kyoto aun. Puesto que países como E.U. no han querido confirmar el protocolo por los efectos explicados anteriormente que se observaría en sus economías a corto plazo, aunque a largo plazo se obtendrían mayores beneficios en términos de bienestar poblacional.

¹ Para la obtención de los modelos de panel se utilizaron dos tipos software especializado: E-Views versión 5 y Stata versión 8.

² Para homogeneizar las series algunas tuvieron que ser completadas con tasas de crecimiento.

Par las estimaciones empíricas se considero la elaboración de modelos de panel estático y dinámico equilibrados, así como la estimación por variables instrumentales; con datos de 10 unidades de sección cruzada, que son los países, con 16 años y 170 observaciones. Estas observaciones son una muestra adecuada para estimar los efectos del protocolo de Kyoto sobre el producto, como de los efectos característicos de las emisiones contaminantes, de las que aquí solo enfocamos el estudio del CO₂, sobre la función de producción, sobre el capital y en el trabajo.

Para la construcción de las distintas especificaciones de los modelos de panel se usan tres variables endógenas que son producto interno bruto, acumulación de capital y fuerza de trabajo, y cuatro variables exógenas: el tipo de cambio real, la tasa de interés real, salarios reales y la variable las emisiones de CO₂, que se utilizan para explicar el Crecimiento Económico.

Por lo que se consideran las siguientes representaciones: **Y** = Producto Interno Bruto (en dólares base 2000), **L** = Fuerza de Trabajo, **K** = Stock de Capital, **P** = Contaminantes Ambientales³, o **P** = CO₂, **r** = Tasa de interés real (base 2000), **θ** = Tipo de Cambio Real (en dólares base 2000), **wr** = Salarios reales.

El cuadro V.a registra las estadísticas descriptivas en común de las variables de panel. El comportamiento de las variables puede prever la posible presencia de heteroscedasticidad en las estimaciones de las ecuaciones. Aunque todas las variables tienden a un comportamiento normal, excepto la variable Salario Real (wr).

La pequeña diferencia entre la media y la mediana ilustra poca desigualdad en el comportamiento de las variables, con excepción de la variable de salario real pues tiene una diferencia de 4 puntos la mediana sobre la media, que nos muestra la gran variabilidad de los salarios reales entre los países muestra de 1989 al 2005.

³ En este ensayo solo nos enfocamos en el efecto del CO₂, dejando así la opción de aplicar este modelo a otros contaminantes.

Lo que se observa claramente si se lleva el análisis a lo particular, pues E.U y Holanda mantuvieron un comportamiento estable en los salarios reales o en otra perspectiva, en estos países el salario real creció en menor medida a lo largo del tiempo, en comparación con el amplio crecimiento de los salarios reales en este periodo de países como Alemania, Australia, Dinamarca y Finlandia⁴.

Cuadro V.a

ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS EN COMÚN DE LAS SERIES DE LOS MODELOS PANEL⁵

	μ	Mediana	Máximo	Mínimo	σ	S	K	JB
LOG(Y _{it})	13.3713	12.9648	16.2256	11.5012	1.3787	0.4942	2.0120	13.8338
LOG(L _{it})	9.1352	8.8718	11.9139	3.6647	1.7013	-0.6808	4.7456	34.7142
LOG(K _{it})	14.2286	13.6999	20.6757	11.7987	2.3555	1.7037	5.1388	114.6398
θ_{it}	0.8846	1.0000	1.6185	0.0069	0.4468	-0.9122	2.5679	24.8984
wr _{it}	94.4600	98.6740	113.9333	0.0000	18.8172	-4.4681	22.7084	3316.9540
r _{it}	2.9261	2.2724	10.6497	-1.1342	2.4511	0.8437	3.1841	20.4101
LOG(CO _{2it})	5.6296	5.3820	8.6532	3.9084	1.4277	0.6281	2.4208	13.5539

Nota: Donde μ = Media, σ = Desviación estándar, S = Asimetría, K= Curtosis, JB= Jarque-Bera

Las medidas de tendencia central de las variables explican que el comportamiento de las variables excepto Salarios Reales (WR), tienden a un comportamiento normal. Solamente Tipo de Cambio Real (θ) muestra menor dispersión, mientras que las demás variables tienen dispersión desigual, y wr muestran la mayor dispersión entre los países y en el tiempo.

Describiendo las formas de las distribuciones de probabilidad, podemos decir que existe poca Asimetría a la derecha en las series de L y θ , en comparación con la gran asimetría a la derecha de los wr. Las demás variables tienen asimetría a la izquierda, de las cuales Stock de Capital tiene mayor asimetría a la derecha.

De acuerdo a la prueba de normalidad Jarque-Bera (JB), el Stock de Capital y los Salarios Reales son las series que tienen distribuciones de probabilidad algo lejanas del comportamiento normal⁶.

⁴ Véase las Graficas sobre Salarios Reales en Anexo

⁵ Elaboración propia en base a fuentes de datos

V.A PANEL ESTÁTICO

En esta sección se estiman los impactos macroeconómicos del CO₂ en el producto, así como en el capital y el trabajo mediante panel de datos con efectos fijos. En un modelo de crecimiento usual, esto es, solo con los factores Capital y Trabajo, en una función de producción Cobb-Douglas, la constante en un modelo de panel contiene el parámetro de productividad, el cual cambia de acuerdo al país, pues este parámetro puede capturar efectos de diferencias tecnológicas, de instituciones, de asignación de recursos, y también puede estar correlacionado con las variables independientes.

Al aplicar el modelo de panel de mínimos cuadrados ordinarios (OLS) a las ecuaciones de este modelo se obtuvieron las estimaciones que se mostraran a lo largo de este capítulo, el cual se tienen diferentes términos de constante entre los países, y con esto se trata de representar que la forma de MCO u OLS es el mejor estimador linealmente insesgado.

Realizando la estimación de panel para la función de producción ampliada, la cual contiene como factores al Capital, Trabajo y las emisiones de CO₂, se obtuvo la especificación con efectos aleatorios de sección cruzada, como argumento para justificar nuestra función de producción ampliada, el factor de producción contaminante, el factor añadido en este caso son las emisiones de CO₂.

$$\log(GDP_{it}) = \alpha_{it} + \beta \log(CO_{2it}) + \gamma \log(CS_{it}) + \lambda \log(LF_{it})$$

La siguiente especificación con efectos aleatorios muestra que todos los factores motivan el crecimiento económico, en todos los países y en este periodo de muestra. Se explica la función de producción en 82% de acuerdo a esta especificación,

⁶ Por las características estadísticas mostradas de las variables, podemos especular sobre los estimadores por obtener que podrían no ser realmente eficientes, esto de acuerdo al comportamiento anormal de los Salarios Reales y del Stock de Capital, y el hecho de que wr tiene 18.8 de varianza.

donde el coeficiente el dióxido de carbono tiene la mayor participación en la función de producción con 49%, mientras que la acumulación del capital fomenta el crecimiento económico en 42%, y la fuerza laboral en 0.9%.

Todos los coeficientes son significativos en más del 95% de confianza. Esta estimación verifica la hipótesis principal de que el CO₂ puede ser considerado como un factor de producción. Pues muestra como las emisiones de CO₂ generan un incremento sobre el producto, de acuerdo a la elasticidad respecto al ingreso de 49%.

V.A.1. Estimación de la Función de Producción Ampliada con Efectos Aleatorios⁷

Variable Dependiente: LOG(Y _{it})				
Metodo: Pooled EGLS (Cross-section random effects)				
Periodo de Muestra: 1989-2005				
Observaciones de Sección Cruzadas incluidas: 10				
Observaciones totales del panel balanceado: 170				
Estimador Swamy and Arora de variances de componentes				
Variable	Coeficiente	Error Std.	t-Statistic	Prob.
C	4.4248	0.2841	15.5731	0
LOG(K _{it})	0.4260	0.0249	17.1335	0
LOG(P _{it})	0.4969	0.0484	10.2710	0
LOG(L _{it})	0.0096	0.0035	2.7235	0.0072
<i>Coefficientes de Efectos Aleatorios (Cross)</i>				
AUSTRALIA	-0.0830		GERM	0.4009
AUSTRIA	0.3792		ITA	0.7184
BELGIUM	0.2039		JAP	-1.7696
DEN	-0.6588		NETHER	0.2992
FIN	0.0851		US	0.4247
<i>Especificación de Efectos</i>				
Cross-section random S.D. / Rho			0.2803	0.9744
Idiosyncratic random S.D. / Rho			0.0454	0.0256
<i>Weighted Statistics</i>				
R-squared	0.8279	Mean dependent var	0.5253	
Adjusted R-squared	0.8248	S.D. dependent var	0.1289	
S.E. of regression	0.0539	Sum squared resid	0.4830	
F-statistic	266.1301	Durbin-Watson stat	0.2553	
Prob(F-statistic)	0			
<i>Unweighted Statistics</i>				
R-squared	0.7488	Mean dependent var	13.3713	
Sum squared resid	80.7093	Durbin-Watson stat	0.0015	

A continuación de acuerdo lo expuesto en el capítulo I y II, sobre las interrelaciones de las variables, se expone las representaciones de los tres modelos de panel utilizados, para 10 países tomados como muestra de estudio, en el periodo 1989 – 2005.

⁷ Elaborados a partir de datos de fuentes utilizando E-views 5.

La ecuación V.A.1.1 presenta la representación del primer modelo de panel de esta tesis, en el cual se explica que la producción de un país, esta determinada positivamente por las emisiones de CO₂, inversamente por el tipo de cambio real, de igual manera con la tasa de interés real, directamente explicada por los salarios reales, estas son las variables exógenas, añadiendo el componente de error (ε_{it}), que es la variable aleatoria que se distribuye normal e independiente con media y varianza igual a cero.

$$(V.A.1.1) \quad \log(GDP_{it}) = \alpha_{it} + \beta_1 * \log(CO_{2it}) - \beta_2 * EXR_{it} - \beta_3 * IRR_{it} + \beta_4 * WR_{it} + \varepsilon_{it}$$

La ecuación siguiente es la mejor representación por estimar respecto al capital acumulado, la cual se explica con constante negativa, inversamente con las emisiones de CO₂, de manera negativa con la tasa de interés real, crece si crece el producto total y el grado de error.

$$(V.A.1.2.) \quad \log(CS_{it}) = \alpha_{it} - \beta_1 * \log(CO_{2it}) - \beta_2 * IRR_{it} + \beta_3 * \log(GDP_{it}) + \varepsilon_{it}$$

La estimación de panel de la fuerza de trabajo es descrita por el salario real positivamente, inversamente por las emisiones de CO₂, además del componente de error.

$$(V.A.1.3.) \quad \log(LF_{it}) = \alpha_{it} + \beta_1 * WR_{it} - \beta_2 * \log(CO_{2it}) + \varepsilon_{it}$$

Lo descrito anteriormente ratifica nuestras principales hipótesis, sobre las consecuencias del incremento de las emisiones contaminantes sobre el crecimiento económico, pues el efecto total puede parecer ambiguo a primera impresión. Sin embargo, existen dos caminos por los cuales se generan los efectos, el primer efecto es directo y positivo sobre la producción, y la segunda forma es encadenada por medio primero del efecto negativo sobre el capital y el trabajo, que después modifica el crecimiento económico.

Sin embargo el impacto de estos efectos encadenados, en casos como los países utilizados aquí, no son mayores al impacto directo. El método de estimación óptimo del modelo utilizado para explicar las relaciones entre las variables endógenas y las exógenas esperadas, se reconoció con la prueba de Hausman anteriormente explicada⁸.

Para nuestro caso se muestra que el mejor método de estimación que ajusta para los tres modelos de panel de datos balanceados es con efectos fijos, ya que el p-value de la prueba de Hausman de cada estimación fue menor a 0.05. Los efectos fijos se calculan por medio de una resta de cada variable respecto de su media, y se aplica OLS a los datos transformados.

PRUEBA DE HAUSMAN: EFECTOS FIJOS VS EFECTOS ALEATORIOS⁹

	GDP/PIB	LF	CS
chi-sqr(2) =	640.6416	11.0037	72.3466
p-value =	0.0000	0.0041	0.0000

V.A.2 PANEL ESTÁTICO DE LA FORMA REDUCIDA CON EFECTOS FIJOS

El cuadro siguiente presenta la estimación por efectos fijos (within) para GDP de los 10 países en el periodo de 1989 a 2005, que permite que el término constante varíe por país, de acuerdo a la variable endógena a explicar. Sin embargo, se realizaron tanto las estimaciones realizadas con Stata 8, como las estimaciones con E-Views 5, esto para dar mayor consistencia y confiabilidad a las interpretaciones por realizar.

Partiendo de la función de producción ampliada antes descrita, tomando solo las variables exógenas explicativas para generar la estructura de esta regresión de panel estático; se observa que este modelo explica el crecimiento económico 84.8%.

⁸ Véase en capítulo IV

⁹ Elaboración propia con E-Views 5 a partir de datos de fuente

Donde un cambio en la tasa de interés real de los países en el periodo de estudio ha modificado negativamente al GDP en 0.71%, de igual manera negativa el tipo de cambio real ha generado decrecimiento en 10% sobre el GDP.

**V.A.2.1. ESTIMACIÓN DE LA FORMA REDUCIDA DE LA FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN
CON EFECTOS FIJOS (WITHIN)****

R-sq: within = 0.8486
 between = 0.4895
 overall = 0.4912
 F(4,156) = 218.65
 corr(u_i, Xb) = 0.1416 Prob > F = 0.0000

Log(Y)	Coef.	Std. Err.	t	P>t	[95% Conf. Interval]	
r	-0.0071	0.0022	-3.26	0.001	-0.0115	-0.0028
Log(P)	0.5800	0.0704	8.24	0	0.4410	0.7190
θ	-0.1021	0.0390	-2.62	0.010	-0.1791	-0.0250
wr	0.0104	0.0011	9.54	0	0.0082	0.0125
_cons	9.2247	0.4061	22.71	0	8.4225	10.0270

sigma_u 1.7826
 sigma_e 0.0667
 rho 0.9986 (fraction of variance due to u_i)
 F test that all u_i=0: F(9, 156) = 298.12 Prob > F = 0.0000

**/ Las estimaciones son estadísticamente significativas con 5% de error.

En tanto las emisiones de dióxido de carbono han motivado en 58% el crecimiento del GDP de este conjunto de naciones en este periodo, del mismo modo los salarios reales han fomentado el crecimiento económico pero en 1.04%. Estos coeficientes se aprueban al 95% de nivel de confianza. La estructura del modelo de esta especificación es adecuada, pues se acepta la hipótesis nula de la prueba F, ya que su probabilidad es 0.

Entonces de acuerdo a esta estimación con la forma reducida del panel estático, el comportamiento del crecimiento económico si se puede explicar para este conjunto de 10 países desarrollados de 1989 al 2005, mediante las emisiones de dióxido de carbono, así como por los salarios reales, la tasa de interés real y el tipo de cambio real. Las emisiones contaminantes de CO₂ tienen una gran influencia positiva en el crecimiento económico en los 10 países en este periodo.

V.A.2.2. ESTIMACIÓN DE LA FORMA REDUCIDA DE LA FUNCIÓN CAPITAL (STOCK) CON EFECTOS FIJOS (WITHIN)**

R-sq: within = 0.8486
 between = 0.4895
 overall = 0.4912
 F(4,156) = 218.65
 corr(u_i, Xb) = 0.1416 Prob > F = 0.0000

Log(K)	Coef.	Std. Err.	t	P>t	[90% Intervalo de Conf.]	
r	-0.0107	0.0025	-4.22	0	-0.0149	-0.0065
Log(Y)	1.1799	0.0735	16.04	0	1.0582	1.3016
Log(P)	-0.1583	0.0934	-1.69	0.092	-0.3130	-0.0037
θ	0.0810	0.0455	1.78	0.077	0.0056	0.1563
cons	-0.6715	0.8668	-0.77	0.440	-2.1058	0.7628

sigma_u 1.7826
 sigma_e 0.0668
 Rho 0.9986 (fraction of variance due to u_i)
 F test that all u_i=0: F(9, 156) = 2568.19 Prob > F = 0.0000

**/ Las estimaciones son estadísticamente significativas con 10% de error.

La especificación que se muestra de la regresión de efectos fijos (within) para Capital Stock es explicativa en 84.8%; en otras palabras la combinación de factores exógenos explican el comportamiento de la acumulación de capital. Esta especificación es apropiada de acuerdo a la probabilidad 0 obtenida en la prueba F.

De acuerdo a la regresión el coeficiente del producto del periodo actual funge como multiplicador de la inversión; por lo que, de acuerdo a este coeficiente la acumulación del capital actual o del periodo 1, es determinada en 117.9% por el Producto. Sin embargo, en este caso es necesario referir que el multiplicador de la inversión explica la dinámica del crecimiento de la inversión, por lo que un modelo estático, no nos da una visión precisa de la posible dinámica económica real.

Por lo que para este caso, es necesario realizar un ajuste dinámico que brinde mayor confianza económica, el cual se plasmara posteriormente. En tanto, esta misma estimación explica que la tasa de interés real ha tenido un efecto negativo pequeño en el capital al capital, de 1989 al 2005 para 10 países desarrollados e industrializados.

Por otra parte las emisiones de dióxido de carbono han deprimido la acumulación de capital en 15%, esto puede ser explicado por los efectos corrosivos

del CO₂ sobre el Capital Fijo, que generan depreciación progresiva en este. Y el tipo de cambio real ha fomentado la acumulación del capital en 8%.

V.A.2.3. ESTIMACIÓN DE LA FORMA REDUCIDA DE LA FUNCIÓN DEL TRABAJO CON EFECTOS FIJOS**

Variable Dependiente: LOG(Lit)				
Variable	Coeficiente	Error Std.	t-Statistic	Prob.
C	24.69857	5.389239	4.582943	0
LOG(Pit)	-4.61145	1.033172	-4.463389	0
writ	0.106622	0.015186	7.021298	0
<i>Coefficientes de Efectos Fijos (Cross)</i>				
AUSTRALIA	0.5735		GERM	4.6156
AUSTRIA	-8.1162		ITA	2.5697
BELGIUM	-4.8779		JAP	8.3955
DEN	-8.3964		NETHER	-2.5793
FIN	-8.2525		US	16.0681
R-squared	0.7136	Mean dependent var		9.1352
Adjusted R-squared	0.6936	S.D. dependent var		1.7013
S.E. of regression	0.9417	Akaike info criterion		2.7856
Sum squared resid	140.1002	Schwarz criterion		3.0070
Log likelihood	-224.7771	F-statistic		35.7849
Durbin-Watson stat	0.4088	Prob(F-statistic)		0

Para la función del trabajo partiendo del supuesto a comprobar de que el CO₂ tiene un efecto negativo en este, también se muestran las estimaciones de panel estático realizadas. La regresión muestra los mismos coeficientes de las variables y de la constante, los cuales fueron confiables al 95%. También se aprueba la especificación del modelo como adecuado para explicar las relaciones, sin embargo esta estimación muestra una bondad de ajuste entre las variables del 71%

V.B. PANEL CON VARIABLES INSTRUMENTALES

Esta especificación permite insertar las variables instrumentales que mejor convengan para cada estimación, con lo que se muestra mayor confiabilidad con esta estimación que con efectos fijos. Aunque la estimación con variables instrumentales si resuelve los problemas de endogeneidad, no resuelve la autocorrelación.

**V.B.1. ESTIMACIÓN DE LA FORMA REDUCIDA DE LA FUNCION DE PRODUCCIÓN AMPLIADA
CON VARIABLES INSTRUMENTALES (IV) CON EFECTOS FIJOS (WITHIN)**

Obs per group: min =	16				R-sq: within = 0.7736	
No de Individuos =	10				between = 0.9707	
No de observaciones =	160				overall = 0.9689	
Wald chi2(4) =	9.19e+06					
Prob > chi2 =	0.0000				corr(u _i , Xb) = 0.7344	
Log(Y)	Coef.	Error Std.	z	P>z	[95% Intervalo de Conf.]	
Log(P)	0.7642	0.0926	8.26	0	0.5828	0.9457
wr	0.0108	0.0011	9.74	0	0.0087	0.0130
r	-0.0043	0.0023	-1.87	0.062	-0.0089	0.0002
θ	-0.1342	0.0390	-3.44	0.001	-0.2106	-0.0578
_cons	8.1525	0.5217	15.63	0	7.1299	9.1750
sigma_u	.36634851	(fraction of variance due to u _i)				
sigma_e	.05583002					
Rho	.97730262					
F test that all u _i =0:	F(9,146) =	300.27			Prob > F =	0.0000
Instrumentados:	logco2					
Instrumentos:	wr ir exr L.logco2					

La estimación con variables instrumentales para el GDP sugiere la existencia de una elasticidad positiva de 76% con el CO₂, de 1% con los salarios reales, mas existe una elasticidad negativa de 0.4% respecto a la tasa de interés real, y también negativa respecto al tipo de cambio real en 13%.

Todos los coeficientes son significativos al 90% de nivel de confianza. Mientras que las pruebas X^2 y F exponen que la especificación del modelo es adecuada para explicar las interacciones entre estas variables. Aunque se tenga un coeficiente de determinación de las variables respecto al GDP o PIB del 77%. La variable de las emisiones contaminantes fue utilizada como instrumentada y como instrumentos fueron ocupadas las variables de salarios reales, tasa de interés real, tipo de cambio real y un rezago de CO₂.

La estimación con variables instrumentales para la Fuerza de Trabajo, expone que las emisiones de dióxido de carbono han disminuido en gran medida al trabajo, mientras que los salarios reales han motivado el crecimiento del trabajo en este

periodo y en estos países en 11%. Los coeficientes reportados son significativos al 95% de nivel de confianza.

Y la estimación del modelo es adecuada para explicar los efectos descritos de acuerdo a la probabilidad de F y X². Para el estimar la regresión IV de la Fuerza de Trabajo, se utilizó como variable instrumentada las emisiones de CO₂, mientras que se ocuparon como instrumentos al salario real y un rezago de las emisiones contaminantes.

V.B.2. ESTIMACIÓN DE LA FORMA REDUCIDA DE LA FUNCIÓN DEL TRABAJO DE VARIABLES INSTRUMENTALES (IV) CON EFECTOS FIJOS (WITHIN)

Obs per group: min =	16				R-sq: within = 0.2017
No de Individuos =	10				between = 0.7653
No de observaciones =	160				overall = 0.4521
Wald chi2(4) = 9.19e+06					
Prob > chi2 = 0.0000	corr(u_i, Xb) = 0.7344				
Log(L)	Coef.	Error Std.	z	P>z	[95% Intervalo de Conf.]
Log(P)	-5.842673	1.374934	-4.25	0	-8.537493 -3.147853
wr	0.1117679	0.0170011	6.57	0	0.0784464 0.1450894
cons	31.14382	7.160905	4.35	0	17.10871 45.17894
sigma_u	9.9750027				
sigma_e	.94393046				
rho	.99112472 (fraction of variance due to u_i)				
F test that all u_i=0:	F(9,148) = 8.90			Prob > F = 0.0000	
Instrumentados:	logco2				
Instrumentos:	wr L.logco2				

De acuerdo a la regresión de variables instrumentales (IV) para la Acumulación del Capital reportada, las emisiones de CO₂ muestran una elasticidad negativa de 32%, la tasa de interés real tiene una elasticidad negativa de 0.1%; por el contrario el tipo de cambio real indica una elasticidad positiva de 40%, y el efecto multiplicador de la inversión se observa con el segundo rezago del GDP, que tiene un mayor peso que el coeficiente del GDP no rezagado.

La especificación del modelo es adecuada para explicar las variables de acuerdo a la probabilidad reportada de X² y F, el cual también es determinantemente explicativo en 70%. Para esta estimación se utilizaron como variables instrumentadas, a el segundo rezago del GDP y al tipo de cambio real, mientras se usaron como

instrumentos a GDP, la tasa de interés real, las emisiones de CO₂ y su segundo rezago, como también tres rezagos del capital.

V.B.3. ESTIMACIÓN DE LA FORMA REDUCIDA DE LA FUNCIÓN DEL CAPITAL

MODELO DE VARIABLES INSTRUMENTALES (IV) CON EFECTOS FIJOS (WITHIN)

Obs per group: min =	14				R-sq: within = 0.7005	
No de Individuos =	10				between = 0.4198	
No de observaciones =	140				overall = 0.4207	
Wald chi2(5) =	4.48e+06					
corr(u_i, Xb) =	0.0419		Prob > chi2 =	0.0000		
Log(K)	Coef.	Error Std.	z	P>z	[95% Intervalo de Conf.]	
Log(Y)						
L2	2.4909	0.3876	6.43	0	1.8533	3.1285
θ	0.4053	0.2032	1.99	0.046	0.0710	0.7396
Log(Y)	-1.1098	0.4043	-2.74	0.006	-1.7749	-0.4447
r	-0.0163	0.0042	-3.92	0	-0.0232	-0.0095
Log(P)	-0.3252	0.1598	-2.04	0.042	-0.5880	-0.0624
_cons	-2.5758	1.5391	-1.67	0.094	-5.1075	-0.0442
sigma_u	1.8885307					
sigma_e	.07978486					
rho	.99821837	(fraction of variance due to u_i)				
F test that all u_i=0:	F(9,125) = 939.72		Prob > F = 0.0000			
Instrumentados:	L2.loggdp exr					
Instrumentos:	loggdp ir logco2 L2.logco2 L.logcs L2.logcs L3.logcs					

V.C. PANEL DINÁMICO

Las interpretaciones de efectos por panel estático, no muestran una aproximación real de la dinámica de las variables en el tiempo, pues no permite la inclusión de rezagos en las variables para explicar el movimiento de estas. Por lo que se realizaron las estimaciones de Panel Dinámico para dar una explicación mas realista del crecimiento económico, como para las funciones de los factores de producción. Además, las estimaciones de panel dinámico permiten resolver los posibles problemas de identificación o endogeneidad, y de autocorrelación serial.

La estimación de panel dinámico que se muestra para el producto, tiene como periodo de muestra de 1989 a 2005, para 10 países desarrollados e industrializados, firmantes del protocolo de Kyoto. Esta estimación utiliza las variables en niveles, en

primera diferencia y los rezagos distributivos significativos en este. El producto se rezago en dos periodos los cuales son significativos al 95%, y tienen coeficientes que explican la dinámica del efecto multiplicador existente. Esta estimación aunque no reporta el coeficiente de la constante de cada país, muestra una constante conjunta significativa al 95% de nivel de confianza.

**V.C.1. ESTIMACIÓN DE LA FORMA REDUCIDA DE LA FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN
CON PANEL DINÁMICO (ARELLANO-BOND)**

Numero de individuos = 10				Numero de observaciones utilizadas= 140			
Observaciones de tiempo tomadas= 14				Wald chi2(7) = 1145.28			
Resultados One-step							
Log(Y)		Coef.	Error Estándar	z	P> z	[95% Intervalo	de Confianza]
Log(Y)							
	LD	1.1727	0.0732	16.03	0	1.0523	1.2930
	L2D	-0.4185	0.0659	-6.35	0	-0.5269	-0.3102
Log(P)							
	D1	0.0799	0.0222	3.59	0	0.0433	0.1165
wr							
	Df1	0.0014	0.0004	3.28	0.001	0.0007	0.0021
r		0.0004	0.0002	1.87	0.062	0.0000	0.0007
θ							
	--	-0.0200	0.0104	-1.92	0.055	-0.0372	-0.0028
	L1	0.0203	0.0104	1.96	0.050	0.0033	0.0373
_cons		0.0019	0.0010	2.03	0.043	0.0004	0.0035

Prueba de Sargan de restricciones sobreidentificadas:

chi2(122) = 136.69 Prob > chi2 = 0.1717

Prueba de Arellano-Bond que promedia la autocovarianza en residuales de orden 1 es 0:

H0: No Autocorrelación z = -5.85 Pr > z = 0.000

Prueba de Arellano-Bond que promedia la autocovarianza en residuales de orden 2 es 0:

H0: No Autocorrelación z = 0.56 Pr > z = 0.5726

Sin embargo todos los coeficientes de esta estimación en conjunto y los coeficientes de los rezagos son significativos al 90% de nivel de confianza. Tienen una relación positiva directa con el producto, los diferenciales de los salarios reales en 0.14% y de las emisiones de dióxido de carbono en 7%, como igual relación de la tasa de interés real en 0.04%, y el primer rezago del GDP lo explica en mas del 100%.

Mientras se reporta una relación inversa de 2% del tipo de cambio real con el GDP. Este modelo esta exactamente sobreidentificado de acuerdo a la probabilidad que se reporta en la prueba de Sargan de restricciones sobreidentificadas. De acuerdo

a la Prueba de Arellano y Bond sobre no Autocorrelación, esta especificación no esta autocorrelacionada hasta el segundo rezago.

V.C.2. ESTIMACIÓN DE LA FORMA REDUCIDA DE LA FUNCIÓN DEL CAPITAL CON PANEL DINÁMICO (ARELLANO-BOND)

Numero de individuos = 10				Numero de observaciones utilizadas= 130			
Observaciones de tiempo tomadas= 13				Wald chi2(9) = 9898.91			
Resultados One-step							
Log(K)		Coef.	Error Estándar	z	P> z	[95% Intervalo	de Confianza]
	LD	1.94240	0.08399	23.13	0	1.77779	2.10702
	L2D	-1.30379	0.14707	-8.86	0	-1.59204	-1.01553
	L3D	0.35014	0.08110	4.32	0	0.19119	0.50909
Log(Y)							
	D1	0.10776	0.02856	3.77	0	0.05178	0.16374
Log(P)							
	D1	-0.02274	0.01043	-2.18	0.029	-0.04318	-0.00231
r							
	D1	-0.00081	0.00035	-2.34	0.019	-0.00149	-0.00013
θ							
	D1	0.00952	0.00461	2.06	0.039	0.00048	0.01855
Log(P)							
	L2	-0.00215	0.00085	-2.55	0.011	-0.00381	-0.00049
Log(Y)							
	L2	0.00238	0.00092	2.57	0.010	0.00056	0.00419
_cons		-0.02189	0.00819	-2.67	0.008	-0.03793	-0.00584

Prueba de Sargan de restricciones sobreidentificadas:

chi2(118) = 114.52 Prob > chi2 = 0.5734

Prueba de Arellano-Bond que promedia la autocovarianza en residuales de orden 1 es 0:

H0: No Autocorrelación z = -6.41 Pr > z = 0.0000

Prueba de Arellano-Bond que promedia la autocovarianza en residuales de orden 2 es 0:

H0: No Autocorrelación z = 0.50 Pr > z = 0.619

La estimación de panel dinámico de la acumulación de capital reporta que todos los coeficientes son significativos con 95% de nivel de confianza. Estos coeficientes explican que las emisiones de CO₂ han reducido la acumulación de capital en 2.2%, al igual que el segundo rezago de este ha determinado una reducción en el capital de 0.2%, también la tasa de interés real ha tenido un efecto negativo sobre este en 0.08%.

El efecto multiplicador de la inversión de observa claramente en los coeficientes de los rezagos del producto y de capital, que nos explican que existe un peso explicativo de la acumulación de capital actual utilizando rezagos de hasta dos

periodos. El tipo de cambio real también ha fomentado 0.9% la acumulación del capital en este periodo de tiempo y para el conjunto de países.

V.C.3. ESTIMACIÓN DE LA FORMA REDUCIDA DE LA FUNCIÓN DEL TRABAJO CON PANEL DINÁMICO (ARELLANO-BOND)

Numero de individuos = 10				Observaciones de tiempo tomadas = 15			
Numero de observaciones utilizadas = 150							
Resultados One-step							
Log(L)		Coef.	Error Estándar	z	P> z	[95% Intervalo	de Confianza]
Log(L)	LD	0.4934	0.0538	9.18	0	0.3880	0.5988
wr	D1	0.0340	0.0104	3.26	0.001	0.0136	0.0545
Log(P)	D1	-1.3152	0.6254	-2.1	0.035	-2.5410	-0.0893

Prueba de Sargan de restricciones sobreidentificadas:

chi2(122) = 125.69 Prob > chi2 = 0.391

Prueba de Arellano-Bond que promedia la autocovarianza en residuales de orden 1 es 0:

H0: no autocorrelation z = -4.52 Pr > z = 0.0000

Prueba de Arellano-Bond que promedia la autocovarianza en residuales de orden 2 es 0:

H0: no autocorrelation z = -0.09 Pr > z = 0.9270

La estimación de panel dinámico desarrollada por Arellano y Bond ahora para la Fuerza de Trabajo, nos muestra que las emisiones de CO₂ han afectado negativamente en mas del 100% al trabajo, mientras que el primer rezago de la fuerza de trabajo y los salarios reales han motivado el crecimiento de la fuerza laboral, en 49% y 3.4% respectivamente.

Estos coeficientes son significativos con 95% de nivel de confianza. Mientras que la prueba de Sargan de restricciones sobreidentificadas, explica que existe sobre identificación en el modelo, esto es, que las variables del modelo están exactamente identificadas. Y la prueba de Arellano y Bond demuestra que no existe Autocorrelación en el modelo hasta el segundo rezago. Por lo que esta especificación no tiene problemas de endogeneidad ni autocorrelación.

Con las estimaciones de panel dinámico se demuestran claramente las hipótesis sugeridas en esta tesis; principalmente que existe una importante relación

positiva y directa entre las emisiones de dióxido de carbono y el crecimiento económico, por lo que este el CO₂ también determina en cierta medida al PIB.

Así como también existe un efecto encadenado por medio de los factores de producción capital y trabajo, puesto que las emisiones contaminantes generan efectos adversos sobre el capital y el trabajo. Con las estimaciones de panel dinámico se exponen tres formas de panel como evidencia que sostienen la comprobación de las hipótesis principales de este estudio. Esto lleva a ensamblar todas las formas de evidencia descritas para dirigirlas a la discusión y toma de decisiones pertinentes.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

A lo largo de esta tesis hemos definido, construido, formalizado y explicado el desarrollo de esta investigación, la cual se construyó de acuerdo al método científico. Para culminar nuestra investigación debemos partir de enfatizar lo importante que es el plantear modelos empíricos y teóricos que permitan describir las interacciones entre el crecimiento económico y las emisiones contaminantes, tanto a nivel nacional, como regional.

Al plantear adecuadamente estos modelos podemos realizar diversas estimaciones econométricas, como panel de datos que es nuestro caso. La pretensión de nuestro modelo planteado fue encontrar cuáles eran los efectos netos en el producto que resultan del uso intensivo de *inputs* contaminantes que afectan la calidad del aire y se traducen en impactos negativos en la oferta de trabajo, en la formación de capital, y en el nivel de calidad de vida de la población¹.

Ahora, ya que generamos y expusimos suficiente evidencia, que sustentan y demuestran nuestras hipótesis, y que cumplen nuestros objetivos de investigación, podemos desprender diversas consideraciones y extender la discusión sobre los efectos de las emisiones de CO₂², así como del Tratado de Kyoto, en el crecimiento económico. Por lo que en esta tesis se ofreció la especificación de un modelo conjunto teórico-econométrico que explica las interacciones entre la función de oferta agregada y las emisiones contaminantes, partiendo de una función de producción ampliada, donde se incorpora el factor emisiones de CO₂ (denotado como “*P*”), que suponemos aquí puede representar al factor generación energética, puesto que la última genera a la primera directamente. Posteriormente se realizó la aplicación de estática comparativa que explica la dinámica entre las variables, esto es las interacciones económico –ambientales.

¹ En otras palabras, se deprime el bienestar de los individuos a largo plazo.

² Pues las emisiones de CO₂ aceleran en nuestro organismo el proceso de oxidación celular natural, en otras palabras, se acelera de manera artificial el proceso de envejecimiento de la población a corto plazo, disminuyendo la calidad de vida.

El modelo y las estimaciones econométricas de panel permiten concluir que mayores emisiones de CO₂ afecta de manera negativa a los factores de la oferta, trabajo y capital, sin embargo, el crecimiento de las emisiones de CO₂ a la vez determina directa y positivamente el crecimiento del producto. El efecto neto de mayores emisiones, asociadas a un uso intensivo de un factor de producción contaminante, culmina en un mayor nivel de producto, que determina la existencia de la relación directa y positiva entre el CO₂ y el producto. Es decir, los dos efectos negativos sumados son mas que compensados por el efecto positivo del CO₂ sobre el crecimiento.

En pocas palabras al fusionar todas las evidencias mostradas a lo largo de nuestra investigación, resulta en el despliegue de los efectos dañinos que las emisiones contaminantes generan sobre el capital y el trabajo, pues daña la salud³, los materiales y el medio ambiente.

Por lo que el costo de oportunidad de reducir el calentamiento global estaría dado por la generación de rendimientos decrecientes sobre la productividad del trabajo y del capital. La suma de estos dos efectos no es suficientemente grande para inhibir el efecto positivo sobre el crecimiento económico, que pero por otro lado deteriora la calidad de vida de las personas a nivel mundial.

Nuestros resultados pueden apoyar anteriores descripciones de otros autores, respecto al impacto negativo sobre el crecimiento económico y positivo sobre los factores de producción: trabajo y capital, de reducir las emisiones contaminantes; pero que nos devuelve a la discusión sobre la toma de decisión y planeación de los países, empresas, e individuos; en cuanto a que es realmente lo mas importante para estos,

³ Se transforma en problemas sobre la salud, como respiratorios, de stress, etc., por que no se tienen los adecuados niveles de oxigenación requeridos, esto se observa principalmente en las grandes ciudades, con desarrolladas zonas industriales y manufactureras económicamente fundamentales.

de acuerdo a los intereses y objetivos de estos organismos económico-sociales tanto a corto como a largo plazo.

Ya que por el lado de la economía, de la producción, nos interesa obtener la mayor tasa de crecimiento económico aun generando mayores externalidades. Sin embargo, por el lado social, este crecimiento de externalidades productivas (en este caso la contaminación ambiental), fomentan significativamente la propagación de efectos secundarios negativos inmediatos y a largo plazo, sobre la calidad de vida de la población total, tales como: enfermedades respiratorias, infecciones oculares, mayor velocidad de envejecimiento por mayor oxidación, etc.

Los posibles efectos económicos y sociales, a corto y largo plazo mostrados clarifican la importancia de que los países firmantes del Protocolo de Kyoto lo ratifiquen. Puesto que de implantar las políticas que la ONU sugiere seguir para disminuir los niveles contaminantes en las economías industrializadas, requerirían medidas tales como:

- La implementación de impuestos especiales por la cantidad de emisiones generadas a industrias especializadas que generen mayor contaminación;
- Influir en la modificación de costumbres y preferencias sobre el consumo, y generación de energéticos;
- Desarrollo tecnológico dirigido al incremento de calidad de vida global o sustitución tecnológica antigua por "limpia", a través del tiempo en industrias y/o empresas.

Estas medidas implicarían mayor inversión y/o mayores costos a corto plazo. Donde se observa que por el costo de oportunidad, no se reflejarían beneficios inmediatos, esto es, sobre el ingreso a corto plazo, que a su vez, puede mermar los planes e intenciones de sustitución tecnológica de empresas y de naciones. También podemos deducir que actualmente las Organizaciones No Gubernamentales (ONG's, que representan hoy mas los intereses sociales), deberían presionar a los gobiernos

de las naciones mas contaminantes, para que reduzcan sus emisiones de Gases Invernaderos (GEI) y disminuir los riesgos por efecto invernadero.

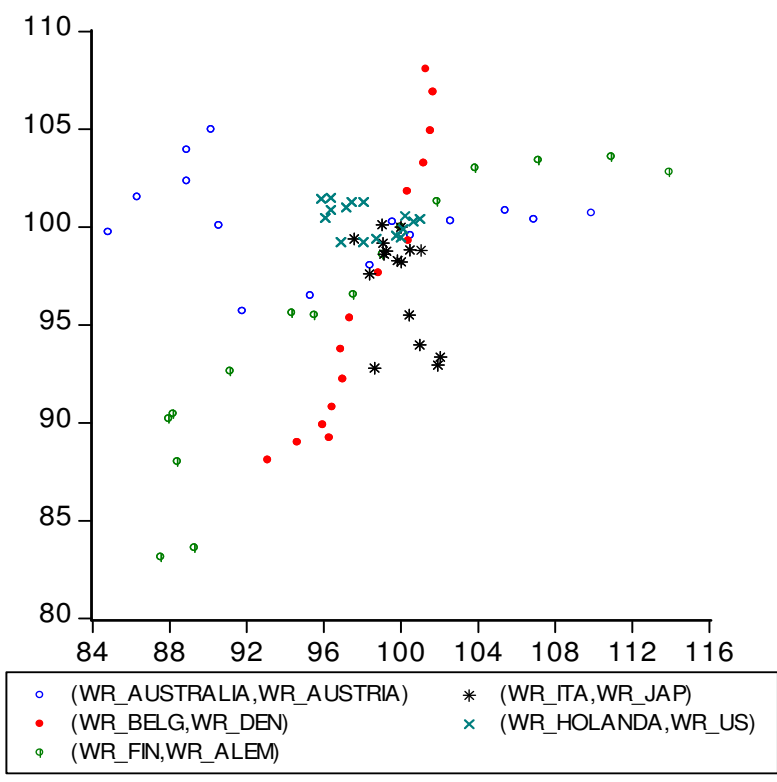
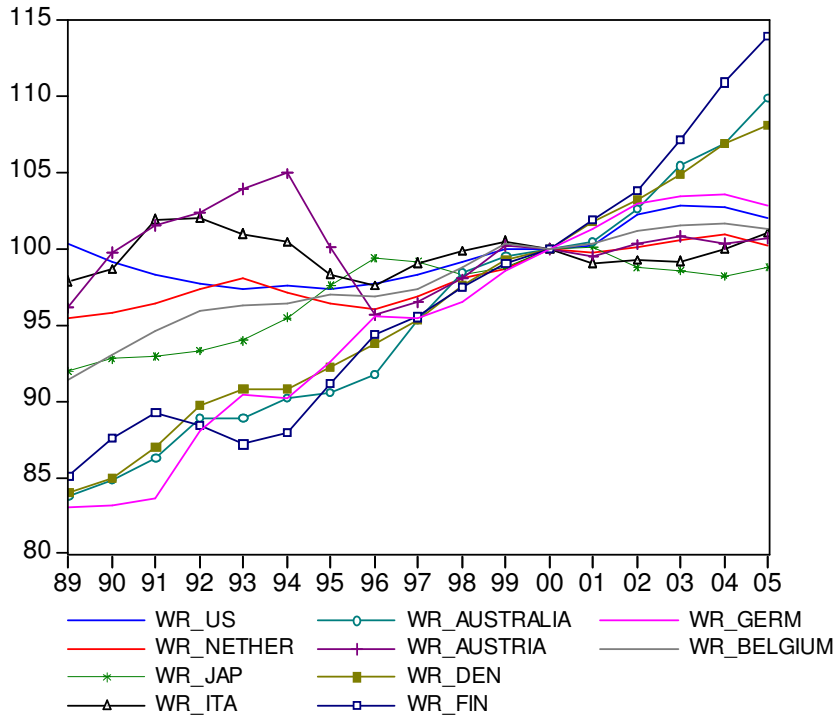
Lo que a largo plazo incrementaría el desarrollo económico, así como la calidad de vida de la población; sin olvidar que a corto plazo se observaría un estancamiento o disminución de la tasa de crecimiento económico. Sin embargo para la estabilización de las concentraciones de CO₂ atmosférico en bajos niveles, solo sería posible con reducciones en intensidad del carbono y/o una mayor intensidad de la energía, que las logradas históricamente.

Ante esto, principalmente el gobierno de E.U. discrepa en visión e intereses con el Protocolo de Kyoto. Pues los intereses del gobierno de E.U. se enfocan en el incremento de la tasa de crecimiento económico local a corto plazo, aunque esto genere externalidades que eviten garantizar mayores niveles de calidad de vida de la población mundial.

Por ultimo en cuanto a la metodología utilizada en esta investigación, cabe mencionar que se deja abierta la propuesta de adoptar esta aplicación para estudios próximos, ya sea, con una estrategia multi objetivo, por los otros diferentes tipos de contaminantes existentes (sólidos o líquidos), o multi-gases. Pues existen diversos gases contaminantes, de los cuales solamente el protocolo de Kyoto incluye 6 gases: dióxido de carbono, metano, oxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre, y multisectoriales económicos y/o sociales.

ANEXOS

Comportamiento de Salarios Reales*



* Elaboración propia con datos de fuentes

REFERENCIAS:

1. Arellano Manuel (2003), "Panel Data Econometrics", Oxford University Press.
2. Arellano M. and Honoré B. (2002), "Panel Data Models: Some Recent Developments", in Heckman, J.J. and Leamer, E. (eds.) Handbook of Econometrics, Vol. V, Elsevier Science Publisher BV.
3. Arellano (2000), "Panel Data Models: Some Recent Developments", CEMFI, Princeton University, Working Paper No. 0016.
4. Azomahou Théophile and Van Phu (2001) "Economic growth and CO₂ emissions: a nonparametric approach", Papers 0112, Catholique de Louvain - Center for Operations Research and Economics.
5. Baltagi, Badi H. (2001), "Econometrics of Panel Data", second edition, John Wiley and Sons
6. Bruvoll A., Glomsrød S. & Vennemo H. (1999), "Environmental drag: Evidence from Norway", Ecological Economics 30, Statistics Norway, Norway.
7. Cancelo, M.T. and Diaz, M.R. (2002), "Emisiones de CO₂ y Crecimiento en países de la UE", Estudios Económicos de Desarrollo Internacional. AEEADE. Vol. 2, núm. 1, Universidad de Santiago de Compostela
8. Chamberlain, Gary (1984), "Panel Data", in Griliches, Z. and Intriligator, M.D. (eds.) Handbook of Econometrics, Vol. II, p. 1247-1318, Elsevier Science Publisher BV
9. Chiang Alpha, "Métodos fundamentales de Economía Matemática", 3ª. Edn., McGraw-Hill, 1993
10. Dachraoui Kaïs, Gravel Gerry (2003), "The source of growth of the Canadian business sector's CO₂ emission 1990–1996", Economic Analysis Research Paper Series, Statistics Canada.
11. Edmonds J., Pitcher H. and Smith S. (2004); "Human Activities, CO₂ Emissions and Concentrations, and Climate Change", The Ocean in a High CO₂ World An International Science Symposium, Joint Global Change Research Institute, France.
12. Emissions of Greenhouse Gases in the United States 2003 (2004), Tables ES1 and ES2, Energy Information Administration (EIA):1990 y 1995-2003, U.S..
13. Evans, M. (1980), "An econometric model incorporating the supply-side effects of economic policy", Washington University, Federal Reserve Bank of St. Louis
14. García Páez Benjamín (2000), "Economía Ambiental", Facultad de Economía, UNAM, México.
15. Gilland Bernard (1998), "Pollution, Economic Growth, and Energy Demand, 1985 2020", Population and Development Review, Vol 14, No. 2 , pp 233–244.
16. Greene, W.H. (2000): Análisis Econométrico, 3ª Edición, Prentice Hall. Madrid
17. Hsiao Cheng; Hammond Peter and Holly Alberto (2002) "Analysis of Panel Data", (second edition) Cambridge University Press.

18. Huhtala Anni and Samakovlis Eva (2003), "Green Accounting, Air Pollution and Health", National Institute of Economic Research (NIER), Working Paper No. 82, Stockholm.
19. Judge (1980), "The Theory and Practice of Econometrics", John Wiley and Sons, 2nd. Edition.
20. Kalaitzidakis, Mamuneas y Stengos (2006); "The Contribution of Pollution to Productivity Growth", University of Crete, Greece.
21. Lee, Myoung-jae (2002), "Panel Data Econometrics. Methods-of-Moments and Limited Dependent Variables", Academic Press.
22. Leff (1998), "Saber Ambiental", Siglo XXI/Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades-UNAM/PNUMA, México.
23. Lundström Susanna (2003), "On Institutions, Economic Growth and the Environment", Economic Studies No. 123, Department of Economics, Göteborg University
24. Matyas, Laszlo and Sevestre, P. (eds) (1995) The Econometrics of Panel Data. A Handbook of the Theory with Applications. Second Revised Edition. Kluwer
25. Naciones Unidas (1998), "Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático".
26. Nordhaus William (1991), "A Sketch of the Economics of the Greenhouse Effect", The American Economic Review, Vol. 81, No. 2, Papers and Proceedings of the Hundred and Third Annual Meeting of the American Economic Association, 146–150 pp.
27. OECD-UNPD (2002), Sustainable Development Strategies, Ed. Earthscan, USA- UK.
28. Östblom Göran and Samakovlis Eva (2004), "Cost of climate policy when pollution affects health and labour productivity a general equilibrium analysis: Applied to Sweden", Working Paper No. 93, The National Institute of Economic Research, Stockholm.
29. Padilla Emilio and Serrano Alfredo (2005), "Inequality in CO₂ emissions across countries and its relationship with income inequality: a distributive approach", Departament d'Economia Aplicada, Universitat Autònoma de Barcelona.
30. Pérez López Elguézabal Alejandro (2004), "Un Modelo de Pronósticos de la Formación Bruta de Capital Privada de México", Documento de Investigación No. 2004-04, Dirección General de Investigación Económica, Banco de México
31. Rosendahl, K.E., (1998), "Social Cost of Air Pollution and Fossil Fuel Use-A Macroeconomic Approach", Social and Economic Studies 99, Statistics Norway.
32. Ruiz Duran Clemente (1999), "Macroeconomía Global", ED. Jus, UNAM, México
33. Saldivar Américo (Coord) (1998). "De la Economía Ambiental al Desarrollo Sustentable. F. Economía", PUMA, UNAM - FE, México.
34. Sickles Robin C. (2004), "Panel Estimators and the Identification of Firm-Specific Efficiency Levels in Parametric, Semiparametric and Nonparametric Settings" Forthcoming in the Journal of Econometrics, Rice University.
35. Selden M. Thomas and Holtz-Eakin Douglas (1992), "Stoking the fires? CO₂ Emissions and Economic Growth, NBER Working Paper No. 4248.

36. Thorning Margo (1999), "The Impact of the Kyoto Protocol on U.S. Economic Growth and Projected Budget Surpluses", American Council for Capital Formation before the Senate Committee on Energy and Natural Resources
37. Tooze Adam and Warde Paul (2005), "A Long-run historical perspective on the prospects for uncoupling economic growth and CO₂ emissions", University of Cambridge.
38. Varian Hal. (1993), "Microeconomía Intermedia", 3ra edición. Ed. A. Bosch, España.
39. Vinod D. H., "Econometrics of Joint Production (1968)", *Econometrica*, Vol. 36, No. 2.
40. Wooldridge Jeffrey (2001), "Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data", MIT Press
41. Zhang (1996), "Macroeconomic Effects of CO₂ Emission Limits: A Computable General Equilibrium Analysis for China", Integrated Economy-Energy-Environment Policy Analysis: A Case Study for the People's Republic of China, Chapter 7, Ph.D Dissertation, Department of General Economics, Wageningen University, Netherlands.

Fuentes Estadísticas:

- 1) Annual Energy Review (2004), "12. Environmental Indicators", Energy Information Administration
- 2) Heston Alan, Robert Summers and Aten Bettina (2002), "Penn World Table Version 6.1", Center for International Comparisons at the University of Pennsylvania (CICUP).
- 3) Estadísticas del Fondo Monetario Internacional (FMI)
- 4) Outlook from OCDE (OCDE)
- 5) World Bank Statistics (Estadísticas del Banco Mundial)
- 6) World Resource Institute. United Nations Environment Program
- 7) Instituto Nacional de Ecología de México (INE)