



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MÉXICO



FACULTA DE ECONOMÍA

“Análisis del crecimiento económico y la contaminación del aire en México de
1980-2012, basado en el proceso de la curva ambiental de Kuznets”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN ECONOMÍA

PRESENTA:

CARLOS MIGUEL URRIETA CRUZ

ASESOR:

Dr. en E. L. EMMANUEL MORENO RIVERA

REVISORES:

M en D. R. FIDELMAR SANDOVAL DURAN

Dr. en C.S. OSCAR M. RODRÍGUEZ PICHARDO

TOLUCA, ESTADO DE MEXICO

MARZO 2017

Agradecimientos

Mis más humildes y sinceras gracias a:

Mi extraordinaria Madre, por su generosidad, inestimable ayuda, amor, paciencia, gran instinto, fuerza, inagotables consejos, entusiasmo, esfuerzo incesante. Por ser la extraordinaria y talentosa mujer que ha iluminado mi vida, gracias por desempeñar tantas tareas y todas tan bien.

Mi incansable Hermana y querida amiga, por su apoyo y cariño. Le agradezco eternamente su talento y energía, por estar justo en el momento cuando más lo necesite.

Mis sabios consejeros y revisores, por compartir conmigo su dedicación, talento, entusiasmo, creatividad, atinados instintos sobre los asuntos que se presentaron y el esfuerzo que dedicaron, también por su amistad.... pero, sobre todo, por su inagotable buen carisma.

Por todo lo que se hizo para mejorar la estancia en la facultad, de manera muy especial al increíble personal de los departamentos de la facultad de Economía que se encontraba cuando permanecí en esta institución.

Los docentes que generosamente pasaron tiempo conmigo compartiendo sus conocimientos, que me han proporcionaron perspectiva a lo largo de mi desarrollo.

Todos mis compañeros y amigos, en particular a mis excepcionales 9 de la Facultad por su creatividad, apoyo, duro trabajo y su magnífica visión.

Los excelentes recursos disponibles en línea del Banco Mundial (BM), de Climate Analysis Indicators Tool (CAIT), de la Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (Redalyc), de Scientific Research Publishing, y en especial a Journal of Statistical Software y The R Project for Statistical Computing que hacen públicas las herramientas para generar análisis estadístico en **R** y a todos los expertos en el lenguaje **S**, que mantienen el funcionamiento y la actualización de la programación aplicada en **R**.

Es de sentido común elegir un método y probarlo. Si falla, admitirlo francamente y probar con otro. Pero, sobre todo, intentar algo.

Franklin D. Roosevelt

Contenido

Resumen	1
Introducción	4
Capítulo I: Revisión de la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets	9
1.1 Hipótesis de Kuznets, 1955.	11
1.2 Análisis Teórico de la Curva Ambiental de Kuznets (EKC).....	16
1.3 Relación y Controversia entre el Crecimiento Económico y el Medio Ambiente ...	18
1.4 Comportamiento que Describe la EKC.....	19
1.4.1 Efecto Escala, Tecnológico y de Composición.....	20
1.4.2 Elasticidad Ingreso-Demanda de Calidad Ambiental	21
1.4.3 Estándares Ambientales	22
1.4.4 Comercio Internacional	24
1.4.5 Hipótesis de Desplazamiento.....	25
1.4.6 Difusión de Tecnología	26
1.5 Modelo Empírico Cubico de la EKC	27
1.6 Resultados y Conclusiones Empíricas de la EKC.	30
1.7 Datos para el Análisis de la EKC	33
1.7.1 Indicadores de Deterior Ambiental.....	34
1.7.2 Variables Asociados al Producto Interno Bruto	35
1.8 Critica a los Resultados de la EKC	37
1.9 Crítica Basada en la Metodología	39
Capitulo II: Análisis del crecimiento económico y los gases contaminantes del aire en México.	44
2.1 Comportamiento del Producto Interno Bruto mexicano durante el periodo 1980-2012.	45
2.1.1 Proceso de liberación económica, México se adhiere al GATT, periodo 1980-1990.	46
2.1.2 Apertura Comercial, México firma el TLCAN, periodo 1990-2000.	48
2.1.3 Liberación Económica en México 2000-2012.....	50
2.1.4 Comercio Internacional - Cuenta Corriente	54
2.1.5 Flujo de capital (Inversión Extranjera Directa).....	57
2.2 Gases Contaminantes del Aire, subproducto del Crecimiento Económico	61
2.2.1 Contaminación por emisiones de Dióxido de Carbono (CO2)	64

2.2.2 Contaminación por Emisiones de Metano (<i>CH₄</i>)	69
2.2.3 Contaminación por Emisiones de Óxido Nitroso (<i>N₂O</i>)	71
Capítulo III. Exposición teórica sobre modelos de datos de panel e imputación.	78
3.1 Análisis de Datos de Panel	79
3.1.1 Modelos de Efectos Comunes	81
3.1.2 Modelo de Efectos Fijos.....	82
3.1.3 Modelo de Efectos Aleatorios	83
3.2 Elección de Modelo.....	84
3.2.1 Prueba Poolability o “Poolability Test”.....	84
3.2.2 Prueba Hausman o “Test Hausman”	85
3.3 Imputación	86
3.3.1 Imputación Simple	87
3.3.2 Imputación Múltiple.....	88
3.3 Software R	93
Capítulo IV Proceso de la curva ambiental de Kuznets aplicado a México	96
4.1 Datos	98
4.2 Proceso de Imputación de Datos Faltantes.....	100
4.2.1 Elección de Variables Completas construidas por Métodos de Imputación..	102
4.3 Pruebas de Estacionalidad.	107
4.4 Aplicación de Modelos de Datos de Panel y Pruebas de Panel.	111
4.4.1 Relación Dióxido de Carbono per cápita y PIB per cápita.	111
4.4.2. Relación Metano per cápita y PIB per cápita.	114
4.4.3 Relación Óxido Nitroso per cápita y PIB per cápita.....	118
Conclusiones	121
Referencias.....	133
Anexos.....	141

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Clasificación de los países según las relaciones estimadas entre desigualdad y crecimiento.....	15
Cuadro 2. América Latina y los Estados Unidos durante la Gran Recesión	52
Cuadro 3. Variables construidas por los métodos de imputación	102
Cuadro 4. Prueba Aplicación Dickey-Fuller aumentada	109

Índice de Figuras

Figura 1. Curva de Kuznets.....	12
Figura 2. Curva Ambiental de Kuznets	17
Figura 3. Comportamientos posibles entre presión ambiental y PIB per cápita	29
Figura 4. PIB real y PIB real per cápita (datos anuales normalizados en logaritmos naturales).....	47
Figura 5. PIB per Cápita: Promedio Regional (Ajustado por Paridad de Poder de Compra, PPC)	51
Figura 6. Comportamiento del Producto Interno Bruto en México 1980-2012	53
Figura 7. Saldo en cuenta corriente (balanza de pagos)	56
Figura 8 Inversión Extranjera Directa, Entrada neta de Capitales	59
Figura 9. Evolución del Dióxido de Carbono CO₂ de 1990 a 2012	68
Figura 10. Produccion de Metano CH₄ , 1990-2012.	71
Figura 11. Produccion de Óxido Nitroso N₂O , 1990-2012.....	74
Figura 12. Variables a imputar, datos no disponibles y existentes	101
Figura 13. Trayectoria de las variables por analizar	105
Figura 14. Funciones de autocorrelacion y autocorrelacion parcial	108
Figura 15. Modelo de efectos conjuntos “Oneway (individual)” (a)	112
Figura 16. Contraste F-estadística, prueba poolability (a)	113
Figura 17 Prueba de correlación serial Breusch-Godfrey/Wooldridge para modelos de panel (a).....	113
Figura 18. Modelo de efectos fijos “Oneway (tiempo)” (b)	114
Figura 19. Contraste F-estadista, prueba poolability (b)	115
Figura 20 Contraste de la prueba Hausman con χ^2 (b)	116
Figura 21 Prueba Multiplicador de Lagrange de Breusch-Pagan “efecto tiempo” (b)...	116
Figura 22 Prueba de Correlación Serial Breusch-Godfrey/Wooldridge para modelos de panel (b).....	117
Figura 23. Modelo de efectos conjuntos “Oneway (individual)” (c)	118
Figura 24. Contraste F-estadística, prueba poolabilty (c)	119
Figura 25. Prueba de Correlación Serial Breusch-Godfrey/Wooldridge para modelos de panel (c).....	119

Resumen

La Contaminación del Aire debido a la expansión en la producción de Dióxido de Carbono, Metano y Óxido Nitroso, es una condición que limita el desarrollo económico, social y humano, al contribuir al deterioro ambiental y restringir las posibilidades de un desarrollo sustentable.

Al consumir el aire contaminado, los seres humanos sufren malestares, enfermedades cardiopulmonares e incluso podría provocarles la muerte, además ocasiona costos que acotan su capacidad productiva y de consumo, afectando finalmente su óptimo desarrollo y calidad de vida. La contaminación del aire aumenta la temperatura global de los océanos y de la superficie terrestre, modifica procesos naturales, etc. En general, el deterioro de la calidad del aire restringe las capacidades de los seres vivos y procesos naturales, altera funciones indispensables para el desarrollo y evolución de la vida.

Generar y expandir el Producto Interno Bruto para satisfacer la demanda de bienes y servicios impulsa la creación de gases contaminantes. El estilo adoptado para estimular el crecimiento económico, dependiente de los combustibles fósiles al extraer, transportar y transformar bienes en todo el mundo, es el mayor responsable de la creación de gases que modifican la composición del aire.

Los procesos naturales, aun con las grandes catástrofes ocurridas históricamente que transformaron la estructura de la tierra, no han sido causa suficiente para acelerar el ritmo de calentamiento global y cambio climático, pero sí ha sido el impacto antropogénico, al mantener e incrementar el nivel de su bienestar a través del crecimiento económico, el responsable de multiplicar la producción de gases que acelera y perturba el deterioro ambiental.

En economías desarrolladas, el Producto Interno Bruto, el Producto Interno Bruto per cápita y los gases contaminantes del aire, muestran una relación en forma cóncava o de U-inversa, conocida como Curva Ambiental de Kuznets. Esta relación se nombró debido al trabajo de Grossman y Krueger de 1991 por su similitud a la propuesta pionera de Kuznets (1955).

La curva ambiental de Kuznets representa la relación entre la contaminación ambiental y el crecimiento económico. Esto es, a medida que se expande el crecimiento económico la contaminación ambiental se incrementa, si el crecimiento económico continúa en ascenso la contaminación llegara a un punto máximo para después iniciar su contracción siempre que el crecimiento siga multiplicándose, (Grossman & Krueger, 2015).

En el transcurso de los últimos 30 años México ha adoptado políticas y acuerdos (GATT y TLCAN) con el objetivo de agilizar la entrada de inversión extranjera y estimular el crecimiento económico, principalmente a través de la expansión del comercio internacional. De 1980 en adelante, la expansión del PIB no se ha dado de la forma esperada debido a la debilidad de la economía y crisis recurrentes que han frenado el crecimiento y desarrollo económico. Como señalan Martínez y Romero (2004) y, Noriega y Rodríguez (2011), en México el Producto Interno Bruto no ha mostrado un crecimiento sostenido, este se ha estancado y contraído.

Si bien la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets propone una relación cóncava entre la contaminación ambiental y el crecimiento económico, cabe preguntarse si con las evidencias de un limitado crecimiento económico en México, existe una contracción de las emisiones de gases contaminantes, que impulsa el progreso en la calidad del aire, esto bajo la siguiente hipótesis: la contracción en el ritmo de Crecimiento del Producto Interno Bruto reduce las emisiones de Gases Contaminantes, por lo tanto, mejoran las condiciones de la Calidad del Aire existente en México. En ese sentido, se cuestiona, ¿Cuál es el comportamiento que siguen los gases contaminantes del aire, dada la evolución del Crecimiento Económico en México, durante el periodo de 1980-2012, tomando en cuenta la Inversión Extranjera Directa y el saldo en la Cuenta Corriente?

Para responder a la pregunta y confirmar la aseveración, se aplicaron modelos de datos de panel a las variables: PIB per cápita, por un lado, como representante del crecimiento económico; y por otro, a las variables Dióxido de Carbono, Metano y Óxido Nitroso a nivel per cápita, como los elementos que incrementan la contaminación del aire. Dentro del modelo se incluyen dos variables artificiales representantes de la expansión de la Inversión Extranjera Directa y el saldo en la Cuenta Corriente, como herramientas importantes para explicar el comportamiento que ha tenido el PIB.

El problema de información limitada en los datos sobre gases contaminantes del aire en México, es compartido por otros países en vías de desarrollo. Los datos existentes para México permiten estudiar el periodo 1990-2012, sin embargo, al iniciar el análisis en 1980, fue necesario crear las variables para el lapso 1980-2012, para ello se implementaron procesos de imputación para datos no disponibles, con el objetivo de mantener el control y la eficiencia de las variables generadas y, asegurar su confianza al ser implementados en procesos de correlación.

El comportamiento que sigue el Dióxido de Carbono respecto a sus variables independientes, dado el valor de su relación, es un nexo de uno a uno, es decir, a medida que se incrementa el PIB per cápita la producción del dióxido de carbono se expande. Por su parte, cuando se trata la relación del Metano y el Óxido de Nitrógeno con sus variables independientes, el valor de su vínculo sostiene que la variación en el crecimiento económico no es suficiente para explicar su comportamiento de forma significativa. Existen variables fuera del modelo que explican con mayor precisión su trayectoria.

Con la información de la estimación, en general se concluye que no hay evidencia contundente que confirme el comportamiento descrito por la Hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets para el periodo 1980-2012 en México. La contaminación del aire continua en aumento dado el ritmo de crecimiento económico existente en México.

Palabras Clave: Contaminación, Aire, Dióxido de Carbono, Metano, Óxido nitroso, Producto Interno Bruto, Curva Ambiental de Kuznets.

Introducción

Mantener el nivel de Producto Interno Bruto para satisfacer la demanda de bienes y servicios de la sociedad exige la transformación de recursos naturales a través del uso de fuerza de trabajo y tecnología. En el proceso de recolección y producción se crea un subproducto (contaminante del aire), se expande a diferentes proporciones dada la intensidad del Producto Interno Bruto.

La evolución en la producción de los gases contaminantes deteriora la calidad del aire y en general contribuye al deterioro ambiental, representa un problema para el desarrollo y un permanente riesgo para la sociedad a nivel mundial.

La contaminación del aire se encuentra presente en todas las sociedades, independientemente de su nivel de desarrollo, constituye un fenómeno que tiene particular efecto sobre la salud humana. Los seres humanos consumen y filtran dirimente aproximadamente entre 13 y 15 kg de aire atmosférico, si la calidad del aire se compromete por la contaminación existente, la exposición genera enfermedades cardiopulmonares, respiratorias (asma y alergias), e incluso la muerte.

La pérdida en la calidad del aire reduce la esperanza de vida de las personas y es responsable de numerosos daños a los ecosistemas, afectando a todos aquellos seres dependientes del aire para desarrollarse y subsistir, a pesar de ello no se considera primordial en la agenda pública, dificultando el cumplimiento de las obligaciones que dicta cada la legislación en particular, independiente a los avances en el desarrollo económico.

Debido a los costes originados por la contaminación del aire que incluyen tratamientos médicos, tratamiento de daños medioambientales incluidas las multas por efectos a terceros e incumplimiento de objetivos marcados, es necesario un cambio en la conciencia y en los comportamientos para alcanzar objetivos de calidad ambiental, impulsadas por herramientas tecnológicas, mejoras en los procesos para generar el Producto Interno Bruto y el incremento en la demanda de calidad ambiental propiciado por el Producto Interno Bruto per cápita suficiente para satisfacer las necesidades básicas de la población y crear las condiciones para mejorar la calidad del aire que mantenga su nivel de bienestar.

La relación entre contaminación del aire y crecimiento económico, analizada por la Curva Ambiental de Kuznets sostiene que el incremento en crecimiento económico a corto plazo expande el deterioro de la calidad ambiental, pero en el largo plazo a medida que se multiplica el crecimiento económico, aumenta el ingreso y se desarrolla una economía, el deterioro existente se contrae hasta llegar a objetivos previamente establecidos, (Grossman & Krueger, 2015).

La recuperación de calidad ambiental, no se presenta de forma automática a medida que se expande el crecimiento económico y el nivel de ingreso medido por el Producto Interno Bruto per cápita, estos crean las condiciones para que las personas y empresas en conjunto con el estado, a través de la demanda, establezcan leyes y programas para controlar la producción de la contaminación generada, implementar acciones y atender los efectos ocasionados, (Panayotou, 1997).

Sea especulado que el comportamiento cóncavo entre la contaminación ambiental y el crecimiento económico observado en economías desarrolladas, puede ser replicado en economías en desarrollo debido a que siguen en evolución. Este escenario persiste por las conclusiones parciales generadas y la falta de información sobre contaminantes medioambientales, (Dinda, 2004), (Panayotou, 1997).

La mejor forma de atender los problemas medio ambientales es hacerse rico, para tener acceso a recursos que se empleen en maximizar el crecimiento y minimizar la producción de gases que contaminan al aire. Un problema aun existente en economías en desarrollo es la debilidad de su legislación ambiental, si esta constituye una desventaja, el incremento en el crecimiento económico y el nivel de ingreso no serán suficientes para controlar la contaminación sino evolucionan las normas y leyes ambientales, (Dinda, 2004), (Rothman, 1998).

Economías como la mexicana aún en desarrollo, han impulsado herramientas para expandir el crecimiento del Producto Interno Bruto y Producto Interno Bruto per cápita, generado cambios en el deterioro ambiental.

La evolución del Producto Interno Bruto en los últimos 30 años se debe principalmente por la adición al Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio (por sus siglas en inglés GATT) y al Tratado de Libre Comercio de América del Norte

(TLCAN), ya que, se ha expandido la entrada de Inversión Extranjera Directa e incrementado el ritmo de las Exportaciones.

La cuota de Producto Interno Bruto que se produce anualmente, crea en diferentes intensidades gases, que afectan a los seres vivos, causa daños a ecosistemas y alteran el desarrollo de la sociedad. La principal y mayor calamidad que se les atribuye es el efecto invernadero y la expansión del cambio climático, no limitado a regiones específicas ya que se presenta a nivel mundial.

Es por ello que resulta interesante conceptualizar e identificar la evolución del crecimiento económico a través del Producto Interno Bruto, para verificar si es el responsable del comportamiento en la producción de gases (Dióxido de Carbono, Metano y Óxido Nitroso) que alteran la calidad del aire. Para ello se plantea la siguiente pregunta: *¿Cuál es el comportamiento que siguen los gases contaminantes del aire dada la evolución del Crecimiento Económico en México durante el periodo de 1980-2012, tomando en cuenta la Inversión Extranjera Directa y el saldo en la Cuenta Corriente?*, la cual constituye el objetivo general.

La razón para estudiar el tema es observar el comportamiento de la producción de gases que contaminan al aire en México afectando a los individuos, empresas y la biodiversidad, ante la evolución que manifiesta el PIB impulsado por la Inversión Extranjera Directa y el saldo en Cuenta Corriente tras la entrada al GATT y la firma del TLCAN.

Los gases más abundantes que contaminan al aire son Dióxido de Carbono, Metano y Óxido Nitroso generados como subproducto al mantener el ritmo del Producto Interno Bruto Mexicano. Para analizar la posible relación entre ellos, se considera a los siguientes cuatro objetivos como principales:

- ❖ Revisar el estado del arte de la Hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets que explica la relación existente entre el Crecimiento Económico y la Degradación Ambiental.
- ❖ Analizar el comportamiento teórico del Producto Interno Bruto y su relación con los Gases Contaminantes del Aire en México durante el periodo 1980-2012.

- ❖ Analizar los modelos de Datos de Panel que toman en cuenta efectos que se ajustan a las variables para mejorar la estimación, a partir de variables creadas por métodos de imputación.
- ❖ Analizar el comportamiento que sigue el Producto Interno Bruto y los Gases Contaminantes en México de 1980 a 2012 aplicando modelos de Datos de Panel para comprobar el comportamiento descrito por la Hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets.

Para el estudio la posible relación directa entre el comportamiento del crecimiento económico y de los gases contaminantes del aire, toma como hipótesis central: **la contracción en el ritmo de Crecimiento del Producto Interno Bruto reduce las emisiones de Gases Contaminantes, por lo tanto, mejoran las condiciones de la Calidad del Aire existente en México.**

Para confirmar la hipótesis, el análisis se ha concentrado en información del Dióxido de Carbono per cápita, Metano per cápita y Óxido Nitroso per cápita como variables dependientes del Producto Interno Bruto per cápita y dos variables artificiales que muestran el comportamiento de la Inversión Extranjera Directa y el saldo en la Balanza Comercial, implementadas en modelos de Imputación y Datos de Panel.

Estos métodos se usan para mejorar la estimación a partir de información construida, México al igual que naciones en desarrollo no cuenta con fuentes de información que cubran largos periodos y una amplia gama de datos sobre degradación ambiental, limitando las conclusiones que se puedan extraer con la información existente.

El análisis se centra en identificar si el Producto Interno Bruto y sus dos variables artificiales son suficientes para explicar el comportamiento que ha seguido la producción de Gases, durante 32 años. Información que permite observar un panorama general sobre el comportamiento de la contaminación del aire en México.

El proyecto se ha dividido en 4 capítulos. El Capítulo I, aborda teóricamente de manera general el desarrollo de la relación entre Crecimiento Económico y Degradación Ambiental.

El Capítulo II, desarrolla la evolución del Producto Interno Bruto y las herramientas para mantener su nivel, Inversión Extranjera Directa y el saldo en la Cuenta Corriente. Y

la Contaminación del Aire a partir de la producción de gases como subproducto al mantener la regularidad del Producto Interno Bruto, que amenaza a la biodiversidad y a todos los seres vivos dependientes de la calidad del aire.

El tercer Capítulo, presentan la información de los modelos de datos de panel, en específico modelos de Efectos Conjuntos, Efectos Fijos y Efectos Aleatorios, posteriormente se exploran los métodos de imputación simple y múltiple. La aplicación de estos métodos se hace a través del software **R**, uno de los más actualizados y con una gran diversidad de paquetes para generar análisis estadísticos.

En el capítulo IV, se crean las variables con métodos de imputación e implementan los modelos de datos de panel para realizar el análisis entre la evolución del Producto Interno Bruto y el comportamiento de la producción de los gases que contaminan el aire en México de 1980 a 2012.

Finalmente, se incorporan, anexos a esta investigación; análisis y manuales como apoyo a la metodología para el tratamiento estadístico de la información, los códigos de lenguaje S para su aplicación en **R** que han hecho posible la imputación de datos, aplicación de pruebas, análisis comparativo y regresiones de datos de panel, entre otras.

Capítulo I: Revisión de la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets

La Curva Ambiental de Kuznets (por sus siglas en inglés EKC¹) parte del análisis de Simón Kuznets de 1955, propuso la existencia de un comportamiento cóncavo entre ingreso y desigualdad, sucedía cuando la transformación hacía el desarrollo de una economía iniciaba. El crecimiento económico² permite incrementar el ingreso, que expande la desigualdad. Contraer la desigualdad necesita de constante incremento en el nivel de renta per cápita unido al desarrollo económico, (Dinda, 2004).

La EKC desde su origen analiza la relación existente entre presión ambiental manifestada en problemas de contaminación de suelo, aire, agua, pérdida y degradación de recursos naturales, y la renta per cápita en los distintos niveles de crecimiento económico. La relación existente sostiene que solo algunos contaminantes bien registrados como emisiones de contaminantes del aire y contaminación del agua muestran una forma cóncava ante la expansión del ingreso.

El primer análisis registrado fue presentado por Grossman y Krueger en 1991, los estudios posteriores implementan de Datos de Panel para análisis estadístico, toman como variable dependiente a algún indicador de presión ambiental y como variable independiente al PIB per cápita, porque reporta el nivel de ingreso promedio que se tiene entre la sociedad de un país al final de un periodo. El análisis se ha implementado en forma reducida para contemplar la relación directa entre el crecimiento económico y presión ambiental.

El término Curva Ambiental de Kuznets se debe al trabajo pionero de Kuznets (1955), y al trabajo desarrollado por Grossman y Krueger en 1991, muestran similitud al encontrar en ambos análisis una relación en forma cóncava entre Desigualdad e Ingresos por parte de Kuznets y Presión Ambiental e Ingresos por parte de Grossman y Krueger, el comportamiento descrito por ambas curvas se observa a medida que evoluciona el crecimiento y el desarrollo de una economía.

¹Environmental Kuznets Curve (EKC), representa la relación entre el crecimiento económico y el deterioro ambiental, nombrada en honor a Simón Kuznets por similitud a su trabajo pionero de análisis entre crecimiento económico y desigualdad véase (Grupo de Economía Ambiental; Correa, Francisco, 2004).

² Se entiende por crecimiento económico a la expansión del Producto Interno Bruto (PIB) y por crecimiento del ingreso al aumento en la renta per cápita o PIB per cápita.

1.1 Hipótesis de Kuznets, 1955.

En la década de 1950 se propuso una relación en forma de U-invertida entre la desigualdad y el nivel de ingreso, dentro de la obra titulada “*Crecimiento Económico y Desigualdad en el Ingreso*” (*Economic Growth and Income Inequality*) desarrollada por Simón Kuznets.

Kuznets (1955), afirma: El archivo es tal vez 5% de información empírica y 95% de especulación, algo de ello posiblemente contaminado por una ilusión. La excusa para la construcción de una estructura elaborada sobre una base tan inestable es un profundo interés en el tema (...). La excusa formal (...) el tema central de gran parte del análisis y pensamiento económico; se debe a que nuestro conocimiento de él es insuficiente; una visión más fuerte de todo el campo puede ayudar a canalizar a nuestros intereses y trabajar en direcciones rentables intelectualmente (..). (pág. 28)

El análisis de Kuznets (1955), toma como supuestos; Una economía dual: El sector rural tiene una renta per cápita menor a la que se obtiene en el sector urbano, la mayor productividad en áreas urbanas genera que la desigualdad se expanda. La desigualdad es asociada a la migración del campo (agricultura) a la ciudad (industria).

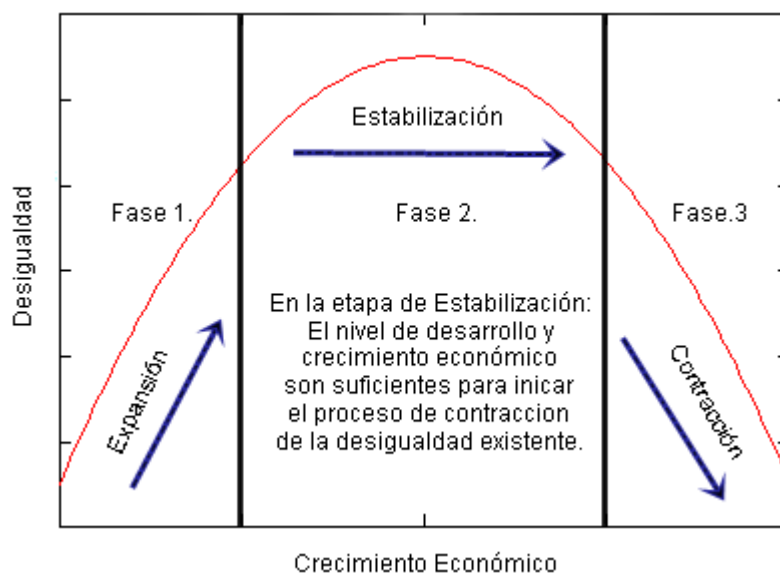
La inversión y el desarrollo son clave para aminorar la desigualdad de la renta, y en el mejor de los casos mantenerla estable. En sociedades desarrolladas con ingreso alto, el desarrollo y crecimiento económico crean la oportunidad para controlar la desigualdad, “los cambios intersectoriales de mano de obra desde la agricultura hacia sectores no agrícolas con mayores rentas per cápita producirían un patrón en el que la desigualdad de renta aumentaría inicialmente para después disminuir” (López, Alvargonzález, & Pérez, 2006, pág. 223).

La desigualdad en países desarrollados, por ejemplo, Estados Unidos, Reino Unido y Alemania se ha estado contrayendo y es mucho menor que la registrada en India, Ceilán (Sri Lanka) y Puerto Rico que son países en desarrollo, debido al reforzamiento de nodos urbanos dinámicos modernos, industrializados y aplicación de innovación tecnológica, atrayendo áreas atrasadas. rurales y pobres. Países en desarrollo tienen un nivel de ingreso insuficiente para ahorrar e invertir, limitando su capacidad para controlar su desigualdad a través de la expansión del crecimiento económico, (Kuznets, 1955).

Para reafirmar su descubrimiento de 1955 “Kuznets (1963) presentó evidencia empírica adicional que le llevó a postular la curva que lleva su nombre, también denominada U-invertida, (...) un patrón de la desigualdad primero creciente y después decreciente en relación al crecimiento económico” (López et al., 2006, pág. 223).

La relación pionera de Kuznets, se presenta en forma cóncava, describe cómo evoluciona la desigualdad a medida que se expande el crecimiento económico en la Fase 1. A corto plazo el proceso de crecimiento económico incrementa la desigualdad de la renta, en la Fase 2. A medida que avanza el desarrollo la desigualdad se estabiliza, pasando de economía agrícola a una economía dominada por la industria y en la Fase 3. La contracción en la desigualdad iniciara a medida que se expanda el desarrollo y sea persistente el crecimiento económico. Ello constituye la Curva de Kuznets, como se observa en la siguiente Figura.

Figura 1. Curva de Kuznets



Fuente: Elaboración propia.

En la actualidad la única trayectoria de la Curva de Kuznets no es satisfactoria, ello ha impulsado el desarrollo de nuevas teorías acerca del comportamiento que puede seguir la curva, no limitada a una trayectoria estática para analizar la evolución existente entre el crecimiento económico y la desigualdad.

(...) fenómenos asociados con la mundialización del capitalismo que incluyen la movilidad del capital, la dislocación del proceso productivo, cambios en la división

internacional del trabajo y mayor desarrollo del sector servicios apoyado en los avances científico-tecnológicos, desprenden dos tendencias: uno, que aumente la desigualdad bajo un modelo excluyente, concentrador y empobrecedor con estancamiento económico en muchas naciones atrasadas; dos, tendencia asociada decreciente de la desigualdad, correspondiente sobre todo a países desarrollados y algunos asiáticos con un modelo posmoderno, de alta productividad, redistributivo y más equitativo. (Sánchez, 2006, pág. 17)

La información extraída de múltiples bases de datos, se ha implementado para corroborar el comportamiento existente entre el Crecimiento Económico y la Desigualdad a nivel mundial. Los indicadores de desigualdad, que se han desarrollado para captarla en los últimos 50 años son: el Índice de Gini, el Coeficiente de Theil, por mencionar algunos, creando a partir de ellos conclusiones en contra y a favor de la Curva de Kuznets véase Anexo A.1.

(...) hasta la década de los setenta predominó la propuesta de Simón Kuznets, según la cual el reto económico central era lograr el crecimiento económico por medio de la modernización del aparato productivo, lo que a su vez permitiría reducir la desigualdad en la distribución del ingreso. Esta hipótesis era consistente con la experiencia de la mayoría de los países desarrollados. (Sánchez, 2006, pág. 13)

El trabajo de Kuznets (1955), analiza la desigualdad medida a través de la Curva de Lorenz³ agregada, en donde la economía tiene dos sectores el tradicional (rural) y el moderno (industrial), fue S. Robinson (1976), quien confirmó que existe una relación general con forma de U-invertida siempre y cuando la desigualdad, se mida por medio de la varianza, J.B. Knigh (1976), también confirmó la relación entre crecimiento y desigualdad medida a través del Índice de Gini.

Inconvenientes de trabajar con la Curva de Kuznets y sus principios originales, se basa en restricciones que no reflejan aspectos reales de las economías en la actualidad, una economía dual dedicada al sector tradicional y al moderno, nivel de ingreso constante, omisión de la desigualdad por sector, productividad por sector y su

³ Esta curva compara la distribución empírica de una variable con su distribución uniforme (de igualdad), representada por una línea diagonal. Cuanto mayor es la distancia, el área comprendida entre la curva de Lorenz y esta diagonal, mayor es la desigualdad, véase (Núñez V., 2006).

crecimiento, son algunas de las limitantes de la aplicación de un modelo tradicional sin adaptarlo a los nuevos aspectos que afectan la evolución de la economía.

La mayoría de las especificaciones para tratar la relación de la curva de Kuznets se hacen a través de un modelo cuadrado (polinomios de segundo grado) básicamente en logaritmos que contiene dos parámetros para una relación directa. Los indicadores que cuantifican la desigualdad (véase Anexo A.2) tienen un único punto de quiebre, si se emplea el modelo cuadrado, garantizan la reducción de la desigualdad a mitad que se expanda el crecimiento económico, en el largo plazo.

Kravis, (...) señala que en la fase de industrialización el excedente y la dispersión de los ingresos aumentan rápidamente, y con ello la desigualdad, pero después no se puede determinar una tendencia clara. Bourguignon establece que la distribución en el ingreso debe tomar en cuenta la magnitud de las elasticidades precio e ingreso en cada sector y las fases en que se encuentre la economía (...), la tecnología utilizada, (...) generalmente amplía la brecha intersectorial. (...) Deininger y Squire demostraron que la curva de Kuznets no es sólida si se consideran bases de datos más amplias, diferente composición en la muestra de países utilizada y varios periodos de observación (Hernández, 1999). (Sánchez, 2006, págs. 14-15).

Los análisis respecto a la curva de Kuznets y sus modificaciones en el transcurso de los últimos 60 años ha generado resultados que permiten apreciar que no existe evidencia que respalde claramente la existencia de la Curva de Kuznets “Mundial”, pero no niegan la existencia de la relación por país, “existe una amplia gama de líneas de investigación a partir de la propuesta seminal de Kuznets, la cual no se puede considerar una ley, sino una hipótesis que ha de verificarse en cada país en particular y en periodos específicos” (Sánchez, 2006, pág. 16), la siguiente tabla muestra los casos específicos, donde se observa la existencia de una curva de Kuznets en diferentes formas.

Cuadro 1. Clasificación de los países según las relaciones estimadas entre desigualdad y crecimiento

U	U invertida	Decreciente	Creciente
Bélgica	Australia	Bangladesh	Alemania
Costa Rica	Brasil		Tailandia
Estados Unidos	Canadá		
Hong-Kong	España		
India	Filipinas		
Jamaica	Hungría		
Nueva Zelanda	Japón		
Suecia	Korea		
Taiwán	México		
Venezuela	Pakistán		

Fuente: Adaptada de (López et al., 2006, pág. 239).

En esta tabla los Estados Unidos sigue un comportamiento en forma de U, mayor crecimiento económico genera la expansión de la desigualdad, entre los países que siguen un comportamiento en forma de U-invertida se encuentran Japón y México, a medida que se incrementa el crecimiento económico se reduce la desigualdad, uno de los países que muestra un comportamiento creciente en la desigualdad es Bangladesh mientras que Alemania transita hacia la contracción de la desigualdad.

La propuesta de Kuznets ha marcado todo un periodo, desarrollando un sinfín de herramientas para explicar la relación existente entre el crecimiento económico y la desigualdad, la idea no es una ley ni un único modelo, busca adjuntar elementos que apoyen de forma precisa la evolución de la relación en cada país, inspirando investigaciones que validan o rechazan su comportamiento.

Ha proporcionado información para encontrar relaciones nuevas respecto a otros parámetros, una de las que ha surgido y para propósito de este análisis es la relación entre Crecimiento Económico y Degradación Ambiental vista por primera vez en el trabajo de Grossman y Krueger de 1991 titulado Impactos Ambientales de un Tratado de Libre Comercio de América del Norte "*Environmental Impacts of a North American free Trade Agreement*", la obra ha multiplicado el enriquecimiento del debate entre el crecimiento económico y la degradación del medio ambiente, (Dinda, 2004), (GEA & Correa, 2004), (Roca & Padilla, 2003).

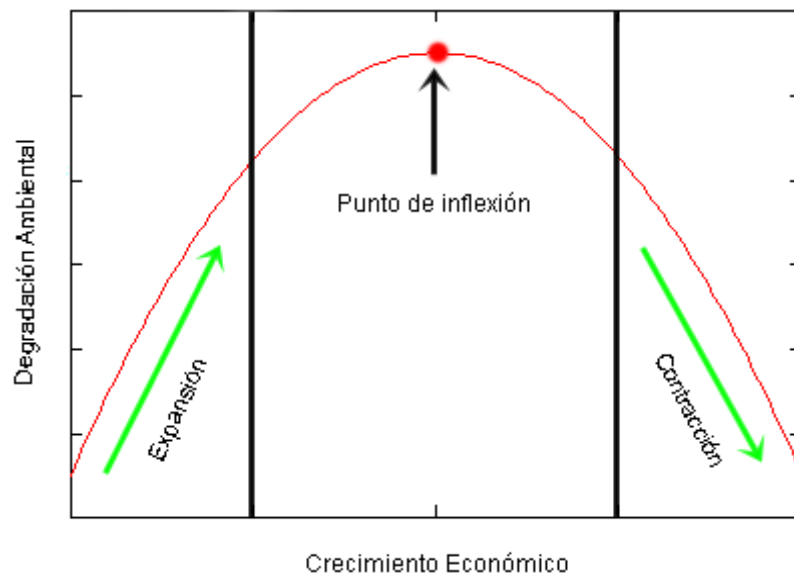
1.2 Análisis Teórico de la Curva Ambiental de Kuznets (EKC)

En la década de los 90's se nombró hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets, a la relación que aparece dentro del trabajo de Grossman y Krueger de 1991 que lleva por título "*Impactos Ambientales de un Tratado de Libre Comercio en América del Norte*", desde su aparición la relación se ha desarrollado y analizando con diferentes indicadores de Deterioro Ambiental para estudiar su comportamiento respecto al Crecimiento Económico.

La hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets, especifica que al inicio el crecimiento económico tiene impactos ambientales negativos, conforme se incrementa y llega a un punto suficientemente alto, la situación ambiental comienza a mejorar si se mantiene la expansión del crecimiento económico. A corto plazo el crecimiento genera la expansión del deterioro ambiental, pero en el largo plazo el crecimiento en expansión, será benéfico para atender y mejorar la calidad ambiental, (GEA & Correa, 2004). Por tanto, el crecimiento será el responsable de deteriorar al medio ambiente pero también creara las condiciones necesarias para poder restaurar su calidad, "fue Panayotou (1993) el primero en utilizar el término ya habitual de Curva de Kuznets Ambiental (CKA) para referirse a esta hipótesis, por su similitud con la relación (...) que podía existir entre el nivel de desigualdad y la renta per cápita (Kuznets, 1955)" (Roca & Padilla, 2003, pág. 73).

El comportamiento observado por Grossman y Krueger se describe en forma de campana, arco, de U-invertida o cóncavo. El crecimiento económico genera que se expanda el deterioro ambiental, hasta llegar al punto donde es suficiente para brinda las herramientas que ayuden a contraer el deterioro ambiental. Por tanto, en el largo plazo si el crecimiento es continuo ayudara a contraer el deterioro ambiental generado. El patrón descrito se observa en la Figura.

Figura 2. Curva Ambiental de Kuznets



Fuente: Elaboración propia. Deterioro Ambiental

De acuerdo con Panayotou (1997), la altura o el grado de concavidad de esta curva depende de las políticas y de los mercados. Las distorsiones como subsidios energéticos, fallas de mercado, en un nivel de ingreso bajo ocasionan que la expansión del crecimiento económico acelere el deterioro de la calidad del ambiente. Los subsidios distorsionadores, provocaran ante cada incremento en el nivel de ingreso, la aceleración de la degradación ambiental debido al acceso sin responsabilidad de recursos y la falta de compensación por efectos causados. Una subida más rápida en la curva refleja desgaste excesivo de recursos e incremento en la generación residual. Generar presiones para reducir la degradación ambiental, dependerá de la concientización del daño causado al ambiental y sus efectos sobre la población, (GEA & Correa, 2004).

La EKC debate sobre la expansión de los efectos ambientales que son ocasionados por el crecimiento económico así fundamentado por Grossman y Krueger, ellos se basaron en datos de corte transversal de diferentes países respecto a contaminantes atmosféricos (Dióxido de azufre , Materia oscura “humo”) provenientes de la GEMS⁴, exponen las implicaciones que tiene un Tratado de Libre Comercio de América del Norte sobre el medio ambiente, su conclusión, el tratado provocara mayor crecimiento

⁴ Global Environmental Monitoring System (Sistema Global de Monitoreo Ambiental): centro que monitorear de cerca las concentraciones de varios contaminantes en una sección transversal de áreas urbanas, (Grossman & Krueger, 2015).

en específico para México expandiendo su degradación medio ambiental a corto plazo. Conclusiones a nivel general, las ciudades comerciales, más pobladas y urbanas sufren mayores concentraciones de Dióxido de Azufre y “humos” a diferencia de los suburbios y zonas residenciales, los niveles de contaminación por Dióxido de Azufre continúan en contracción reflejo de la concientización sobre los problemas de salud asociados y la implementación de esfuerzos para limitar sus emisiones, la concentración de “humos” en el aire está en aumento unido a un nivel bajo de ingreso, se espera su contracción a medida que se incrementa el nivel de ingreso, (Grossman & Krueger, 2015).

La EKC desde su origen se ha convertido en un punto de referencia usual para estudiar la relación entre el crecimiento económico y el deterioro ambiental, en la búsqueda por mitigar el deterioro ambiental y la sobre utilización de los recursos naturales.

1.3 Relación y Controversia entre el Crecimiento Económico y el Medio Ambiente

A mediados del siglo XX dieron inicio los esfuerzos por comprender de forma clara las razones y causas de la degradación medioambiental. El origen del debate sobre la relación entre el crecimiento económico y deterioro ambiental se debe a la concientización del uso de recursos naturales, energéticos, tecnología que alteran la calidad del ambiente y afectan el bienestar humano, (Panayotou, 1997).

De 1970 hacia atrás se aseguraba que el consumo de recursos naturales crecía al mismo ritmo que lo hacía una economía (situación en que una variable no cambia), pero en 1972 un grupo de economistas del Club de Roma argumentaron que los recursos medioambientales son finitos ello impide un crecimiento económico acelerado permanentemente, advirtiendo problemas ambientales en un futuro, (Dinda, 2004). Los planes de crecimiento económico desde 1970 han integrado planes y procesos de desarrollo a nivel nacional e internacional que protegen al medio ambiente e intentan combatir problemas como: el agotamiento del ozono, el calentamiento de la Tierra, la degradación de los bosques, la pérdida de flora y fauna, etc.

Con la globalización, el libre acceso a los mercados y los acuerdos comerciales, el desarrollo y crecimiento de economías limitadas por sus recursos internos, el poder de su mercado o la falta de recursos tecnológicos, permite emprender el camino hacia el

crecimiento con desarrollo, debió a la expansión de los mercados y su producción, que detonan el incremento de la contaminación y aceleran el proceso de reducción de los recursos naturales, impidiendo que se conserve un patrimonio limpio, saludable y sostenible a corto plazo, (Grossman & Krueger, 2015), (Rothman, 1998).

(...) el crecimiento económico estimula la demanda –desde el punto de vista político– por recursos ambientales y provee los recursos para llevar a cabo medidas de protección ambiental (...) a pesar que mayores niveles de actividad económica pueden conducir inicialmente a mayores niveles de bienestar, el mayor crecimiento económico podría llevar a mayores tasas de utilización de los recursos naturales y mayor degradación del medio ambiente, por tanto a un efecto negativo en el largo plazo sobre el nivel de bienestar. (GEA & Correa, 2004, págs. 78,95)

El debate aún no ha llegado a un consenso, sobre cuáles son las acciones que se tienen que tomar para controlar el deterioro ambiental sin comprometer el crecimiento de las economías. Persiste la idea, los niveles más altos de crecimiento pueden ayudar a contraer la degradación del medio ambiente, (Dinda, 2004), (Rothman, 1998).

1.4 Comportamiento que Describe la EKC

En la etapa inicial de crecimiento económico, la atención prestada a los problemas ambientales es baja y no se cuenta con los recursos para acceder a tecnologías que sean amigables con el medio ambiente, no se dispone de ellas. Conforme se acelera el crecimiento económico, también lo hace la reducción de los recursos y su degradación. Llegado a un nivel de crecimiento y desarrollo suficiente, se podrá reorganizar la estructura empleada para mantener el ritmo de crecimiento económico, acompañado del aumento de la demanda por calidad ambiental, avanzara la aplicación de acciones y reglas que promuevan el cuidado del medio ambiente, alentando el uso de tecnologías limpias y la adopción de estrategias para controlar el daño ambiental, (Dinda, 2004), (Rothman, 1998), (Panayotou, 1997).

El tema en común de algunos estudios relacionados con la EKC asevera que el medio ambiente se deteriora en las etapas iniciales de crecimiento económico, conforme persista y avance se implementaran medidas para mejorar la calidad del medio ambiente

deteriorado, (Rothman, 1998). La hipótesis EKC asume como premisa que existe una relación en forma cóncava (U-invertida) entre la degradación del medio ambiente medida por los diferentes indicadores de contaminación y el crecimiento económico cuantificado a través del ingreso o renta per cápita, (GEA & Correa, 2004), (Andreoni & Levinson, 2001).

El planteamiento que da forma a la EKC afirma que una economía puede crecer de forma indefinida sin perjudicar la calidad del medio ambiente, para ello necesita desarrollo tecnológico, factor crítico que integra el medio ambiente con el crecimiento. Por lo tanto, la relación entre crecimiento económico y el medio ambiente se manifiesta en una trayectoria cóncava, (Andreoni & Levinson, 2001).

Las explicaciones posibles para la forma que describe la EKC son paralelas al desarrollo económico, con la siempre influencia de las preferencias de los individuos dependiendo de su nivel de ingreso. Una EKC no será observada empíricamente hasta que no exista un nivel suficiente de desarrollo e ingreso, y las demandas de agentes que promuevan el cuidado ambiental, (Dinda, 2004). Para Andreoni y Levinson (2001), la existencia de una EKC depende de las utilidades crecientes, que a su vez dependen del consumo y del uso de tecnología que disminuya el subproducto no deseado (contaminación). Pero no por si sola se mostrara la existencia de una EKC para que se manifieste interviene la acción dinámica de instituciones públicas y privadas, asociaciones civiles, entre otros, (Dinda, 2004), (Panayotou, 1997).

La reestructuración del sistema productivo a través del uso de las mejoras tecnológicas es una herramienta que suele definir la existencia de la EKC, ya que proporciona la estimulación del crecimiento y desarrollo económico, manteniendo la eficiencia en el uso de los recursos, (Andreoni & Levinson, 2001).

1.4.1 Efecto Escala, Tecnológico y de Composición

Como la EKC es una función reducida, de ella se observa el efecto neto del ingreso sobre el deterioro ambiental, ya que el ingreso tiene una relación para una colección variada de indicadores de deterioro ambiental, (Grossman & Krueger, 2015), (Rothman, 1998).

Un cambio en la política de crecimiento económico, altera el nivel de degradación ambiental debido al efecto que se provoque para mantén el ritmo de PIB, que altera el comportamiento existente del medio ambiente.

Efecto Escala, si la actividad por área aumenta debido a la mayor inyección de recursos la degradación se acrecentará, si se consumen los recursos de zonas específicas y no se emplean herramientas para controlar el uso de estos, los residuos y el uso de los recursos perjudicaran en mayor medida, aquellos lugares que intensifican sus actividades.

Efecto Tecnológico, la implementación de reglas que promuevan el uso de tecnologías limpias en el proceso de producción, vuelve más eficiente el uso de recursos alterando el comportamiento de la contaminación emitida, la transición desde tecnologías altamente contaminantes a tecnologías limpias conduce a menos presión ambiental.

Efecto Composición, para mantener el ritmo de PIB, la estructura de la actividad desarrollada crea cierta intensidad de contaminación. El sector primario tiende a ser más intensivo en el uso de los recursos, el sector secundario o de transformación es el más intensivo en la emanación de contaminación como subproducto. La composición cambia con el crecimiento y desarrollo, la evolucionando hacia un sector en específico reflejara el efecto que tiene el ingreso sobre la degradación del medio ambiente, (Grossman & Krueger, 2015), (Dinda, 2004), (Andreoni & Levinson, 2001), (Panayotou, 1997).

El nivel de ingreso ha jugado un papel determinante en el compartimento que siguen los contaminantes generados, iniciar y dar continuidad al proceso de contracción de la contaminación es influenciado por las demandas de calidad ambiental de la población y su renta.

1.4.2 Elasticidad Ingreso-Demanda de Calidad Ambiental

La demanda por mejorar la calidad ambiental es respaldada por la acción directa del PIB per cápita, ante un nivel bajo de ingresos, los sujetos se interesan más por sus necesidades básicas (comida, vestido, salud, educación) y no ponen suficiente atención al medio ambiente, no hay demandas y acciones para tener en cuenta su cuidado. Cundo el nivel de ingreso es alto, los sujetos no solo exigen que se preste atención al medio

ambiente, ellos toman la iniciativa para impulsar el cuidado y atender al ambiente que los provee de bienestar. Por tanto, el crecimiento del ingreso no solo crea la demanda por la mejora ambiental, hace disponible los recursos necesarios para actuar en contra de la degradación, (Grossman & Krueger, 2015), (Dinda, 2004), (GEA & Correa, 2004), (Panayotou, 1997).

Un nivel alto de ingresos permite un incremento en gasto público dedicado a la protección del medio ambiente, a través del uso de tecnologías que disminuyan el deterioro y reglas que monitoreen y castiguen efectos que sigúan contribuyendo al deterioro ambiental, (Dinda, 2004), (Panayotou, 1997).

(...) son las preferencias de los individuos las que explican que, una vez que se alcanza un determinado nivel de renta, cambia la combinación escogida entre bienes y servicios «producibles» y calidad ambiental, de forma que se decide consumir más «calidad ambiental», aunque sea a costa de un consumo del resto de otros bienes y servicios menor que el potencial (o de una composición diferente a la que, prescindiendo del factor ambiental, sería la más deseable). (Roca & Padilla, 2003, págs. 75-76)

Las demandas de la población por la calidad ambiental y sus preferencias por la protección del ambiente son las responsables en la creación de herramientas jurídicas que apoyen su reclamo con el fin de no continuar con la degradación ambiental.

1.4.3 Estándares Ambientales

La contaminación crecerá si la regulación ambiental es débil o inexistente, conforme una economía se desarrolla sus instituciones avanzan, se vuelven esenciales para aplicar controles sobre la calidad ambiental, (Dinda, 2004), (Panayotou, 1997).

Si el medioambiente se trata como un bien de lujo, en el periodo inicial de crecimiento económico, no se estará dispuesto a sustituir consumo por inversión en monitoreo ambiental y la calidad ambiental declinará. Cuando se llega a un punto alto de crecimiento económico con desarrollo, la demanda por la calidad ambiental se multiplica, como consecuencia se impulsa la creación y aplicación de políticas que protejan al ambiente, “los niveles crecientes de contaminación están fuertemente asociados con

economías pobres y en desarrollo, mientras niveles declinantes de polución⁵ son más frecuentemente observados para países desarrollados (Selden y Song, 1994)” (GEA & Correa, 2004, pág. 85).

El desarrollo temprano de la regulación ambiental es el paso para iniciar con la protección del medio ambiente. Un medio ambiente no regulado ligado a una expansión del PIB crea riesgos y problemas como escases de recursos, incremento en los desechos, expansión en el deterioro ambiental, efectos sobre la salud pública, etc.

Cuando se abre paso al libre comercio un país se especializa, para crecer en los sectores donde se tiene ventaja, si proviene de las diferencias en estándares ambientales, el incremento en el crecimiento económico sin duda dañara de forma acelerada al medio ambiente. La regulación débil puede ser cambiada por una regulación más audaz que no comprometa el deterioro ambiental y de ninguna manera frene el crecimiento económico, exigiendo un ambiente más limpio con estándares que controlen el deterioro sufrido.

Algunos autores, (...) por ejemplo Pethig (1976), Siebert (1977), Yohe (1979) y McGuire (1982), estudiaron la relación teórica entre las regulaciones ambientales y el patrón de comercio. Encontraron que estrictas regulaciones ambientales o normas costosas debilitan la posición competitiva de países con industrias intensivas en contaminantes disminuyendo sus exportaciones (e incrementando sus importaciones) de los productos que se generaban en dichos sectores. (...) McGuire ha extendido estos resultados para incluir la inversión extranjera directa, los controles causan que empresas activas en el sector intensivo de contaminación trasladen sus actividades a países menos regulados. (...) Walter (1982) y Leonard (1988) llegan a la conclusión de que existe poca evidencia de que los costos de reducir la contaminación han influido en la toma de decisiones de localización de empresas multinacionales. (Grossman & Krueger, 2015, pág. 21)

Si el costo de cumplir con las regulaciones ambientales fuese visto como desventaja, los individuos y empresas de aquellos lugares donde la regulación es

⁵ Polución se refiere a la contaminación ambiental causada por la presencia predominante de sustancias peligrosas, que afectan directamente a la naturaleza, los seres vivos y animales, véase (Nejadkoorki, 2011).

demasiado estricta para obtener beneficios, migraran. El comercio internacional constituye la herramienta para reubicarse en regiones donde las regulaciones son mínimas o nulas. Es posible que estos lugares sean paraísos, porque cuentan con recursos abundantes y la regulación es limitada o en desarrollo.

1.4.4 Comercio Internacional

El intercambio de bienes y servicios, unido a la movilización de recurso e industrias contaminantes, altera la composición de los mercados. Multiplicar el PIB modifica el ritmo de la contaminación que afecta la calidad del medio ambiente. Una economía que inicia su camino hacia el desarrollo demanda transferencias de capital para expandir su producción, impulsado por la entrada de Inversión Extranjera Directa, (Grossman & Krueger, 2015), (Dinda, 2004), (Rothman, 1998).

El comercio internacional, la liberación de los mercados, políticas de atracción de inversión y pactos comerciales indirectamente afectan al ambiente, a través de la escala necesaria para mantener y expandir el ritmo de crecimiento debido al cambio en la composición de los procesos, al introducir nuevos proyectos de producción y fomentar en cada país el desvío de recursos hacia los sectores competitivos o donde se dispone de factores abundantes.

Los impactos ambientales de la liberalización del comercio en cualquier país dependerán no sólo del efecto del cambio de política en la escala global de la actividad económica, sino también a los cambios inducidos en la composición intersectorial de la actividad económica y en las tecnologías que se utilizan para producir bienes y servicios. (Grossman & Krueger, 2015, pág. 36)

Debido a que el comercio internacional tiene la habilidad del libre movimiento de los recursos, mudar industrias altamente contaminantes para evadir los costos de la regulación ambiental a zonas con regulación mínima, dará continuación a la producción intensiva en contaminación. Por tanto, la contracción de la contaminación en regiones desarrolladas con alto nivel de ingreso, solo se presenta si se incrementa la contaminación de regiones en desarrollo.

1.4.5 Hipótesis de Desplazamiento

Si los costos de chocar con las regulaciones o controles ambientales de un país C son más altos a los existentes en un país M, donde son bajos e insuficientes, constituye una asimetría de control sobre la calidad ambiental. Ofrece ventaja a los productores del país M y motiva a productores del país C a trasladar sus operaciones hacia el país M bajo el libre comercio y flujos inversión. Intensificar la actividad en el país M sin ajustar su regulación ambiental lo convertirá en un botadero medioambiental. Por lo tanto, cualquier expansión en el comercio e inversión del país M estará motivado, por evitar los altos costos de efectos ambientales que condenan las reglas del país C.

Arrow et al. (1995), Stern et al. (1996), Ekins (1997) y Rothman (1998), entre otros, (...) Si los cambios en la estructura de producción en economías desarrolladas no están acompañados por cambios equivalentes en la estructura de consumo, la hipótesis de la EKC puede, simplemente, registrar el desplazamiento de las industrias «sucias» hacia economías menos desarrolladas (...) si la relocalización es la fuerza conductora detrás de la EKC, los puntos umbrales estimados incluso pueden volverse ilusorios: las ganancias ambientales para las economías desarrolladas debido a la relocalización no estarán disponibles para las economías en desarrollo cuanto más países en desarrollo se estén moviendo rápidamente a altos niveles de ingreso (Arrow et al., 1995). (GEA & Correa, 2004, págs. 86, 96-97)

El desplazamiento de las industrias intensivas en contaminación, el libre flujo de capitales, la especialización de las naciones, explica la existencia de la EKC en países específicos, pero no la contracción de la degradación ambiental a nivel global.

(...) las actividades de un país provocan frecuentemente presiones ambientales que recaen —al menos en parte— en otros países, (...) El desplazamiento espacial hacia otros territorios se da, a veces, de forma inevitable, por la propia característica del problema ambiental, como la contaminación atmosférica que se desplaza cruzando fronteras o la contaminación de los ríos que, aguas abajo, atraviesa también fronteras; o como los problemas de carácter global —como el aumento del efecto invernadero—, cuyos efectos recaen sobre todos, independientemente de dónde se originen. (...) las posibles CKA podrían derivar no de una mejora ambiental genuina, sino de una

exportación de problemas ambientales a otros territorios (Arrow et al., 1995; Stern et al., 1996). (Roca & Padilla, 2003, pág. 76)

Si la exportación de industrias intensivas en contaminación a países que inician su proceso de desarrollo es la clave para la existencia de la EKC entonces esta relación ingreso presión ambiental no será replicado por los países pobres, ya que ellos no tendrán uno más pobre al que puedan exportar la contaminación, (Andreoni & Levinson, 2001).

La Hipótesis del Paraíso de Contaminación sostiene que firmas altamente contaminantes se reubicarán en países con bajos niveles de protección al ambiente, tomando ventaja de aquellos países con bajos niveles en regulación ambiental, ello constituye el similar de la hipótesis de desplazamiento. Por lo tanto, según estas hipótesis los países con ingreso alto exportaran industrias sucias hacia países con ingreso bajo, (Dinda, 2004), (GEA & Correa, 2004).

El mudar recursos hacia economías en desarrollo como una alternativa por evitar el pago a causa de las reglas ambientales afecta a los países receptores de los recursos, ya que, trabajaran con tecnología sucia que permite iniciar la tecnificación de sus sistemas de producción y emprender al camino hacia el crecimiento económico que les hace falta.

1.4.6 Difusión de Tecnología

La degradación al generar el PIB, ante un incremento de la demanda o un cambio en el régimen de producción no permanece constante. Esta se controlará debido al uso de tecnologías modernas y limpias, mejoras en los procesos de producción y el fomento de reglas que limiten la pérdida de la calidad ambiental, que no deben mermar la entrada de inversión extranjera y los flujos de mercancía para continuar con el ritmo de crecimiento económico, (Grossman & Krueger, 2015), (Andreoni & Levinson, 2001), (Rothman, 1998).

(...) la mayor renta per cápita comportase por sí misma una evolución tecnológica con un sesgo favorable a la reducción de las presiones ambientales. (...) la acumulación de conocimientos en el crecimiento económico (...) ayudará a utilizar los

diferentes recursos —y, en particular, los naturales— de forma más eficiente. (Roca & Padilla, 2003, pág. 75)

Los países tienden a pasar por etapas respecto al uso de tecnología, se mueven de una economía 100% agrícola a una pre-industrial, industrial, para terminar en una dedicada a los servicios o mixta con baja participación en la generación de contaminación. La evolución del uso de tecnología permite observar en un principio tecnología altamente contaminante, pero conforme se desarrolla se hace eficiente y amigable con el ambiente, en el largo plazo ayuda a contener la presión ambiental y en el mejor de los casos a contraerla, (Dinda, 2004), (GEA & Correa, 2004), (Andreoni & Levinson, 2001).

La evidencia teórica confirma que la trayectoria descrita por la EKC puede ser simplemente una ilusión pese a los esfuerzos realizados para contribuir al cuidado del ambiente. Cabe destacar que los análisis han empleado y desarrollado modelos matemáticos como herramienta para mostrar cual es el comportamiento que se logra generar entre el crecimiento económico y el deterioro ambiental.

1.5 Modelo Empírico Cubico de la EKC

La evidencia sobre la relación entre medio ambiente y crecimiento económico confirman en la mayoría de los análisis, el uso de datos de panel y dos modelos principales.

Modelo 1 especificado en forma cuadrática:

$$P_t = \alpha_t + \beta_1 I_t + \beta_2 I_t^2 + \beta_3 Z_t + u_t \quad (1)$$

Modelo 2 especificado en forma cubica:

$$P_t = \alpha_t + \beta_1 I_t + \beta_2 I_t^2 + \beta_3 I_t^3 + \beta_4 Z_t + u_t \quad (2)$$

Donde P_t representa la contaminación, α_t es una constante (promedio de la contaminación cuando la influencia del ingreso es baja), β_n es la importancia de las variables independientes, I_t representa el PIB per cápita o ingreso, Z_t especifica la inclusión de otras variables que influyen sobre la contaminación, u_t es el error de especificación del modelo y t es el periodo de los datos. Las funciones anteriores se

pueden reescribir en logaritmos o haciendo alguna transformación que sea acorde a lo que se está buscando. Los parámetros de esta regresión pueden diferir dependiendo del país, del nivel de ingreso, de las condiciones de los indicadores utilizados, etc., (Grossman & Krueger, 2015), (GEA & Correa, 2004), (Stern, 2004).

Las dos funciones pueden ser creadas usando solo el modelo (2) al plantear diversas condiciones sobre los parámetros para obtener el modelo (1) y mantener el modelo (2), como se muestra a continuación. Aplicando supuestos a los parámetros del modelo (2) se genera el comportamiento de una EKC y debido a la dinámica existente en la información, la exhibición de comportamientos que no se limitan al descrito por la EKC.

Primero, si $\beta_1 > 0, \wedge \beta_2 = \beta_3 = 0$, a medida que se incrementa el crecimiento económico también lo hará la contaminación, una de las formas efectivas de reducir la contaminación es reducir el ritmo de crecimiento económico.

Segundo, ahora $\beta_1 < 0, \wedge \beta_2 = \beta_3 = 0$, si se incrementa el crecimiento económico la contaminación declina. Por lo tanto, más crecimiento expande de la calidad ambiental.

Tercer caso $\beta_1 > 0, \beta_2 < 0 \wedge \beta_3 = 0$, estos supuestos aplicados al modelo (2) crean el modelo (1) que fue utilizado en Grossman y Krueger (2015), describe la forma cóncava en la relación de contaminación y crecimiento económico. La relación es cuadrática e indica que alto crecimiento está asociado a la reducción de la contaminación en el largo plazo.

Cuarto, si $\beta_1 < 0, \beta_2 > 0 \wedge \beta_3 = 0$, sigue el camino de una función cuadrática, pero a medida que evoluciona el crecimiento económico, se contrae la contaminación para volver a expandirse en el largo plazo.

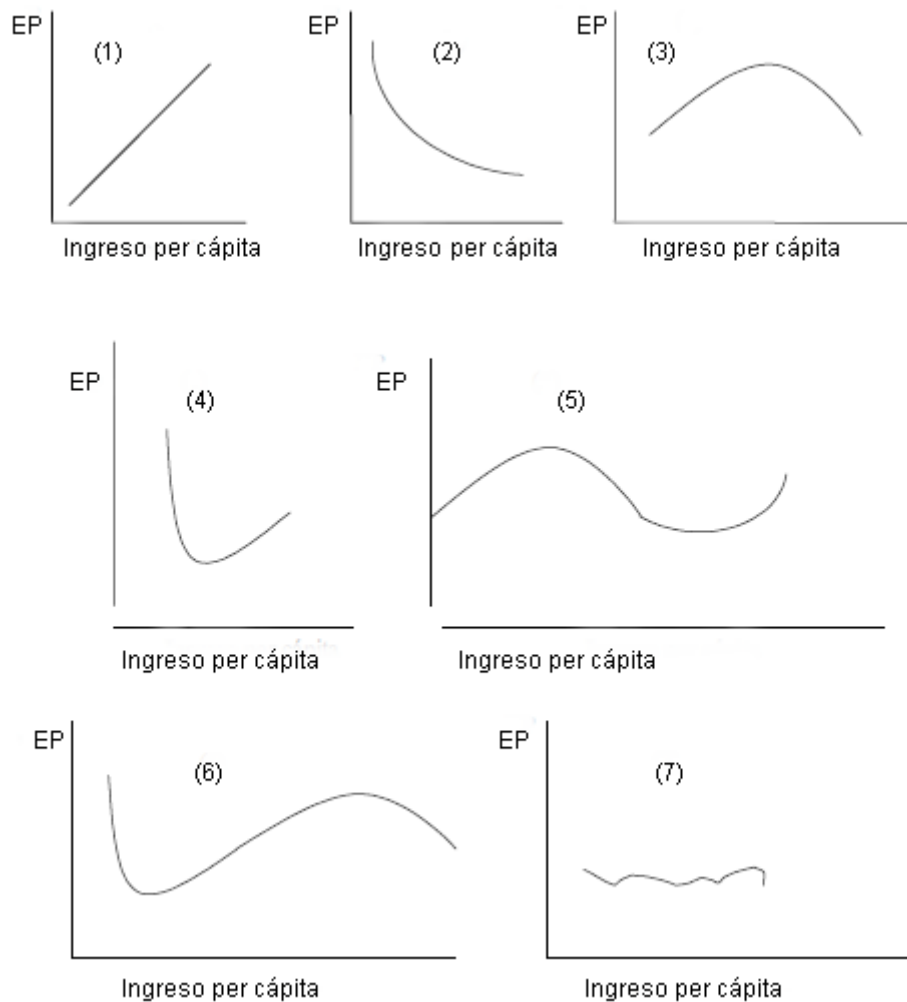
Quinto, ahora $\beta_1 > 0, \beta_2 < 0 \wedge \beta_3 > 0$, es exactamente una función cubica completa, si se incrementa el crecimiento se expande la contaminación para contraerse eventualmente y volver a crecer, esta propiedad sugiere la existencia de una trayectoria en forma de N.

Sexto, $\beta_1 < 0, \beta_2 < 0 \wedge \beta_3 > 0$, crean la función cubica que sigue la trayectoria de N invertida. En un inicio la multiplicación del crecimiento económico, reduce la contaminación que posteriormente vuelve a incrementarse.

Séptimo, el valor de $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$. Por lo tanto, la expansión del crecimiento no influye sobre la emanación de contaminación.

El comportamiento que toman los parámetros descrito con anteriormente se encuentra en forma gráfica en la siguiente Figura.

Figura 3. Comportamientos posibles entre presión ambiental y PIB per cápita



Fuente: Adaptado de (GEA & Correa, 2004, pág. 88), presión ambiental (EP).

Dados los anteriores escenarios queda claro que una EKC es un posible resultado de diversas combinaciones de factores, trabajar con una función cuadrática solo limita el número de conductas y no permite observar la trayectoria que siguen los datos, con la ecuación cubica las variables relacionadas no se limitan a una conducta debido a la dinámica en evolución de la información a través del tiempo, (Dinda, 2004), (GEA & Correa, 2004), (Panayotou, 1997).

Observar la contracción en la contaminación a medida que se expande el crecimiento económico depende de hallar el “punto de quiebre o de inflexión”, (Stern, 2004), se debe aceptar el tercer supuesto ($\beta_1 > 0, \beta_2 < 0$ y $\beta_3 = 0$) y trabajar con el modelo cuadrático. Este punto muestra la cantidad de ingreso suficiente para que la contaminación inicie el proceso de contracción, siempre que el nivel de renta personal continúe en expansión, para calcularlo se requiere la siguiente formula:

$$P_t = -\frac{\beta_1}{2\beta_2}$$

Como se observa en la ecuación anterior, a medida que se expande el crecimiento económico, afecta el comportamiento de los parámetros $\beta_1 \wedge \beta_2$ y la contaminación que iniciara el proceso de contracción o control siempre que se dé continuidad al crecimiento.

La trayectoria que describe la relación entre contaminación y crecimiento económico, según el orden descrito por los supuestos aplicados al modelo 2, dependerá de las condiciones del país, la intensidad de las normas en materia ambiental y el nivel de PIB por satisfacer, entre otros. Las variables para análisis tomaran la forma de alguna de las trayectorias que se describen en la Figura 3, no sujetas al comportamiento registrado por la EKC dependiente de una función cuadrática, que es uno de los posibles resultados.

1.6 Resultados y Conclusiones Empíricas de la EKC.

La EKC originalmente relaciona la contaminación y el nivel de renta, los posteriores análisis incorporan variables, que intentan mejorar la explicación del comportamiento de la contaminación, (Stern, 2004). Los modelos utilizados para estimar la trayectoria de los

contaminantes se han aplicado con variables independientes, diferenciadas por país, periodo de análisis, tipo de contaminante, etc.

En el estudio empírico de Grossman y Krueger (2015), analizo la relación entre ingreso per cápita, dióxido de azufre, materia oscura (humo) y sus impactos sobre el medio ambiente ante la entrada en vigor de un Tratado de Libre Comercio entre América del Norte, los puntos de inflexión para el dióxido de azufre y la materia oscura oscilan alrededor de \$4.000 y \$5.000 dólares.

La EKC indica que los problemas de contaminación en general se reducirán a medida que se incremente el nivel de ingreso, pero no es cierto para todos los tipos de contaminación. Shafik y Bandyopadhyay (1992), hacen uso de diferentes indicadores de contaminación obteniendo resultados múltiples, a medida que mejora el nivel de ingreso también mejora el acceso al agua potable y saneamiento urbano, las medidas de deforestación y calidad de los ríos, no fueron significativas respecto al nivel de ingreso, su contaminación sigue presente aun cuando se incrementa el ingreso. Los contaminantes del aire siguen la ruta de la EKC, sus puntos de inflexión se encuentran alrededor \$3,000 y \$4,000 dólares, sin embargo, los residuos municipales y las emisiones de dióxido de carbono aumentan a medida que crece el ingreso. Selden y Song (1994), haciendo uso de 4 indicadores, hallaron diferentes puntos de inflexión: para el dióxido de azufre (SO_2) es de \$10,391 dólares, los óxidos de nitrógeno (NO_x) declinan cuando se alcanzan los \$13,383 dólares, por su parte SPM (*partículas en suspensión*) inician su trayectoria decreciente a medida que se llega a los \$12,275 dólares y el monóxido de carbono (CO) para contraerse necesita de \$7,114 dólares, (Stern, 2004).

Otros análisis han enfocado su atención a la relación entre el comercio exterior y su influencia sobre la conducta de la EKC, Rothman (1998), Suri y Chapman (1998), analizan el efecto del comercio internacional sobre la evolución de la contaminación hallando evidencia de que el incremento en las exportaciones se debe a la expansión en el uso de energía. Por leyes de la termodinámica al hacer más uso de energía y recursos, se incrementa la cantidad de desechos que se traducen en contaminación, (GEA & Correa, 2004).

Por otra parte, las emisiones pueden disminuir a lo largo del tiempo en los distintos países a un ritmo que depende del nivel de desarrollo, de la regulación aplicada al medio ambiente y de las demandas de la sociedad por el cuidado y protección de su ambiente, (Panayotou, 1997). Diversos estudios sostienen que la EKC solo existe para algunos indicadores de contaminación atmosférica, para el resto de indicadores se agrava la contaminación a medida que se expande el nivel de ingreso, (Dinda, 2004), (Roca & Padilla, 2003), (Rothman, 1998), (Stern, Common, & Barbier, 1996).

La curva en forma de U invertida ha sido encontrada sólo para unos pocos contaminantes y, en particular, para contaminantes que tienen efectos locales sobre la salud y que pueden ser resueltos sin un gran gasto de recursos económicos (...) cierto cuando los contaminantes generan costos locales de corto plazo y hay grandes beneficios sociales y privados de la reducción de la contaminación –como en el caso de contaminación local del aire, contaminación del agua y acidificación–(...) la hipótesis de la EKC aplica sólo a problemas ambientales que son fácilmente resueltos y que están bien documentados y bien conocidos. (GEA & Correa, 2004, págs. 95-96)

Andreoni y Levinson (2001), suponen que el medio ambiente puede ser visto como un bien normal y que los individuos son maximizadores de su utilidad. Argumentan que la existencia de la relación en forma cóncava que describe la EKC depende del nivel de ingreso, la mejora tecnológica y de la utilidad de los individuos. El papel principal depende de la innovación e implementación de tecnología para generar crecimiento económico.

El uso de tecnología que supera por mucho a la tradicional, no solo mejora el accionar de la actividad económica, crea nuevos productos y subproductos que pueden ser dañinos para el medio ambiente y para la salud humana “Opschoor (1992), ha argumentado que las reducciones eventuales en la presión ambiental son sólo fenómeno temporal que cesará una vez que han sido agotadas las oportunidades tecnológicas para mayores reducciones o cuando estas tecnologías resulten demasiado costosas” (GEA & Correa, 2004, pág. 78).

Al analizar la EKC para distintos países con diferentes indicadores de deterioro ambiental por determinados periodos de tiempo, se ha obtenido resultados a favor y en contra, incluyendo interpretaciones diversas, porque la EKC tan solo describe la relación

histórica entre ingreso y algunos unos indicadores de deterioro ambiental. La hipótesis de la EKC brinda una limitada visión de los mecanismos que pueden explicar la contracción del deterioro ambiental después de alcanzar un nivel de ingreso. La hipótesis solo describe la relación de forma matemática entre el ingreso y algunos indicadores de deterioro ambiental como una curva forma cóncava, pero no explica porque existe el comportamiento que muestra, ello constituye una importante omisión en el conocimiento sobre la relación. El poco conocimiento sobre las fuerzas que conducen a la relación entre deterioro ambiental e ingreso se debe al uso de un modelo en forma reducida para las estimaciones, (GEA & Correa, 2004), (Dinda, 2004), (Rothman, 1998).

Los datos de relación muestran que en economías desarrolladas con alto nivel de ingreso existen menores niveles de contaminación, la recomendación de Rothman (1998), es hacerse rico pronto para concientizar y dedicar mayores recursos a la protección del ambiente. La idea es estimular la política económica que impulse el crecimiento económico que permita obtener los recursos para controlar y reducir el deterioro ambiental generado, (Grossman & Krueger, 2015), (Panayotou, 1997).

Usualmente el análisis entre crecimiento económico y degradación ambiental, se hace con variables como el PIB ya que indican el nivel de crecimiento económico. La degradación, se mide por la cantidad de emisiones, desperdicios, concentraciones, nivel de pérdida o depredación de recursos.

1.7 Datos para el Análisis de la EKC

La mayoría de los datos analizados en las pruebas empíricas son datos de panel de diversos países, los estudios han revisado con más frecuencia la contaminación del agua y aire, ya que, su contaminación afecta directamente la salud humana y de los ecosistemas. La mayor parte de los datos de contaminación provienen de organizaciones internacionales, GEMS, ORNL, World Resources, Anuario estadístico de la ONU, compendio de la OECD, anuario de producción de la FAO, Penn World Tables o del Banco Mundial.

De Bruyn (2000) plantea que la gran diversidad de los resultados de los estudios señalados es que los datos y los métodos utilizados para el análisis de esos datos

varían entre los diversos estudios, (...) Una de las críticas centrales para la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets es la carencia de información uniforme en torno a las diversas variables señaladas como factores explicativos para los diferentes indicadores de calidad ambiental. (GEA & Correa, 2004, págs. 90,98)

El comportamiento de los contaminantes a nivel local no siempre se sigue a nivel global, la reducción (o el aumento) en la emanación o concentración de contaminantes locales no asegura que el nivel global de contaminación refleje ese mismo comportamiento, Suri y Chapman (1998).

1.7.1 Indicadores de Deterior Ambiental

Al hacer uso de materia prima, energéticos para mantener el ritmo del Producto Interno Bruto se genera un subproducto, ya sea líquido, gaseoso o sólido que contamina o degrada al medio ambiente, (Suri & Chapman, 1998).

Desde 1990, ha estado disponible un rango amplio de datos ambientales, provenientes de estaciones de monitoreo, compilaciones de datos contruidos, etc. Los análisis relacionados con la EKC se basan en contaminantes asociados con el proceso de producción para mantener la regularidad del PIB, ejemplo: Dióxido de Azufre, Materia y Partículas Suspendidas (SPM), Dióxidos de Nitrógeno, Dióxido de Carbono, Monóxido de Carbono, Desperdicios, entre otros.

Los gases contaminantes que afectan la calidad del aire, generalmente siguen un comportamiento empírico cóncavo como lo describe la EKC, para los indicadores de la calidad del agua la prueba empírica confirma resultados mixtos, otros resultados siguen una forma de N, por ultimo tenemos como indicadores a los desperdicios sólidos, el saneamiento, los cuales muestran un comportamiento variado respecto a la evolución del crecimiento económico, (Dinda, 2004).

Las variables que influyen en el nivel de degradación, son el PIB, la política tanto económica como la de protección al ambiente, estas en los modelos se usan como variables independientes que contribuyen a describir el comportamiento seguido por las variables de degradación ambiental.

1.7.2 Variables Asociados al Producto Interno Bruto

La variable explicativa, que sea usado comúnmente como indicador del crecimiento económico por su relación en la generación de contaminación y degradación ambiental es el Producto Interno Bruto, representa la escala de actividad económica de una nación y la evolución de su ingreso. Mayores proyectos de expansión del crecimiento económico alteran de forma más acelerada el ritmo de la contaminación generada, (Suri & Chapman, 1998).

Grossman y Krueger (2015), Andreoni y Levinson (2001), Panayotou (1997) sostiene que el PIB representa la transformación estructural, la composición de la producción, políticas de preservación ambiental y políticas de crecimiento y desarrollo.

Los datos del PIB de cada país tienen que ser traídos bajo un denominador común usando tasas de cambio. (...) las tasas de cambio de mercado (Market Exchange Rates, MER) o las paridades de poder de compra (Purchasing Power Parities, PPP). El argumento común en favor de usar el PPP es que éste refleja más adecuadamente la «riqueza de las naciones» ya que estima lo que los consumidores pueden comprar domésticamente con sus ingresos. (GEA & Correa, 2004, pág. 92)

Sin acciones de política para proteger el medio ambiente y promover el crecimiento económico no se dará un equilibrio al hacer uso de los recursos y las personas no tendrán la oportunidad de hacer frente a los problemas ambientales que se presenten.

1.7.2.1 Política

A medida que el ingreso per cápita se incrementa, la captación de ingresos por parte del estado, permite destinar mayores recursos al gasto público. Por tanto, un estado con alto nivel de gasto es propenso a invertir más recursos para mejorar el bienestar de sus ciudadanos, (Panayotou, 1997).

La trayectoria cóncava de la relación entre crecimiento económico y degradación ambiental descrita por la EKC, no es automática ya que existen múltiples factores que influyen en su conducta. Las personas al tener mayores recursos crean las condiciones para mejorar el medio ambiente a través de sus demandas, son las políticas e

instituciones las encargadas de proyectar las demandas a través de la implementación de normas y leyes.

Las mejoras ambientales dependerán del rigor de las políticas y de la fuerza de su aplicación para materializar sus objetivos. La implementación de derechos de propiedad, creación de impuestos a la contaminación, permite que se monitoree y controle la emanación de contaminantes, para generar conciencia de las condiciones en que se encuentra el ambiente, (Querol, 2008), (Dinda, 2004), (Panayotou, 1997).

Al incrementarse el PIB y el nivel de ingreso por el impulso de la liberación del comercio, el estado debe promover políticas o regulaciones, que busquen controlar y reducir la degradación ambiental, haciendo uso de recursos del exterior para cubrir la falta de herramientas inexistentes dentro de una nación, (Grossman & Krueger, 2015).

1.7.2.2 Comercio Internacional

Al formar parte del comercio mundial se pretende que las relaciones entre producción y consumo sigan patrones que una nación por sí misma pese a los recursos con que cuenta no podría lograr en un tiempo relativamente corto. El desplazamiento de industrias sucias, la importación y exportación de recursos de países pobres a ricos y viceversa, permite encontrar diferencias del impacto ambiental. El consumo juega un papel muy importante, si se incrementa la demanda, la producción nacional aumentará y si no lo hace, se tendrá que importar para cubrir la demanda faltante. Si la producción de alguna economía es más sucia comparada con la de otras, el deterioro de su medio ambiente será superior, (Grossman & Krueger, 2015), (Rothman, 1998).

El uso de tecnologías en la producción es una herramienta que permite limitar la contaminación y expandir la posibilidad de ayudar a proteger al medio ambiente hasta encontrar alternativas que sean más eficientes, sin comprometer la habilidad de una economía, de generar crecimiento económico.

1.7.2.3 Progreso tecnológico, Investigación y Desarrollo

A medida que el nivel de ingreso crece, las políticas de crecimiento económico implementan tecnologías eficientes que genera una reducción del deterioro ambiental. La tecnología de vanguardia que sustituye a la tradicional incrementa el rendimiento al emplear materias primas y energía. Obtener una cantidad de producción con tecnología de punta, comparada con la producción generada al emplear tecnología tradicional, permite el ahorro de grandes cantidades de recursos y reducir los contaminantes generados, (Dinda, 2004), (Andreoni & Levinson, 2001).

Por otro lado, al hacer uso de tecnología no se puede dejar de lado, la hipótesis de desplazamiento, ya que, sugiere que el libre comercio es un mecanismo para el transporte de tecnología contaminante a través de la relocalización de industrias. Las economías desarrolladas al exportar su producción intensiva en contaminantes a países menos desarrollados, crean las condiciones para presentar el comportamiento descrito por la EKC. Por tanto, la contracción de la contaminación, no se manifestará en aquellos países en vías de desarrollo, que no sean capaces de hacer migrar la producción o industria contaminante, (Andreoni & Levinson, 2001).

Estas variables son las más representativas que se han utilizada para analizar el comportamiento de la relación entre crecimiento económico y medio ambiente, de ellas a emanado una infinidad de conclusiones en diferentes niveles y periodos.

1.8 Critica a los Resultados de la EKC

La EKC ha creado reacciones múltiples entre los académicos, debido a los diversos resultados que puede tomar dependiendo del país, nivel de desarrollo, las variables de estudio, etc. La calidad ambiental no solamente puede comportarse en forma cóncava, esta presenta diversas trayectorias como se observa en la Figura 3, más allá del punto de inflexión a medida que siga creciendo el PIB y el nivel de ingreso el deterioro ambiental podrá tomar diversas rutas. El medio ambiente pierde calidad debido a la contaminación del aire, agua, tierra, etc., generada por las actividades desarrolladas en cada país. La población influye en el deterioro debido a que no ha dejado de crecer, ello implica que el deterioro se incrementa a medida que se incrementa el ingreso. Por tanto, el crecimiento

económico no conducirá en automático a mejorar la calidad ambiental, (Stern, et al., 1996).

La implementación de políticas depende de conclusiones empíricas y estas dependen de las variables seleccionadas medidas en términos absolutos (cantidad de emisiones) o términos relativos (contaminación por producto). Por tanto, no existe un consenso entre las distintas formas de medir el deterioro, dando como resultado múltiples comportamientos al descrito por la Hipótesis EKC, (Panayotou, 1997).

Una de las críticas más duras postula que niveles altos de crecimiento económico no son sostenibles, “La suposición es que el daño ambiental no reduce la actividad económica lo suficiente como para detener el proceso de crecimiento y que cualquier irreversibilidad no es tan severa para reducir el nivel de ingresos en el futuro” (Stern, 2004, pág. 1426). Cubrir el ritmo y trayectoria del PIB, depende del uso y distribución de materias primas y energéticas, trabajo y tecnología, reducir los contaminantes actuales puede crear las condiciones para que surjan problemas inexistentes.

El comportamiento descrito por la EKC depende en gran medida de los efectos del comercio internacional y la reubicación de industrias en zonas con materias primas de bajo costo y regulación nula o débil. La especialización es la herramienta que hace que una economía siga una tendencia semejante a la hipótesis EKC, en la actualidad países desarrollados se especializan en capital humano, mientras que economías en desarrollo se especializan en factores abundantes como mano de obra y recursos naturales.

Parte de la reducción de los niveles de degradación ambiental en los países desarrollados y el aumento de la degradación ambiental en los países de medianos ingresos pueden reflejar esta especialización (Hettige, Lucas, & Wheeler, 1992; Lucas, Wheeler, & Hettige, 1992; Suri & Chapman, 1998). El reglamento ambiental en los países desarrollados podría seguir alentando las actividades contaminantes a trasladarse hacia los países en desarrollo (Lucas et al., 1992). (Stern, 2004, pág. 1426)

La contracción aparente de la contaminación en un mundo finito por parte de países desarrollados solo dependerá de comprometer el medio ambiente en países con bajo nivel de ingreso y regulación ambiental inexistente. Cuando un país con bajo nivel de desarrollo aplique una regulación similar a la de un país desarrollado, se enfrenta a

no comprometer su habilidad para generar crecimiento y no podrá exportar su producción sucia si es el último país en aplicar políticas congruentes que protejan y cuiden la calidad de su medio ambiente, (Dinda, 2004).

Los estudios de Grossman y Krueger (1991, 1995), Shafik y Bandyopadhyay (1992), Panayotou (1993) y Selden y Song (1994) mostraron que hay una relación en forma de U invertida entre diversos tipos de contaminantes y el nivel de ingreso (...) para cada contaminante al menos un estudio ha confirmado la hipótesis de la EKC (...) el resultado más notable cuando se comparan estos estudios es que no hay consenso sobre cómo evolucionan los diversos contaminantes a lo largo del desarrollo económico (...) los puntos umbrales difieren considerablemente entre estos estudios (De Bruyn, 2000) (...) la amplia variedad de comportamientos arroja serias dudas sobre la validez de la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets. (GEA & Correa, 2004, págs. 77-78, 89-90)

Por lo tanto, el comportamiento de la EKC no será permanente debido al sistema dinámico y en desarrollo que se tiene. Los métodos usados generalmente se han actualizado para prestar atención a los inconvenientes que se detectan en el transcurso del tiempo, la aparición de nuevos contaminantes e indicadores de la calidad ambiental son necesarios para corregir los hallazgos en las conclusiones generadas.

1.9 Crítica Basada en la Metodología

Existen varios problemas en cuanto a la estimación y verificación de la relación descrita por la hipótesis EKC, debido a la falta de datos en periodos largos de tiempo para países en desarrollo, información incongruente de los efectos del comercio internacional sobre la calidad ambiental, el problema de causalidad unidireccional entre el crecimiento y la calidad ambiental por mencionar algunos, (Stern et al., 1996).

Al analizar la EKC se han aplicado diversos métodos, la mayor parte de ellos hacen uso de datos de sección cruzada de un grupo de países, el agrupo trabaja bajo el supuesto: los países comparten similitudes en su proceso de desarrollo, sociedades, economía, política y cantidad de recursos que afectan el comportamiento de su calidad ambiental.

El nivel de degradación ambiental global es distinto al nivel de degradación local; las externalidades trascienden fronteras, ello supone que el comercio internacional explicaría una parte del comportamiento de la EKC. El comercio internacional permite mover libremente bienes y servicios, si se incrementa la capacidad de producción se expande el uso de materia prima y energéticos principalmente en países exportadores. La especialización y el cambio estructural reducirán la cantidad de contaminantes y el uso recursos en los países desarrollados, mientras que en el caso de economías en desarrollo se incrementara su deterioro ambiental, (Rothman, 1998).

Uno de los problemas en los análisis es la poca disponibilidad de datos reales de la contaminación y deterioro ambiental. La forma simple empleada por los modelos que estudian la EKC permite observar diferentes resultados dependientes de las dotaciones de recursos en cada uno de los países, (Dinda, 2004), (Stern, 2004).

Hettige, Lucas y Wheeler (1992) encontraron que las emisiones tóxicas crecieron más rápido en los países en desarrollo que en los países desarrollados (...) La intensidad ambiental de la producción nacional depende en parte de la intensidad ambiental de las importaciones y viceversa. Son el resultado de decisiones simultáneas que dependen de los costos de factor relativa en los países consumidores y productores. (Stern et al., 1996, pág. 1156)

Al trabajar con un modelo en forma simple, el ingreso se relaciona directamente con la presión ambiental, dejando de lado la identificación de las ecuaciones estructurales y las posibles cadenas causales del comportamiento de la hipótesis EKC.

Stokey (1998), reviso los distintos enfoques de modelación, (...) en algunos modelos el crecimiento económico (...) es incompatible con un nivel estable de calidad ambiental, mientras que en otros modelos el crecimiento económico y un medio ambiente limpio pueden ser logrados conjuntamente. Selden y Song (1994) mostraron que diferentes técnicas econométricas tienen un impacto considerable sobre los resultados, (...) estos estudios pueden estar altamente influenciados por la muestra de países que ha sido elegida. (...) La ventaja de trabajar con un modelo en forma reducida yace en el hecho de que es estimada la influencia total, directa e indirecta, del ingreso sobre la presión ambiental (...) una desventaja, como han señalado

Grossman y Krueger (1995), es que no es claro por qué existe la relación estimada y qué clase de interpretación puede ser dada a los coeficientes estimados del modelo. (GEA & Correa, 2004, págs. 77, 91, 93)

El crecimiento económico depende del funcionamiento y ritmo de la actividad económica, de su medio ambiente y los recursos disponibles. Al modelar esta relación se debe de tener presente que al utilizar el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios en una ecuación simple crea la posibilidad de encontrar simultaneidad provocando que las estimaciones sean inconsistentes.

Arrow et al. (1995) noto que "toda actividad económica en última instancia depende" de la "base de recursos ambientales", cuyo uso imprudente "irreversible reducirán la capacidad para generar en el futuro la producción de material." La base de recursos ambientales incluye capacidades asimilativas (...) Exceder la capacidad asimilativa da lugar a la contaminación, que además de ser directamente ofensivos y/o perjudiciales para los seres humanos, puede reducir la disponibilidad y productividad de los recursos renovables (...) (Common, 1995). (Stern et al., 1996, pág. 1155)

Al usar un modelo simple que relacione el crecimiento económico y el medio ambiente, este puede presentar problemas que afectan su habilidad para generar una estimación eficiente: En primer lugar, la existencia de homocedasticidad es importante en la regresión de datos agrupados ya que permite hacer un diagnóstico correcto del problema. Se han hallado en algunas regresiones, residuos que son heteroscedasticos con desviaciones asociadas a países con niveles altos de PIB y población, la presencia de heteroscedasticidad genera que el modelo no sea eficiente debido a la pérdida de consistencia y la existencia de sesgo, ocasionado por la presencia de variables omitidas.

La mayoría de los modelos implementados hacen uso de múltiples variables para poder arrojar resultados confiables, es probable que en el sistema de ecuaciones las variables independientes se determinen en conjunto con las variables dependientes, es decir, se encuentran relacionadas entre sí, para evitarlo se aplica la prueba de Hausman, para tal caso aún no sea encontrado evidencia sólida de la existencia de simultaneidad sobre todo en modelos con variables integradas. Uno de los aspectos que afecta directamente el análisis es la presencia de no estacionalidad, ya que no es posible

mantener una variación cíclica predecible a lo largo del tiempo, lo que constituye la subestimación de las inferencias hechas con los parámetros estadísticos, la prueba de Granger es útil para probar la estacionalidad en las series implementadas.

La falta de datos sobre calidad ambiental, su incongruencia, la desigualdad, la cobertura y la calidad, constituyen el problema más importante e implica que su existencia y rango no es apropiada para probar la hipótesis EKC, estimar sus parámetros y elaborar predicciones del comportamiento en el futuro. Si se pretende analizar la contaminación para zonas específicas como en los estudios de Grossman y Krueger, Shafik y Bandyopadhyay, los datos existentes serán apropiados debido a que se estudia el impacto de la contaminación sobre algún lugar en particular, pero si con estos datos se pretende implicar el efecto de la contaminación sobre el ecosistema en general, la EKC será engañosa y no válida, (Stern et al., 1996).

El sesgo de variables omitidas para algunos autores sugiere que la EKC es un modelo inadecuado debido a la falta de variables que expliquen mejor su comportamiento. Al hacer uso de modelos de efectos fijos y de efectos aleatorios, los parámetros analizados bajo la prueba de Hausman muestran diferencias ya que las variables son afectadas por el tiempo de manera individual o conjunta, implica la existencia de variables omitidas que difieren de país o tiempo, y subestima los parámetros dependientes de la muestra empleada.

Se ha argumentado que la existencia de la EKC, está limitada por la relación entre los indicadores del crecimiento económico y los de deterioro ambiental, el deterioro puede ser tan grande que la evolución sufrida causa daños irreversibles antes de que se llegue al punto de inflexión en la curva.

Arrow et al. (1995) ha señalado que los indicadores usados en los trabajos empíricos realizados relacionan sólo emisiones y concentraciones –es decir, los flujos de contaminantes–, mientras que la calidad ambiental –por ejemplo, la viabilidad de bosques y lagos– es un stock. En este sentido, se plantea que, debido a la contaminación pasada, las capacidades de carga y de resiliencia de los ecosistemas son afectadas y, por tanto, la contaminación puede continuar degradando el medio ambiente, (...) Una vez que la contaminación ha excedido los límites del espacio de

utilización ambiental, la reducción en la contaminación puede ocurrir a una tasa demasiado lenta para prevenir el deterioro ambiental. (...) De Bruyn (2000) ha observado que en el caso de impactos ambientales irreversibles la curva ambiental de Kuznets puede no reflejar ninguna senda temporal óptima de contaminación (...) Por tanto, es necesario plantear que la hipótesis de la curva ambiental debe reevaluarse, en principio, en función de los problemas metodológicos, pero más importante es revisar dicha hipótesis con respecto a la conceptualización del término Medio Ambiente. Si se aborda el concepto medio ambiente de una manera más integral, los factores aire, agua, suelos, ecosistemas, servicios ambientales y capacidad de carga deberían constituir, como un todo, este concepto. Así, variables tales como emisiones de contaminantes hídricos y deforestación no pueden ser un indicador adecuado de lo que constituye el medio ambiente. De esta manera, la hipótesis de la EKC no puede tomarse como una trayectoria representativa de la relación entre medio ambiente y crecimiento económico. (GEA & Correa, 2004, págs. 94-95,98)

Se ha creído por mucho tiempo que el crecimiento económico puede ayudar a salir de problemas como la pobreza, la escasez de recursos y hasta el deterioro del medio ambiente bajo el supuesto de que los beneficios en el futuro serán mayores a los costos por transitar hacia el desarrollo. Si las economías desarrolladas son exitosas al generar crecimiento sustentable, la EKC es una alternativa útil para explicar cómo economías en desarrollo pueden iniciar su transición.

La experiencia de la economía mexicana en los últimos 30 años es prueba contundente, promover el libre comercio no es necesariamente el camino que garantiza crecimiento económico acelerado, pero si un ejemplo de la expansión del sector exportador unido al estancamiento del sector tradicional, ya que, se encuentra desarticulado del resto de la economía.

El deterioro ambiental debe constituir uno de los principales pilares de atención. Los términos de intercambio y el exceso de oferta inducen sobre los países con bajo poder de compra a compensar su pérdida de ingresos con un incremento en las exportaciones, su especialización daña al medio ambiente debido la migración de los costos ambientales.

**Capitulo II: Análisis del crecimiento económico y los gases contaminantes del
aire en México.**

El Club de Roma a través de la publicación del libro “Los Límites al crecimiento” presentó una gran contribución que abrió el debate sobre el peligro de la degradación ambiental generada por las actividades humanas para mantener el ritmo del Producto Interno Bruto y satisfacer sus necesidades. La discusión sobre problemas locales de contaminación ha impulsado la reflexión más sistemática de las tasas de utilización y la sobreexplotación de los recursos naturales en el mundo, para elaborar escenarios posibles sobre el futuro del sistema ambiental, concientizar a los sistemas económicos y tomar en cuenta al medio ambiente, en sus planes de desarrollo y crecimiento económico, (Nadal, 2006).

El crecimiento económico se ha logrado manifestar, con el impulso de la innovación tecnológica, capital humano, energía y un amplio uso de los recursos naturales. La posible relación entre crecimiento económico y medio ambiente ha sido polémica en los últimos tiempos, argumentado que el crecimiento del Producto Interno Bruto dañara al ambiente natural sin duda alguna, (GEA & Correa, 2004).

2.1 Comportamiento del Producto Interno Bruto mexicano durante el periodo 1980-2012.

Grossman y Krueger (2015), examinaron la relación de un tratado de libre comercio y el comportamiento de la contaminación del aire entre Canadá, Estados Unidos y México, la entrada en vigor del acuerdo comercial, creara las condiciones para expandir el crecimiento económico e impulsar la producción de materiales que deterioran al ambiental.

Después de alcanzar cierto nivel de renta a medida que se expande el PIB este se traducirá en el motor de los esfuerzos para aliviar los problemas medioambientales, Panayotou (1997). señala que esta experiencia puede ser replicada por países en vías de desarrollo.

Martínez y Romero (2004), Noriega y Rodríguez (2011), en México el PIB no ha mostrado un crecimiento sostenido, sea estancado y contraído. En el transcurso de la historia económica mexicana, el país ha pasado por varios procesos que han limitado su trayectoria de producción, que no ha permitido recuperar y fomentar el crecimiento y desarrollo económico.

De 1980 en adelante se ha impulsado la entrada de inversión extranjera, para expandir el comercio internacional aplicando políticas y acuerdos que agilicen la expansión del comercio, pero el crecimiento no sea dado de la forma esperada debido a la debilidad de la economía. Para comprender a detalle la evolución del crecimiento económico de 1980 a 2012, se dividirá en tres secciones, la primera corresponde al periodo 1980-1990, periodo que inició el proceso hacia la liberalización comercial, después de la crisis de deuda; la segunda etapa 1990-2000, se caracteriza por reafirmar el proceso de liberación comercial tras la firma y entrada en vigor del TLCAN; la última parte corresponde al periodo 2000-2012 en ella se desarrolla el libre comercio ante una etapa de lento crecimiento económico bajo un estricto régimen de control inflacionario. La transición 1980-2012 no ha sido fácil, es un periodo largo de estabilización con políticas de ajuste, debido a los periodos recesivos y etapas de crecimiento limitado por el control inflacionario, los cuales han causado un alto costo en términos de empleo y bienestar social.

2.1.1 Proceso de liberación económica, México se adhiere al GATT, periodo 1980-1990.

El creciente gasto público de finales de 1970 impulsado por la dependencia del petróleo y la publicación de nuevos hallazgos petrolíferos permitieron crecer a costa del sobreendeudamiento.

En 1982 la situación macroeconómica de México era difícil. El déficit del sector público era de 17.6% del PIB, mientras que el déficit de la cuenta corriente era de 4% del PIB. Entre 1981 y 1982 la inflación, medida con el refaccionador del PIB, fue de 61.0%. El PIB por persona en edad laboral cayó 3.2% entre 1981 y 1982 y 6.0% entre 1982 y 1983. (Kehoe & Meza, 2013, pág. 254)

En 1980 el crecimiento económico se redujo debido a la inestabilidad económica a causa de la crisis de deuda de 1982 unido a la baja en los precios del petróleo⁶, durante

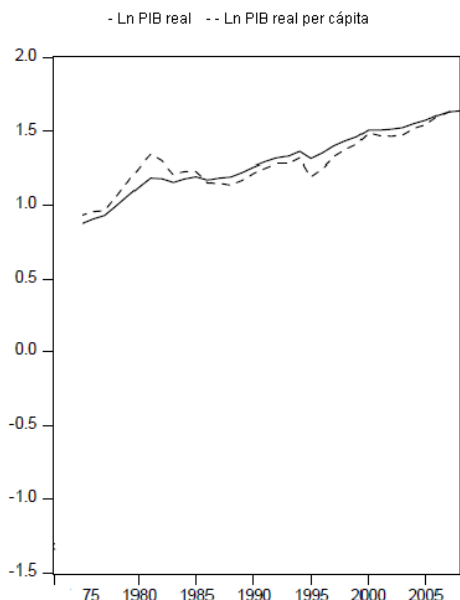
⁶ La estrategia basada en el petróleo finalizó con una caída en el precio del petróleo en 1981, dejando al país con una enorme deuda externa, la cual había sido contratada para desarrollar la industria petrolera. En 1982 el aumento de las tasas de interés internacionales dejó a México en una seria crisis de deuda. El PIB real sufrió un decremento de 0.6% y el PIB real per cápita de 2.5%, mientras que la inflación anual llegó a 98.8%, véase (Noriega & Rodríguez, 2011).

toda la década de ese periodo el crecimiento fue realmente bajo afectado por problemas estacionarios externos e internos.

La (...) transición, 1979—1988 para el PIB real, y 1979—1989 para el PIB real per cápita, conduce a una tasa de crecimiento menor que la registrada en la etapa previa: la tasa de crecimiento del PIB real se redujo de 6.58% a 3.01%, y la del real per cápita de 3.54% a 1.63%. (Noriega & Rodríguez, 2011, pág. 29)

La siguiente Figura muestra el comportamiento que sigue el PIB real y per cápita durante el periodo 1975-2005, se observa que el PIB per cápita fue inicialmente más alto que el PIB real. Después de las crisis existentes en 1980, el PIB per cápita cayó por debajo del PIB real, hasta 2005 el PIB real y PIB real per cápita se han logrado igualar.

Figura 4. PIB real y PIB real per cápita (datos anuales normalizados en logaritmos naturales)



Fuente: reproducción parcial de (Noriega & Rodríguez, 2011, pág. 14).

Las políticas para estabilizar la economía entre 1980 y 1990 fueron, el Programa Inmediato de Reordenación Económica (PIRE) destinado a combatir la inflación, proteger el empleo y procurar el desarrollo. Después se implementó el Programa de Aliento y Crecimiento (PAC) con el fin de apoyar el crecimiento económico a través del estricto control de la inflación, el programa que le sucedió a fue el Pacto de Solidaridad

Económica (PSE), estableció políticas monetarias y fiscales restrictivas con el fin de reducir el gasto en la cuenta corriente y estabilizar a la economía.

Después de enfrentar el efecto de los desequilibrios económicos internacionales, se inició el proceso de liberación financiera y desregulación, ello modificó la relación estado-economía, a través de la transformación de las finanzas y la privatización de entidades públicas, con el objetivo de reducir la dependencia de las exportaciones petroleras y cubrir el pago de la deuda. La principal herramienta para regenerar la estabilidad y dinamismo de la actividad económica es la contratación de Inversión Extranjera Directa (IED).

La entrada de México al GATT en 1985 fue el inicio de una transición hacia una economía más global. Para 1987 sus barreras comerciales en todos los sectores, excepto en el agrícola se encontraban entre las más bajas de todo el mundo. (...), de 1989 a 1991, la Cuenta de Capital se abrió paulatinamente conforme las restricciones a la inversión de portafolio y a la IED se relajaron. Después de esta liberalización los flujos de inversión de portafolio se dispararon, logrando un crecimiento anual promedio de 119% de 1990 a 1994, justo antes de la crisis mexicana. Esta cifra fue de 33% para el período de 1980 a 1989. (Martínez & Romero, 2004, pág. 31)

La idea general del paquete de liberación y desregulación, se orientó a impulsar el crecimiento económico a través de la expansión de las exportaciones y la transformación del aparato productivo con Inversión Extranjera Directa. No obstante, desde la apertura comercial, el crecimiento y desarrollo económico, ha sido impulsado en base a políticas neoliberales que incluyen baja participación del estado en la actividad económica, apertura comercial, libre movilidad de capital, privatización de empresas, etc., que han sido las bases para firmar el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN).

2.1.2 Apertura Comercial, México firma el TLCAN, periodo 1990-2000.

Debido a la inestabilidad económica registrada en México de 1980 a 1990, la estabilidad de precios se ha vuelto fundamental, para evitar conflictos asociados a los costos económicos y sociales de la alta inflación; en la década de 1990 se mantuvo en estricto control a la inflación, dando continuidad a políticas monetarias y fiscales restrictivas. El

programa encargado de mantener bajo control a la inflación fue el Pacto para la Estabilidad y el Crecimiento Económico (PECE) “Su meta principal (...) alcanzar una tasa de inflación de un dígito (...) la inflación disminuyó de 141.0% en 1987 a 8.3% en 1994.” (Kehoe & Meza, 2013, pág. 255). La continuidad en el proceso de privatización y de apertura comercial, propiciaron que al banco central se le otorgara su autonomía debido a la necesidad de mantener el control estricto de la inflación.

El 1 de enero de 1994 entro en vigor el TLCAN, México lo impulso para generar crecimiento económico, fomentar la redistribución del ingreso y recuperar el poder adquisitivo de la sociedad, a través del comercio con Estados Unidos y Canadá, proceso que venía desde mediados de 1980, induciendo la remoción de barreras comerciales, fomentando la atracción de IED como mecanismos para reactivar el crecimiento económico.

(...) después de la firma del TLCAN el acervo de IED de EUA en México experimentó un notable aumento. El acervo promedio de IED como proporción del PIB del período 1995-2000 aumentó 3.3% del PIB con respecto a su nivel en el período 1990-1994. Más de la mitad de este aumento (1.8% del PIB) estuvo motivado por la firma del TLCAN. Un incremento adicional de 2.1% se debió al efecto del crecimiento de la economía estadounidense. (Martínez & Romero, 2004, pág. 32)

Sin embargo, las estrategias implementadas no han dado dichos frutos a pesar de la mejora en la captación de Inversión Extranjera e incremento de las Exportaciones. Sus mecanismos no han permitido generar crecimiento económico acelerado y sostenido debido a un Estado debilitado, un mercado no regulado y la constante inestabilidad de la economía afectada por problemas externos e internos. “La crisis financiera de 1994-1995 tuvo un gran efecto negativo en la actividad económica. El PIB real por persona en edad laboral cayó 8.4% en 1995.” (Kehoe & Meza, 2013, pág. 257).

Las crisis recurrentes y la baja actividad económica registrada de 1980 a 2012, son algunas de las causas de un crecimiento económico no mayor a 3%. Los ajustes que se implementaron debido a las crisis, fueron reformas al sistema financiero, controles de gasto de gobierno, límites sobre la capacidad de endeudamiento y control estricto sobre la inflación. De 1980 a 2012 México no ha sido capaz de generar y poner en acción

políticas que promuevan la recuperación del crecimiento dinámico. En promedio de 1990 a 2010 el crecimiento del PIB fue de 2.8%, se debe a las crisis frecuentes, periodos de austeridad, baja actividad económica. El libre comercio no ha sido la respuesta para mejorar el crecimiento y desarrollo económico, (Avendaño & Perrotini, 2015).

2.1.3 Liberación Económica en México 2000-2012

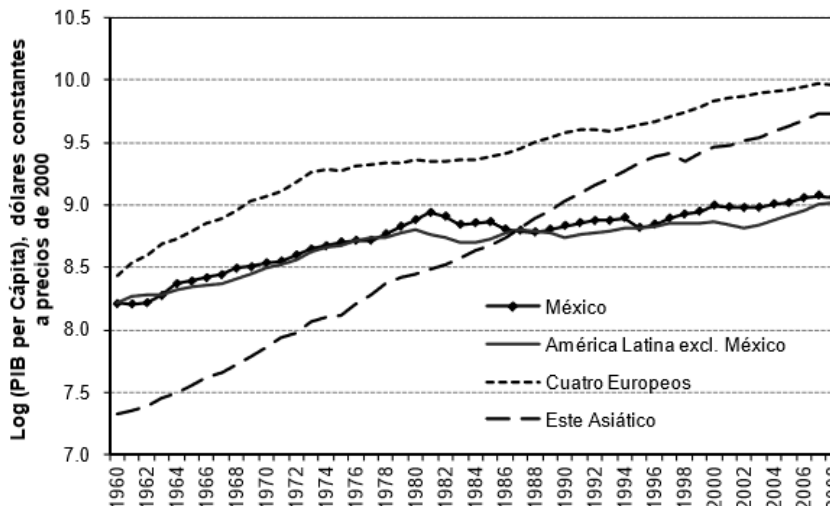
Tras la adopción del modelo de libre comercio o de apertura, México ha logrado impulsar el crecimiento económico ya que “la tasa de crecimiento promedio del PIB real por persona (...) disminuyó en promedio (...) 0.7% anual” (Kehoe y Meza, 2013, p. 258). Esto ha intensificado el desempleo, la pobreza, la marginación, la inseguridad, entre otros.

A inicios del nuevo siglo, el objetivo de estabilidad económica manifiesta a un dígito la tasa de inflación, sin embargo, la estabilidad no ha generado crecimiento y desarrollo económico. Pese al éxito de algunas actividades encadenadas al exterior, sea disparado la dependencia de la actividad económica mexicana, al mercado y sistema económico de los Estados Unidos, limitando su actividad, cuando sufre periodos de contracción.

(...), después de haber entrado en vigor el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), y hasta 2001, México había incrementado gradualmente su participación en el mercado de bienes de EE.UU. (...) después de ese año, y coincidiendo con el ingreso de China a la Organización Mundial de Comercio (OMC), México perdió participación en el mercado estadounidense de manera continua hasta 2005 mientras que China comenzó rápidamente a ganar participación en ese mercado. (Chiquiar & Ramos-Francia, 2009, pág. 18)

La limitada actividad económica, unida a la baja competitividad de productos nacionales, crisis recurrentes y la contracción del crecimiento económico internacional, han impulsado el declive del crecimiento económico mexicano. La baja actividad económica registrada de 1980 a 2008 comparada con otros países deja en claro el estancamiento del sistema económico, como se observa en la siguiente Figura.

Figura 5. PIB per Cápita: Promedio Regional (Ajustado por Paridad de Poder de Compra, PPC)



Fuente: Adaptada de (Chiquiar & Ramos-Francia, 2009, pág. 4)

Las políticas y acuerdos comerciales registrados de 1980 a 2012, no han sido suficientes, para impulsar una trayectoria en expansión del PIB y PIB per cápita mexicano. De 1980 a 2008 el comportamiento del PIB per cápita, es estable alrededor de las bandas 8.5 y 9 (dólares). El comportamiento muestra los periodos de crisis iniciando en 1980, la que ocurrió entre 1994-1995 y la registrada durante 2001, en todos ellos es persistente la contracción del ingreso, que se manifiesta en periodos de austeridad de crecimiento.

(...) se compara a México con el grupo de países del Este Asiático y con cuatro países de reciente industrialización de Europa Occidental (...) se incluye el desempeño de América Latina en su conjunto (excluyendo a México). (...) el desempeño de México ha sido insatisfactorio si se le compara con otras regiones en desarrollo. (...) la tasa de crecimiento promedio del PIB per cápita de México fue de sólo 1.8% por año. En contraste, el crecimiento anual del Este Asiático fue de 5.1%, mientras que los Cuatro Europeos considerados en el análisis promediaron una tasa de crecimiento de 3.2% por año. (Chiquiar & Ramos-Francia, 2009, pág. 2)

Entre 2002 y 2006, la recuperación económica se mostró favorablemente con bajos niveles de inflación y el despliegue del crecimiento, que fue interrumpido por una nueva crisis internacional la cual tuvo un afecto visible de 2007 a 2009. Las estrategias implementadas en periodos anteriores para estabilizar la economía no fueron suficientes

y en 2007 se manifestó la caída de la actividad económica mexicana en parte debido a la dependencia que se tiene de la actividad económica de los Estados Unidos, a pesar de sus intentos por ampliar sus mercados comerciales. En este periodo de crisis se mantuvieron las medidas restrictivas implementadas en periodos anteriores, para poder lograr la estabilización y recuperación económica. El siguiente cuadro muestra el comportamiento económico registrado de 2008 a 2009 de algunas economías americanas.

Cuadro 2. América Latina y los Estados Unidos durante la Gran Recesión

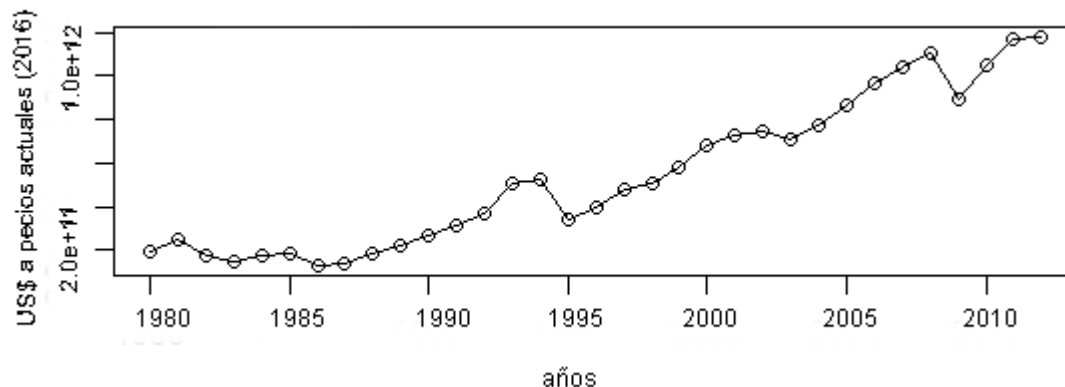
	Cambio 2008-2009 en el PIB por persona en la edad laboral (Porcentaje)	Desviación del filtro HP en 2009 (porcentaje)
Argentina	-0.3	0.9
Brasil	-1.9	-1.1
Chile	-3.0	-2.8
Colombia	-0.4	0.3
México	-7.7	-5.2
Perú	-0.6	0.2
Uruguay	1.9	2.3
Venezuela	-5.1	1.9
Estados Unidos	-3.3	-3.6

Fuente: Reproducción parcial, (Kehoe & Meza, 2013, pág. 206).

México ha tenido la mayor caída de todas las economías presentes en el cuadro anterior seguida por Venezuela, Estados Unidos y Chile, otros presentaron menores caídas e incluso en el caso de Uruguay, manifiesta crecimiento cercano a 2%.

En parte al proceso de recuperación de la crisis financiera de 2008 y el bajo crecimiento económico internacional. México no ha logrado superar el crecimiento que se registra desde hace más de 20 años. Para los periodos que van de 2010 a 2012, no todas son malas noticias, sea logró estabilizar la economía e iniciado el proceso de recuperación, “El PIB real por persona en edad laboral aumentó 3.2%” (Kehoe & Meza, 2013, pág. 261). Aun así, no sea dado aquel nivel de crecimiento del PIB que rompa con la trayectoria limitada, observado a lo largo del periodo 1980-212, como se muestra en la siguiente Figura.

Figura 6. Comportamiento del Producto Interno Bruto en México 1980-2012



Fuente: Elaboración Propia⁷ con información del Banco Mundial disponible en: <http://datos.bancomundial.org/pais/mexico>.

Los cambios en la política y estructura económica iniciados a principios de 1980 han presentado dificultades para hacer que se detone crecimiento, debido a la inestabilidad presente a lo largo del periodo 1980-2012, por las recurrentes devaluaciones, caos en el mercado financiero y la desaceleración de la actividad económica internacional. La mayoría de los ajustes implementados en este periodo están ligados a procesos que buscan fortalecer y estabilizar la economía, dirigidos a controlar el gasto interno, reorientar la producción y establecer alternativas para impulsar el crecimiento económico.

Como se observa en la Figura 6, de 1980 a 1981, la economía registra crecimiento, se detiene debido a la crisis de deuda y a la baja de los precios internacionales del petróleo, limitando el crecimiento económico de 1982 a 1986. El paquete de ajustes implementados de 1982-1986, lograron estabilizar e impulsar sustancialmente el crecimiento económico de 1987 a 1989, que fue fundamental para impulsar el crecimiento del periodo 1990-1994.

Los acontecimientos del mes de diciembre de 1994, la devaluación del peso y la caída de las reservas internacionales, lograron que el PIB en 1995 cayera vertiginosamente, ello constituyó la crisis económica y la crisis de estrategias de crecimiento, ya que, estas no fueron lo suficientemente sólidas para evitar la pronunciada

⁷ La información para construir la Figura 6, se encuentra en el Anexo B.1.

contracción del PIB. Entre el periodo 1996-2001, la velocidad de la recuperación en comparación de la crisis de 1982-1987 se debe en parte al control de la inflación, donde el detonante de la actividad económica ha sido la expansión de las exportaciones y la entrada de Inversión Extranjera Directa.

El buen rumbo de la actividad económica de finales de 1990 se estancó, por la crisis de 2001 en Estados Unidos debido a dependencia de su mercado, afectando el comportamiento del crecimiento económico, estancado de 2001 a 2003 e iniciando nuevamente el proceso de recuperación en 2004 año que muestra incremento de la PIB.

Con la recuperación del mercado americano y la expansión de las exportaciones bajo el estricto control de la inflación y la continuidad a políticas de estabilidad se generó crecimiento económico de 2004 a 2008. La crisis financiera de 2008 y la desaceleración de la actividad económica internacional, crearon en 2009 la caída del PIB mexicano frenando su ritmo de crecimiento, dejando a la luz una vez más la debilidad de las estrategias de estabilidad económica, que no fueron suficientes para reducir el ritmo y nivel de contracción.

La crisis de 2008 mantuvo su efecto de 2009 a 2010 mermando la posibilidad de recuperación del crecimiento, ligado a la dependencia generada por las exportaciones hacia los Estados Unidos. La recuperación de la senda del crecimiento se inició a mediados 2010, entre 2011 y 2012 el proceso de estabilización ha impulsado la recuperación en el ritmo crecimiento económico.

A pesar de mejorar la captación de inversión extranjera y la expansión de las exportaciones e importaciones, se ha desvinculado la dinámica de la productividad y el crecimiento económico del país, los choques externos han sido frecuentes y las tasas de crecimiento son bajas para garantizar desarrollo y recuperación del bienestar social.

2.1.4 Comercio Internacional - Cuenta Corriente

La apertura económica, que inicio a mediados de 1980, se ha empleado como estrategia para superar las distorsiones que a su paso dejan las crisis, sin embargo, el libre comercio ha propiciado la expansión de las exportaciones mexicanas aumentando la dependencia que se tiene al mercado y actividad de los Estados Unidos. La falta de estrategias y

proyectos, unido a la poca productividad y competitividad de la estrategia de crecimiento ha generado que las exportaciones, cuenten cada vez con menos valor agregado mexicano en el producto final, debido al aumento de las importaciones para cubrir las exportaciones totales, (Chiquiar & Ramos-Francia, 2009).

El comportamiento de las exportaciones respecto al PIB se ha incrementado a través del tiempo, de representar en promedio 16% del producto durante el periodo 1980-1998, las exportaciones pasaron a representar 36% del PIB en el periodo 1999-2006 (...) implica que mayores exportaciones tienden a propiciar una mayor expansión de la actividad económica. (Cuadra, 2008, pág. 9)

Desde que se optó por entrar al libre comercio la cadena de producción nacional se ha desintegrando debido al incremento en las importaciones de bienes intermedios y de capital, registrando por el frecuente déficit en cuenta corriente. La diversificación en la composición de la producción nacional y la expansión de los socios comerciales, no han proporcionado el impulso para detonar la expansión de la actividad y por ende del crecimiento económico, incluso ahora que México cuenta con más de 20 tratados comerciales, mantiene más del 50% de sus exportaciones destinadas hacia los Estados Unidos.

(...) desde 1980 ha habido cambios muy importantes en la composición, la tasa de crecimiento y el destino de las exportaciones mexicanas. (...) la participación de las exportaciones no petroleras en el total ha aumentado cerca de 50% al inicio de los ochenta hasta alrededor de 90% en 2000. (...) de las exportaciones de maquila, las cuales han incrementado su participación en el total hasta alrededor de 50%, partiendo de 15% en los inicios de los ochenta. (Garcés, 2002, pág. 8)

Las exportaciones e importaciones se han incrementado desde que México se adhirió al GATT y firmo el TLCAN. Más allá de los acuerdos comerciales en los últimos años el crecimiento depende del déficit en la cuenta corriente, financiado con inversión procedente del exterior. El cambio en la producción implica la sustitución de producto nacional por importaciones, para generar un bien de exportación y de consumo interno con baja participación nacional en su composición, los productos importados se ha adueñen del mercado de bienes interno y externo, obligando a generar crecimiento

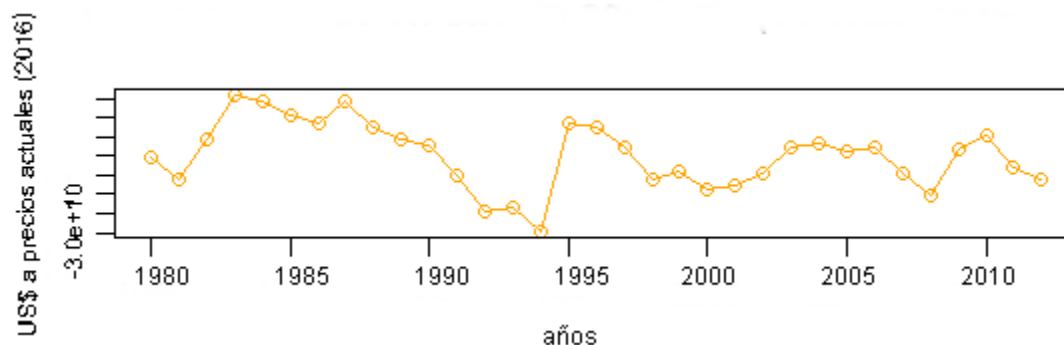
dependiente de las importaciones, (Chiquiar & Ramos-Francia, 2009), (Martínez & Romero, 2004).

(...) las exportaciones como las importaciones han presentado un incremento importante en su participación dentro del PIB (...) las exportaciones han pasado de representar menos del 10% del producto en 1980 a cerca del 40% (...) las importaciones también han mostrado un incremento progresivo en su participación en el PIB, llegando a representar más del 40% en los últimos años. (Cuadra, 2008, págs. 10-11)

México es una economía orientada hacia las exportaciones impulsada por sus acuerdos comerciales y estrategias de libre mercado, es verdad que el saldo en cuenta corriente por sí solo no arroja información para emitir juicio sobre el comportamiento económico, pero su tendencia manifiesta que implementa en abundancia recursos importados.

La siguiente Figura muestra el comportamiento del saldo en cuenta corriente de 1980 a 2012, herramienta implementada para expandir el crecimiento económico.

Figura 7. Saldo en cuenta corriente (balanza de pagos)



Fuente: Elaboración Propia⁸ basado en datos del Banco Mundial: <http://datos.bancomundial.org/pais/mexico>.

La cuenta corriente de la balanza de pagos ha sido positiva por poco más de 4 mil millones de dólares en 1983, 1984 y 1987, en 1985 alcanzado los 800 millones de dólares, a partir de entonces ha sido negativa año tras año. De 1988 a 1994 se ha

⁸ La información para construir la Figura 7, se encuentra en el Anexo B.1.

manifestado la mayor dependencia al sector externo, 1994 es el periodo de mayor déficit comercial. A pesar de la continuidad del déficit en cuenta corriente de 1995 a 2012, en 2000, 2008 y 2012 déficit ha superado los 15 mil millones de dólares.

La estrategia de liberación comercial no ha logrado garantizar que el crecimiento económico se expanda por todos los sectores, el generado se ha concentrado en el sector exportador de alta productividad. Las exportaciones mexicanas en su mayoría de empresas transnacionales caracterizadas por gran contenido de productos intermedios importados, ha provocado el desplazamiento de productores nacionales en el mercado interno y el externo.

La estrategia de liberación comercial para lograr un crecimiento económico acelerado y sostenido en México falló en gran medida a causa de un Estado débil que cedió sus funciones al mercado no regulado y a las transnacionales. El gobierno mexicano ha sido incapaz y no ha tenido la voluntad de emprender una política industrial efectiva combinada con políticas de liberación comercial (Pacheco-López y Thirlwall, 2004). (Pacheco, 2005, pág. 87)

Otra herramienta que se ha impulsado con el fin de aminorar los choques externos y con ella fomentar el crecimiento económico es la Inversión Extranjera Directa, como estimulante no ha sido exitosa para mejorar las actividades productivas y generar crecimiento con desarrollo, solo se han beneficiado algunos sectores.

2.1.5 Flujo de capital (Inversión Extranjera Directa)

Al dejar una economía de ofrecer condiciones de rentabilidad se perderá el financiamiento, frenando los flujos de capital interno y externo. Políticas monetarias y fiscales restrictivas contribuyen al deterioro de la acumulación de capital. A medida que se desarrolla el sistema financiero, se volverá un factor determinante en la asignación eficiente de los recursos para detonar crecimiento económico.

(...) en los últimos años se han llevado a cabo diversas acciones para mejorar el marco regulatorio del sector financiero (...) fomentar la competencia, (...) regulaciones diseñadas para aumentar la transparencia en cuanto a tasas de interés y comisiones, (...) reducir las barreras a la entrada a nuevos bancos y para facilitar el acceso a la red

de sistemas de pagos a un mayor número de participantes en el mercado (...). (Chiquiar & Ramos-Francia, 2009, pág. 43)

Debido al contexto económico de principios de 1980 y la fragilidad económica por la que sea transitado hasta 2012. La fase de transformación económica con la finalidad de recuperar el ritmo de crecimiento perdido, sea enfocado en promover la apertura comercial como motor de crecimiento, unido a la liberalización de los flujos de capital para ser el impulso financiero que eleve el Producto Interno Bruto.

La IED (...) experimentó un considerable aumento en su tasa de crecimiento, de 9% en el período 1980-1989 a 12% para el período 1990-1994 (...) el cambio real en la pendiente de la IED se dio en 1994, justo después de que el TLCAN fue aprobado por el congreso en diciembre de 1993. El crecimiento anual promedio de la IED de 1994 a 2000 fue 17% (...) La IED como porcentaje del PIB aumentó de un promedio de 0.1% durante el período 1980-1988 a 1.2% en el período 1989-1993 a 3.1% en 1994-2001. (Martínez & Romero, 2004, pág. 31)

Los resultados en términos de flujo y captación de Inversión Extranjera Directa son real mente espectaculares, debido a la fase de liberación económica mundial y los procesos de reforma llevados por países como México, sin embargo “La IED ha sido destinada principalmente a la adquisición de activos financieros ya existentes y no a la creación de nuevas empresas” (Pacheco, 2005, pág. 87).

La apertura comercial ha generado sin duda la expansión del capital extranjero, con el argumento de incrementar el capital disponible para hacer inversiones para impulsar el PIB, lo que ha generado a empresas pequeñas es su salida del mercado, las únicas beneficiadas son las empresas medianas y grandes, transnacionales ligadas a empresas extranjeras líderes con acceso a financiamiento externo.

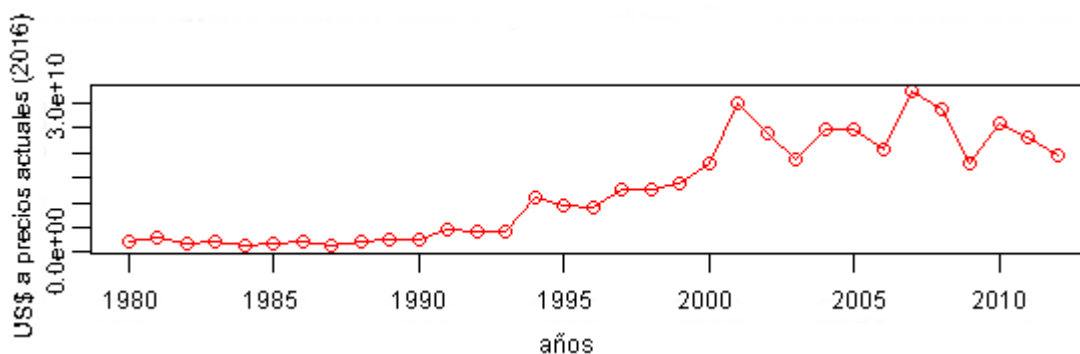
Desde principios de los noventa a la primera década de 2000 México ha sido el principal receptor de inversión de los Estados Unidos superior a la de sus otros socios comerciales.

(...) el TLCAN también eliminó barreras y estableció reglas no discriminatorias de manera que los inversionistas extranjeros recibieran el mismo trato que los inversionistas mexicanos. El resultado de esta medida ha sido un aumento

considerable de entradas de flujos de IED⁹ hacia México. (...) los flujos de IED hacia México aumentaron 133.1% en el período 1994-2004 (de 10,646.9 millones dólares (md) en 1994 a 24,818.0 md en 2004) y, 84.3% en el período 1994-2010 (19,626.5 md entraron a México como IED en 2010). (López G. , 2011, pág. 20)

La siguiente Figura muestra la tendencia que ha seguido la inversión extranjera directa de 1980 a 2012.

Figura 8 Inversión Extranjera Directa, Entrada neta de Capitales



Fuente: Elaboración Propia¹⁰ basado en datos del Banco Mundial: <http://datos.bancomundial.org/pais/mexico>.

En la Figura 8, de 1980 a 1990 la IED tiene un comportamiento estable que no ha sobrepasado los 3,100 millones de dólares, este en su mayoría se debe a la fragilidad y constantes episodios de inestabilidad económica de la época. El crecimiento en los flujos de IED de 1990 a 2012 se deben a la estabilización económica iniciada en la segunda mitad de 1980, el inicio y consolidación del Tratado de Libre Comercio de América del Norte a principios de 1990.

Desde el gran bum de la IED que inicio en 1990, los periodos 2002 y 2007 la IED ha sobrepasado los 29 mil millones de dólares. A partir de 1994 la IED se encuentra dentro de la banda superior de 29 mil millones y la banda inferior de 9 mil millones de dólares. En el periodo 1994-2000 la IED manifiesta gran estabilidad, esta se mantiene alrededor de los 9 y 14 mil millones de dólares, coincide con el periodo de estabilidad después de la crisis de diciembre de 1994 y el inicio de la recuperación económica.

⁹ Para mayores detalles véase (López G. , 2011).

¹⁰La información para construir la Figura 8, se encuentra en el Anexo B.1.

Para el periodo de 2001 a 2010 se expande y contrae la IED, no tiene un patrón de comportamiento estable sin embargo es apreciable la contracción y recuperación de esta ante las crisis de 2001 y 2008. A pesar del proceso de estabilidad generada después de 2008 el comportamiento de la IED durante el periodo de 2010 a 2012, se encuentra en declive pasando de 26 mil millones a cerca de 19 mil millones de dólares.

Dada la expansión de la IED no sea manifestado el incremento en la formación de capital fijo, a esto se le suma el crecimiento de la diferencia entre el sector productivo exportador a cargo de las Empresas Transnacionales y el sector tradicional dominado por pequeñas empresas dirigidas al mercado interno. Debido al limitado contacto de Empresas Transnacionales en el mercado interno, el impulso para desarrollar a la industria nacional no se ha generado, pero si sea expandido la importación de insumos y la salida del mercado de pequeñas y medianas empresas desvinculadas del capital exterior.

Panayotou (1997), Grosman y Krueger (2015), sugieren que, al incrementarse la actividad industrial, incrementara la contaminación como subproducto al momento y después de la producción por el uso de recursos como tecnología, energéticos, materias primas, etc.

La generación de emisiones depende de la intensidad del PIB, la composición de las actividades desarrolladas y la especialización de la economía. La contracción de producción de contaminantes es canalizada por la demanda y la intensidad del crecimiento económico, las variaciones en ambas dependen del nivel de renta. Del lado de demanda, en niveles bajos de renta, las personas están más preocupadas por comida y otras necesidades materiales, y menos preocupadas por la calidad ambiental. En niveles altos de ingreso, las personas exigen niveles altos de calidad medioambiental, con su nivel de renta promueven el cuidado y restauración del ambiente.

2.2 Gases Contaminantes del Aire, subproducto del Crecimiento Económico¹¹

Desde hace 30 años México inicio el proceso de apertura comercial, impulso el crecimiento de la inversión extranjera directa, transformo el patrón de las exportaciones e importaciones y altero el comportamiento de la PIB. Creo efectos negativos para el medio ambiente, como degradación de los bosques, *perdida en la calidad del aire*, contaminación del agua, etc., que tiene consecuencias de forma directa e indirecta en la población. Proteger al medio ambiente es vital para dar continuidad a las actividades desarrolladas que contribuyen a mantener la regularidad del crecimiento económico.

A medida que evolucionan los seres humanos, adquieren herramientas y conocimiento que les permite hacerse de los productos de la naturaleza. La transformación de insumos en un bien o servicio final forma parte del PIB que da como resultado un subproducto contaminante, si se presenta en forma de gas contribuye a la perdida de la calidad del aire. Los seres humanos al formar parte de los seres vivos aeróbicos¹², son dependen del aire para subsistir, sin él pueden presentar problemas cardiacos, pulmonares y en el peor de los casos la muerte. El aumento en la contaminación del aire se debe en gran medida por la abundancia de algunos gases, como Dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4) y Óxido Nitroso (N_2O), generado en el proceso para mantener el ritmo del PIB.

El crecimiento económico de los países influye de manera directa e indirecta sobre el medio ambiente. El volumen del PIB aumenta de diversas maneras la contaminación, por ejemplo: expandir la demanda de bienes y servicios, incrementa el uso de insumos, que a su vez expende la producción de desechos como subproducto al mantener el ritmo del crecimiento económico. Muchos desechos creados se presentan en forma de gas, el deterioro aumenta a medida que la composición de los gases altera la naturaleza del aire que afectan a los seres vivíos dependientes de él.

¹¹ El crecimiento económico depende de aquellas acciones o procesos desarrolladas por los individuos y empresas. Al llevar a cabo una tarea, producir un bien o prestar un servicio se genera una subproducto o sustancias que contaminan y ponen en peligro la calidad del aire, si la contaminación se presenta en forma de gas, por ejemplo: Dióxido de Carbono, Metano, Óxido nitroso, etc., altera la composición del aire que afecta a la naturaleza, los seres vivíos y los animales dependientes de la calidad del aire, véase (Nejadkoorki, 2011).

¹² Ser vivo aerobio o aeróbico es aquel organismo que depende del oxígeno para vivir o poder desarrollarse. Captura y utiliza la energía a través de su metabolismo, véase (Karp, 2009, págs. 179-180).

El aire es un elemento esencial para la existencia de todo ser vivo aeróbico. Sin agua podríamos sobrevivir algunos pocos días, pero sin aire moriríamos irremediablemente a los pocos minutos. Nuestro cerebro, compuesto por neuronas, se alimenta principalmente de aire y de glucosa, si tenemos hipoxia¹³ nuestras neuronas mueren y perdemos capacidades. (...) Diariamente nuestros pulmones filtran, aproximadamente, 15 kg de aire atmosférico mientras que solo absorbemos 2,5 kg de agua y menos de 1,5 kg de alimento (...) una persona adulta inhala de 13.000 a 15.000 litros de aire por día (...). (Alonso et al., 2007, pág. 68)

La contaminación del aire no solo se presenta de forma local, regional, sino a nivel internacional, las actividades desarrolladas para mantener el ritmo de crecimiento promueven la emanación de contaminantes, esta es causada en mayor medida de forma antropogénica¹⁴ por el uso combustibles fósiles, emisiones fugitivas de actividades domésticas y productivas, en la industria, y en menor proporción se debe a procesos naturales como la erupción volcánica, terremotos, etc.

(...) casi la mitad de la población mundial vive en áreas urbanas y se espera que a futuro se incremente el porcentaje (...). Ello va a incrementar la demanda de energía para iluminación, transporte, procesos industriales y diferentes usos domésticos que afectarán la calidad del aire por emisiones a la atmósfera de dichas actividades (...) Las afectaciones a la salud están relacionadas con diferentes niveles de exposición a la contaminación que van desde enfermedades cardiopulmonares y respiratorias, como el asma y alergias, hasta cáncer pulmonar, (...) en muchas regiones del mundo se presentan anualmente 800 mil muertes prematuras atribuidas a la contaminación del aire (...) (UNEP, 2006). (Corona & Rojas, 2009, pág. 80)

El crecimiento económico impulsado por los seres humanos da origen a la mayor parte de los contaminantes, altera principalmente las zonas donde fueron creados, no limitados debido a la naturaleza de su composición, pueden ser transportados por aire, agua, etc., hasta llegar a otras áreas que modifican. Si la contaminación se presenta en

¹³ Por Hipoxia se refiere a la "Hipoxia Hipóxica: Reducción del suministro de oxígeno a los tejidos debido a un suministro inadecuado de oxígeno de los pulmones a los eritrocitos" (Organización Mundial de la Salud, 2016, pág. 32), causado por una presión parcial del oxígeno baja en el aire inspirado (la concentración de oxígeno inalado es menor o igual al 21%).

¹⁴ Antropogénica hacer referencia a actividades desarrolladas por el hombre, véase (Querol, 2008).

forma de gas, es transportada por el aire y permanecer en él. La contaminación atmosférica es la existencia en el ambiente de cualquier sustancia química, objeto, partícula, o microorganismo que alteran la calidad del aire, al ser absorbido por los seres aerobios, su exposición genera malestares y riesgos al no poder desarrollar sus funciones dependientes del aire para sobre vivir, (Corona & Rojas, 2009), (Alonso et al., 2007).

En 2008 el dióxido de carbono CO_2 fue el Gas de Efecto Invernadero¹⁵ dominante (74%), siguiéndole el metano CH_4 (18%) y el óxido nitroso N_2O (7%) El crecimiento demográfico y económico, así como la creciente demanda de transporte, han sido los impulsores más importantes de las emisiones de CO_2 provenientes del uso de la energía. Las principales responsables por la tendencia ascendente en emisiones de CH_4 fueron las emisiones fugitivas provenientes de la producción y transporte de petróleo y gas. La agricultura fue el mayor emisor de CH_4 , principalmente por la fermentación entérica¹⁶ de los animales. Desde el año 2000, las emisiones de CH_4 , y N_2O procedentes de este sector se han mantenido prácticamente estables, mientras que las emisiones de CO_2 provenientes del uso de energía en el ámbito agrícola se han incrementado rápidamente. (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2013, págs. 110-111).

Los gases son los contaminantes por excelencia de la atmosfera y del aire que respiramos, el documento se enfoca en la pérdida de calidad de aire a partir del comportamiento de la producción registrada de Dióxido de Carbono, Metano y Óxido Nitroso en México durante el periodo 1980-2012.

México lleva más de 25 años experimentado una apertura comercial a gran escala, con el fin de expandir el crecimiento económico y el desarrollo de sectores estratégicos, ha generado la expansión del sector exportador de alta productividad y el sector energético. El sector energético debido a la demanda del insumo energía para el transporte, producción de manufacturas, funcionamiento de establecimientos, empresas

¹⁵ Efecto Invernadero es el aumento de la temperatura de la atmosfera, el aire y los océanos del planeta, a causa de la concentración de gases, véase para mayor información, (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2008, págs. 7-10).

¹⁶ Fermentación entérica. “Es el proceso de fermentación que produce metano como un derivado del proceso digestivo normal del ganado, en el que los microorganismos residentes en el sistema digestivo del animal fermentan el alimento que éste ha consumido” (Tubiello et al., 2015, p. 14).

comerciales industriales, prestación de servicios, uso doméstico, etc. ha crecido de manera considerable para proveer el insumo necesario y mantener el ritmo del crecimiento económico, alterando el comportamiento de la contaminación generada en forma de gas.

Querol (2008), sugiere, evaluar la calidad del aire, para concientizar a las sociedades, hallar y proponer estrategias con el fin de establecer objetivos de calidad para recuperar sus condiciones. Si existe un desarrollo débil en materia reguladora, no evitara el incremento del deterioro de la calidad del aire que contribuye al cambio climático¹⁷ y al deterioro de la salud de la sociedad.

A partir de 1980 se analiza el comportamiento de los gases contaminantes del aire generados por mantener el ritmo del crecimiento económico en México. 1980 es el periodo de reestructuración económica e inicio del proceso de apertura comercial impulsando a las exportaciones como mecanismo de crecimiento económico, bajo estricto control de inflación, se adhiere al GATT a mediados de 1980 y en la primera mitad de los 90 se firma del TLCAN, expande la entrada de Inversión Extranjera Directa e incrementa el ritmo de las Exportaciones, magnifica el ritmo de las actividades económicas y transforma el comportamiento de la contaminación que perturba la calidad del aire.

2.2.1 Contaminación por emisiones de Dióxido de Carbono (CO_2)

A nivel mundial el sector industrial es el productor de emisiones de dióxido de carbono, le siguen los sectores que hacen uso de hidrocarburos para prestar servicios y para generar bienes, por último tenemos los desechos generados en los hogares por quema de gas natural, uso de electricidad, emisiones fugitivas, entre otros.

El dióxido de carbono (CO_2) es un gas incoloro, denso y poco reactivo, que forma parte de nuestra atmósfera; se genera a través de la respiración animal y vegetal, a partir de los procesos naturales de fotosíntesis. La actividad humana también produce CO_2 mediante el sector industrial. (KPMG en México, 2015, pág. 2)

¹⁷ Cambio Climático transformación del estado del clima con respecto al historial o escala regional y global, véase (CCA, 2008).

El CO_2 se obtiene en su mayoría por el uso de combustibles fósiles, es indispensable para el desarrollo de plantas “forma parte del proceso de fotosíntesis para producir clorofila y nutrientes en estos seres vivos” (Medina J. , 2010, pág. 50). La cantidad de emisiones depende de las concentraciones humanas, de sus demandas energéticas, de la intensidad del crecimiento económico, de procesos industriales, procesos de urbanización, servicios públicos como alumbrado, distribución de agua potable y en el ahogar para satisfacer sus necesidades.

Si el CO_2 se encuentra en concentraciones altas en lugares cerrados es peligroso porque el aire es desplazado y puede causar enfermedades respiratorias e incluso la muerte en casos extremos, el gas es llamado “gas invernadero”, es uno de los principales que contribuye al cambio climático, “Se estima que 15% del territorio, 68% de la población y 71% del PIB están muy expuestos a los efectos adversos y directos del cambio climático” (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, 2016, pág. 2).

(...) se calcula que México contribuye con la no despreciable cantidad de más de 400 MT¹⁸ de CO_2 al año, lo que nos coloca en el “honroso” grupo de principales emisores de éste contaminante en América latina junto con Brasil, Venezuela y Argentina (...) México es el tercer país americano más contaminante después de USA y Canadá. (Medina J. , 2010, pág. 52)

A lo largo de la historia las emisiones y concentraciones el CO_2 , se ha expandido por toda acción humana llevada a cabo. Desde 1980 el proceso de apertura comercial ha permitido que México se incorpore a tratados y acuerdos que han modificado su sistema productivo, y sus políticas sobre protección ambiental, alterando el patrón de crecimiento económico que genera subproductos que afectan la calidad del aire.

Un proceso que incite el crecimiento económico no planificado trae como riesgo la expansión de la contaminación ambiental, esta fragilidad pone en peligro a los ecosistemas, que afectan directamente al patrón de crecimiento. Si el nivel de CO_2 se incrementa, se expande el deterioro de la calidad del aire, ello traerá consecuencias que

¹⁸ Millones de Toneladas (MT).

afectan directamente a los seres vivos dependientes de él para desarrollarse y sobre todo a la sociedad para mantener e incrementar su bienestar.

En México, la industria generadora de energía, las emisiones fugitivas de combustibles y el uso de combustibles fósiles en la industria, el transporte y otros sectores aportaron 60.4% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el 2006 al sumar 430 millones de toneladas de CO_2 . (Irastorza & Fernández, 2010, pág. 52)

Al impulsar el crecimiento económico se ha dado paso a la diversificación de las actividades para expandir el Producto Interno Bruto. Los hogares en México bajo el promedio nacional es decir sin tener acceso al aire acondicionado ni a horno de microondas, usando lámparas ahorradoras que reducen 80% del consumo de energía, logran que se cumpla la siguiente información:

Un refrigerador consume el 29% del total de la electricidad gastada. El televisor consume un 13% del total de energía eléctrica. El calentador de agua representa el 12% del consumo de energía global y la lavadora gasta apenas un 5% de la energía eléctrica que se consume comúnmente (...) De tal manera que el total de casas, residencias y edificios pueden producir directa o indirectamente hasta 7 (...) MT de CO_2 por consumo de energía (...) al año. (Medina J. , 2010, pág. 52)

Por habitante para contribuir a la reducción de la emisión de este gas se deben de realizar acciones mínimas que no necesitan de mayor esfuerzo como el reciclaje algunos componentes de la basura, cambiar los filtros en forma de campana de la estufa, hacer uso de lámparas ahorradoras, desconectar aparatos eléctricos innecesarios y otros que son específicos del automóvil y de la calefacción en los hogares, (Medina J. , 2010).

El sector energético en México es uno de los principales detonantes de toda su actividad económica y social, este proporciona el insumo que se utiliza en el transporte, para la producción, prestación de servicios y en los hogares. El desafío es generar crecimiento económico y contraer las emisiones contaminantes generadas en todos los sectores.

De 1990 a 2008 el crecimiento en el consumo de energía se mantuvo muy de cerca al observado por el crecimiento del PIB:

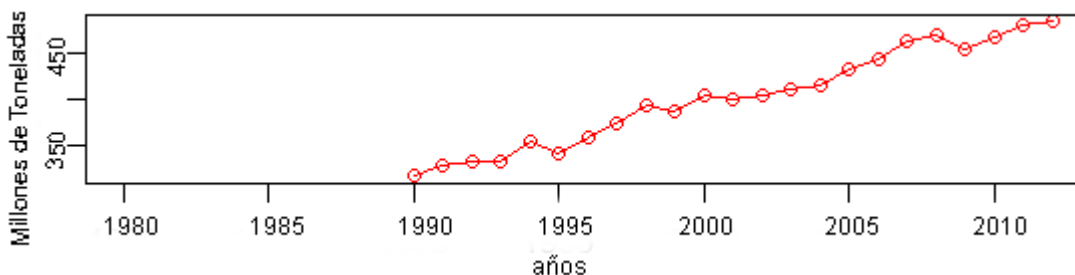
El sector industrial redujo sus emisiones por consumo de energía siete puntos porcentuales y el residencial, dos. (...) el transporte no es sólo el mayor consumidor de energía en nuestro país, si no que fue el de mayor crecimiento durante el periodo de 1990 al 2008. Durante ese lapso, su consumo de energía aumentó a una tasa promedio de 3.6% anual. Este crecimiento ha sido impulsado, en su mayoría, por el consumo de combustibles en el autotransporte, el cual mostró una tasa promedio anual de 3.8% y en 2008 tuvo una participación de 92% dentro del consumo del transporte. (...), el consumo de combustibles del sector industrial mostró la menor tasa de crecimiento promedio anual (1.1%). (Irastorza & Fernández, 2010, págs. 60, 64-66)

De forma extrema si se desea llegar nuevamente al punto de equilibrio entre producción y la cantidad de CO_2 que pueda ser asimilada, es necesario reducir 80% de la producción per cápita de CO_2 , “equivale a plantar 30 árboles de tamaño mediano por año y por habitante de la tierra, incluyendo a los niños que acaban de nacer en este momento” (Medina J. , 2010, pág. 52).

Medidas pasivas para ser implementadas necesitan de colaboración local e internacional entre gobiernos e instituciones privadas, deben fomentar el empleo de energías renovables, mejorar el rendimiento del uso de combustibles en automóviles, ahorro de energía, reducción de la deforestación, reciclaje de basura, etc., en concreto hacer frente al deterioro causado por la contaminación atmosférica y el cambio climático que no solo afectan a la sociedad sino a las economías, empresas y naturaleza, constituye el inicio del proceso de recuperación ambiental a través de la desaceleración en el ritmo de la producción de los gases de efecto invernadero.

La siguiente grafica muestra el comportamiento del Dióxido de Carbono en México de 1990 a 2012.

Figura 9. Evolución del Dióxido de Carbono CO_2 de 1990 a 2012



Fuente: Elaboración Propia¹⁹ basado en datos del Climate Analysis Indicators Tool (CAIT): <http://cait.wri.org/historical>.

Basado en la Figura 9, de 1990 a 2012 la producción del Dióxido de Carbono ha pasado de los 300 MT en 1990 a cerca de 500 MT para 2012. El ritmo de Producto Interno Bruto en periodos de crisis ha limitado la expansión y ritmo de producción, pero ha conservado se tendencia creciente. Los periodos de contracción de CO_2 son 1995, 1999, 2001 y 2009, unido a un crecimiento mínimo de 2002 a 2004, etapa que coincide con el periodo de recuperación de la crisis de 2001. El incremento en las emisiones se debe principalmente a la quema de combustibles fósiles y el uso de energéticos en procesos industriales, en el transporte, en actividades de producción manufacturera, eléctrica, entre otros incluyendo los hogares, los centros comerciales y en la producción agrícola, en general en todas aquellas actividades esenciales para mantener el ritmo del crecimiento económico.

El CO_2 es uno de los mayores gases de efecto invernadero que expande el problema de cambio climático. El aumento de la población, el consumo de energía y la intensidad del crecimiento económico expande el efecto invernadero natural²⁰, “Aunque el principal contribuyente individual es el CO_2 se ha encontrado que el CH_4 puede ser 21 veces más potente que el CO_2 como “atropador de calor” (Kruger 2000)” (Solórzano, 2003,

¹⁹ La información para construir la Figura 9, se encuentra disponible en el Anexo B.2.

²⁰ El efecto invernadero natural es un prerrequisito para la vida en la Tierra, sin este la temperatura promedio de la superficie terrestre sería inferior al punto de congelación del agua, véase (CCA, 2008).

pág. 8), ello acelera el proceso de calentamiento global, repercute negativamente sobre la biodiversidad y los servicios que proporcionan los ecosistemas.

2.2.2 Contaminación por Emisiones de Metano (CH_4)

El aumento en la emanación de gas metano se asocia a los procesos de desarrollo, ritmo de crecimiento y expansión de la población. La capacidad de adaptarse y controlar los problemas derivados de la producción de metano, forman parte de los retos que el cambio climático impondrá.

El continente americano al que México pertenece, alberga a Estados Unidos y Canadá, los mayores productores de gases de efecto invernadero. La región ha pasado por crisis recurrentes, de 1980 en adelante sea caracterizado por bajo desempeño económico y un desfavorable intercambio comercial que ha limitado el crecimiento económico.

México cuenta con gran diversidad ambiental expuesta a modificaciones, a pesar de contar con recursos abundantes, su uso es parcial y en niveles bajos de eficiencia, “Las emisiones de metano se estimaron en 3,6 millones de toneladas métricas para 1990, provenientes en la mayor parte de la fermentación entérica (48 %) y las emisiones fugitivas de combustibles (28,5 %)” (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2006, pág. 21). Una base económica dependiente de los hidrocarburos como el gas natural genera emisiones fugitivas, las emisiones provenientes de las actividades agropecuarias, los cambios en el uso del suelo, la urbanización etc., intensifican la producción de metano.

El CH_4 se genera principalmente por actividades industriales (petroquímica, metalúrgica, minera); por la combustión de materiales (transporte, industria eléctrica); por emisiones fugitivas (extracción de petróleo y gas natural); por prácticas agrícolas (cultivo de arroz, manejo de estiércol) y ganaderas (fermentación entérica en animales domésticos y rumiantes) así como por la biodegradación anaerobia²¹ de la materia

²¹ Biodegradación Anaerobia o Digestión Anaerobia es un proceso que se desarrolla en ausencia de oxígeno, mediado por una población microbiana anaerobia; estos organismos poseen la capacidad de degradar compuestos orgánicos complejos a otros más simples (metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2)), véase (Padrón, Guerra, Silva, Savón, & Pérez, 2012).

orgánica presente en los residuos municipales (líquidos y sólidos). (Solórzano, 2003, pág. 14)

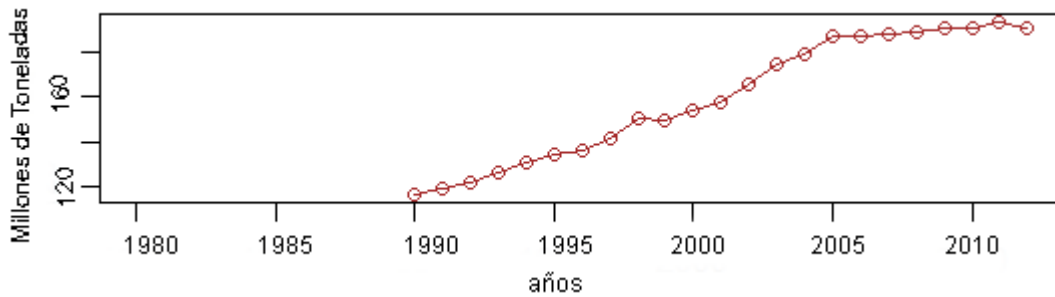
La agricultura y ganadería son una de las fuentes más importantes en la producción de metano, pueden ser comparadas parcialmente con la producción industrial, debido a la deforestación para cultivos, la actividad microbiana y la simple existencia de ganado, estimula la fermentación entérica, que expanden la producción de metano. El control de la producción de metano debe evaluarse, es el segundo componente responsable del calentamiento global y la destrucción de la capa de ozono. El gas por sus propiedades es altamente nocivo, sus moléculas tienen mínimo dos átomos que están unidos de tal forma que pueden vibrar al momento de absorber calor, las moléculas al vibran emanan radiación que expande el ritmo del calentamiento global.

En el caso particular del CH_4 se observa que la participación del gas equivale al 23% de las emisiones de GEI en nuestro país. Uno de los sectores generadores de este gas es el referido al manejo de desechos urbanos e industriales (deposición de desechos sólidos y tratamiento de aguas residuales), que contribuyó en 1998 con 3,362.788 Gg²², equivalente al 41% del total de emisiones de CH_4 (...). De manera individual, el manejo de residuos sólidos municipales (RSM), contribuye en México con cerca del 25% de las aportaciones de CH_4 . (Solórzano, 2003, pág. 3)

México es uno de los principales productores de metano en América Latina. El promedio de vida del CH_4 oscila entre los 10 y 15 años, de los tres gases analizados es el que tiene la vida más corta. En la siguiente Figura se observa el comportamiento que ha mantenido la producción de gas metano en México durante 22 años.

²² Gigagramo (Gg), 1 Gg = 1 000 000 000 g = 10^9 g

Figura 10. Producción de Metano CH_4 , 1990-2012.



Fuente: Elaboración propia²³ basado en datos del Climate Analysis Indicators Tool (CAIT): <http://cait.wri.org/historical>.

El metano tiene un comportamiento ascendente de 1990 a 2005, estancado de 2006 a 2012, su evolución indica bajas tasas de crecimiento. Inicio en poco más de 100 MT en 1990, sobre pasando las 170 MT en el año 2012. El gas mantiene una trayectoria ascendente de forma estable entre 1990 y 2012, sin grandes fluctuaciones en periodos de crisis y recuperación económica.

La agricultura siempre ha estado presente en las actividades llevadas a cabo con el fin de obtener alimentos e insumos disponibles para la producción de un bien final, la perdida de nutrientes en los suelos es un problema que se ha resuelto al hacer uso de abonos a base de nitrógeno, estos son la principal fuente del óxido nitroso, al igual que el metano y el dióxido de carbono se produce por el uso de combustibles, en la industria, en el sector transporte, por el tratamiento de residuos, etc.

2.2.3 Contaminación por Emisiones de Óxido Nitroso (N_2O)

En comparación con la producción del CO_2 , la cantidad de Óxido Nitroso (N_2O ²⁴) es menor no por eso es menos significativo, tiene un periodo de vida superior, al dióxido de carbono y metano, su potencial de calentamiento es más elevado. Se origina principalmente en las actividades primarias y en el transporte. En la agricultura el Óxido Nitroso es generado

²³ La información para construir la Figura 10, se encuentra disponible en el Anexo B.2.

²⁴ Otro nombre por el que es conocido es Óxido de Nitrógeno

por los materiales utilizados para mantener la fertilidad de las tierras donde se producen alimentos, insumos, para cubrir la demanda de la población y empresas.

El empleo de fertilizantes nitrogenados es el principal responsable de las emisiones de origen antrópico de N_xO ²⁵ hacia la atmósfera. Los N_xO contribuyen en 7% a la intensificación del efecto invernadero (Ludevid 1997). La emisión de N_xO se incrementa al aumentar la cantidad disponible de N (Nitrógeno) debido a la mayor actividad microbiana²⁶. (Mora, Sandoval, Gavi, & Sánchez, 2005, pág. 24)

El manejo del uso de suelo es primordial para el control de las emisiones de Óxido Nitroso. Las prácticas culturales y las condiciones del clima, en los sistemas de cultivo a base de nitrógeno ayudan a mejorar la fertilidad de la tierra, el desarrollo de microorganismo y plantas. En el proceso de desnitrificación y nitrificación se produce 90% de las emisiones de Óxido Nitroso, (Grageda et al., 2004).

La producción de Óxido Nitroso en México, proviene principalmente del transporte debido al incrementado en la demanda de combustibles, seguida de la agricultura por el manejo en el uso de suelo, el tratamiento y manejo de aguas residuales. La expansión en la producción de gases, altera el comportamiento y la frecuencia de la formación de lluvia acida, pérdida de calidad de aire, calentamiento global, deterior de la capa de ozono y cambio climático.

El óxido nitroso (N_2O) es un gas (...) que tiene una capacidad de absorción infrarroja 150 veces más efectiva que el CO_2 y se considera responsable de 4 a 5% del efecto total de invernadero (Bouwman, 1990) (...) Como no hay una desaparición química del N_2O , éste tiene un período de vida media de 150 años y se incrementa a razón de 0.2% anualmente (Crutzen, 1979, 1981; Bouwman, 1990; Houghton et al., 1990; Duxbury, 1994). (Grageda, Vermoesen, van Cleemput, & Peña, 2000, pág. 2)

²⁵ Óxidos de Nitrógeno es un gas toxico transportado por el aire, creado en la agricultura, plantas de energía, automóviles, etc., miembro de la familia al que pretense el óxido nitroso, véase (Mora, Sandoval, Gavi, & Sánchez, 2005).

²⁶ Actividad Microbiana: es la tarea que involucra microorganismos que conducen la biodegradación de la materia orgánica que da fertilidad al suelo y proporciona nutrientes a las plantas, los microorganismos mantienen a la tierra en óptimas condiciones para el desarrollo de un ecosistema, véase (Álvarez S. & Anzueto M., 2004).

El Óxido Nitroso es un gas incoloro, soluble en agua, debido a su concentración y exposición puede provocar en los seres humanos, contracción de la actividad pulmonar, aumenta el riesgo de presentar síntomas respiratorios como hipoxia, bronquitis aguda, tos, especialmente en los niños, en el corto plazo genera pérdida de la salud. El manejo del uso suelo, la humedad, las altas temperatura, ocasionan que el uso de Nitrógeno provoque la mayoría de las emisiones de Óxido Nitroso. La concentración actual comparada con la que existía antes de la era industrial sea multiplicada más del 50%.

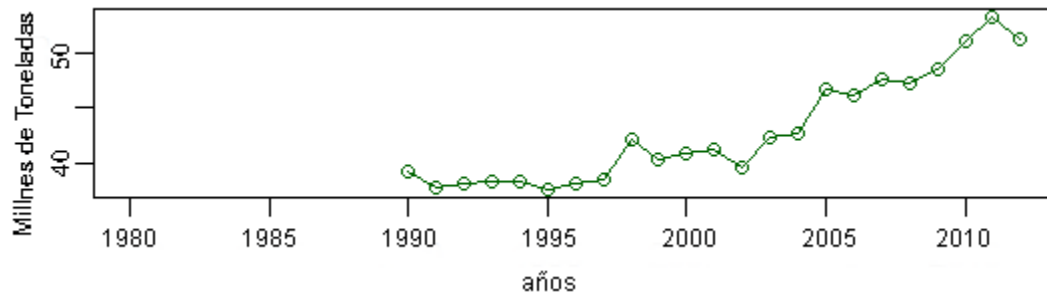
De los aproximados 90 Tg²⁷ de nitrógeno consumidos anualmente en forma de fertilizantes, cerca de 3 a 4 Tg de nitrógeno se vierten a la atmósfera en forma de óxidos de nitrógeno; estos gases están involucrados en el calentamiento de la atmósfera y la destrucción de la capa de ozono estratosférica. Alrededor de 18% de las emisiones se deben a procesos microbiológicos²⁸ asociados con las actividades agrícolas. (Grageda et al., 2000, pág. 1)

Debido a su producción anual y su periodo de existencia, el Óxido Nitroso constituye la mayor amenaza sobre la capa de ozono. La presencia de este gas en altas cantidades desplaza y mantiene la reducción de la capa de ozono que afecta el ritmo de calentamiento global. Por sus propiedades el Óxido Nitroso al combinarse con otros químicos forma smog, al mezclarse con agua antes de la precipitación da como resultado lluvia ácida que afecta tanto a los dependientes de la calidad del aire como a los dependientes del agua sean plantas, animales, tierra, etc., que ven comprometidas sus capacidades. La gráfica siguiente muestra el comportamiento de producción de Óxido Nitroso en México.

²⁷ Teragramo (Tg), 1 Tg = 1 000 000 000 000 g = 10¹² g

²⁸ Procesos microbiológicos: son actividades que desarrollan microorganismo, digieren las substancias que componen la materia orgánica, transformándolos en complejos que son absorbidos para generar la fertilidad del suelo y permitir la nutrición de las plantas en los ecosistemas, véase (Álvarez S. & Anzueto M., 2004).

Figura 11. Producción de Óxido Nitroso N_2O , 1990-2012



Fuente: Elaboración propia²⁹ basado en datos del Climate Analysis Indicators Tool (CAIT): <http://cait.wri.org/historical>.

En los últimos 22 años la producción de Óxido Nitroso se ha elevado hasta situarse a alrededor de los 50 millones de toneladas equivalente de CO_2 para 2012. El nivel de producción si le compara con la producción que se tenía en 1990 se ha incrementado 30.54%, equivale a un incremento aproximado de 11 Millones de toneladas. Comparando el promedio de la producción de Óxido Nitroso, Dióxido de Carbono y Metano: el Óxido Nitroso se produce a una tasa promedio de 836.53% menor que la de Dióxido de Carbono, y a una tasa promedio de 271.89% menor respecto a la producción promedio de Metano.

La producción de Óxido Nitroso de 1990 a 1997 que es su periodo de producción más bajo muestra una tasa de crecimiento de menos 0.2% equivalente a producir anualmente alrededor 38 Millones de toneladas. De 1998 a 2012 la tasa de crecimiento promedio anual es de 1.98%, que ha hecho aumentar la producción de Óxido Nitroso, aun con la presencia de la crisis de 2001 y 2008 que han contraído el ritmo de crecimiento, pero no han frenado la expansión total de la producción. Después de llegar a 53 Millones de Toneladas en 2011 la producción de Óxido Nitroso se encuentra nuevamente en descenso.

La información de la cantidad de toneladas producidas al año de estos 3 gases para México, está disponible de 1990 a 2012. Cada uno de los gases de forma individual presenta tendencia ascendente, con caídas mínimas y pocos periodos después de 1995

²⁹ La información para construir la Figura 11, se encuentra disponible en el Anexo B.2.

son constantes, comparándolos con el comportamiento descrito por el PIB estas variables siguen tendencia creciente, no así los mismos periodos de estancamiento. Las contracciones del PIB no han sido suficientes para frenar la expansión de la producción de estos gases, pero si limita el ritmo de crecimiento por año.

El ritmo del crecimiento económico que actualmente se tiene, impulsa la expansión de Dióxido de Carbono, Metano y Óxido Nitroso. El desarrollo económico que se ha logrado desde 1990 no ha sido suficiente, el incremento de los gases ha deteriorado la calidad del aire que afecta la salud de organismos y seres vivos que necesitan del aire subsistir. El efecto invernadero es una característica natural de la atmosfera que permite el desarrollo de la vida, su multiplicación por el aumento en la producción de gases, crea efecto es negativo sobre plantas, animales, seres humanos, en general afecta a todos los seres vivos.

Para satisfacer las necesidades materiales de empresas e individuos se necesitan expandir el crecimiento económico, que multiplica la producción de gases contaminantes del aire como subproducto de la intensidad de las actividades económicas. Promover estrategias que controlen la emanación de contaminación es primordial en cada etapa de desarrollo para evitar catástrofes que afecten en mayor proporción e intensidad a las plantas, animales, a la sociedad y en general al equilibrio natural de la tierra.

Mantener cierta calidad del aire no se presenta de forma automática, depende de políticas e instituciones, pero sobre todo del ingreso que se obtiene a través del crecimiento económico. Panayotou (1997), Querol (2008), el crecimiento económico brinda las condiciones necesarias para luchar contra el deterioro de la calidad del aire, incrementa la demanda por su sanidad y hace disponibles los recursos para poder atacar el problema.

La calidad del aire se deteriora a medida que las actividades humanas, procesos naturales y ciclos de vida en animales generan residuos. Las sociedades que han cubierto sus principales necesidades empleo, comida, educación, salud, se presta atención a los problemas que deterioran su bienestar, por ejemplo, la contaminación del aire generada por subproductos al mantener el ritmo de crecimiento económico y su expansión.

México no ha controlado la expansión de la producción de gases contaminantes, creados como subproducto al mantener el ritmo de crecimiento económico, presenta periodos en que sus principales ciudades han declarado contingencia ambiental por el exceso de gases contaminantes existentes en el aire, las ciudades por sus propiedades geográficas no los eliminan o desplazan con facilidad, afecta directamente a las personas que se manifiestan para exigir la creación de instituciones y normas que mantengan la calidad del aire por la pérdida de su bienestar.

Si la contaminación aumenta y es persistente, aun cuando el crecimiento económico es bajo, la reducción puede existir a través del incremento en las importaciones de insumos para obtener de un bien o servicio final, el sector industrial que ha limitado sus emisiones de contaminantes, la reducción continuara mientras el crecimiento económico esté sujeta al incremento de las importaciones. El comportamiento no lo sigue el sector energético y el de transporte, generan la mayoría de las emisiones de gases contaminantes, afecta las zonas donde existe más concentración de sus servicios. La contaminación del aire debido a su naturaleza gaseosa no se limita a la región donde el subproducto se ha generado.

Para incrementar la actividad y expandir el crecimiento económico, México importa insumos. Aquellos países que satisfacen su demanda, invertirán energéticos y recursos para poder satisfacerla, una vez que México obtiene sus insumos y los transforma en un producto final; la inversión en uso de recursos es menor, al que tendría que implementar si no se importaran y se generaran en este país. Por tanto, los gases que afectan la calidad del aire tendrán que reducirse.

El comportamiento del PIB a diferencia del comportamiento que sigue el Dióxido de Carbono, Metano y Óxido de Nitroso de 1990 a 2012, se mantiene limitado con pocas expectativas de gran y constante ritmo de crecimiento.

En el Capítulo IV analizará estadísticamente la influencia que ha tenido el Producto Interno Bruto sobre el comportamiento que han seguido algunos gases contaminantes del aire, para elaborar conclusiones acerca de su evolución en el transcurso de 32 años iniciando en 1980, toma en cuenta la influencia de la Inversión Extranjera Directa y el saldo en la Cuenta Corriente (Exportaciones-Importaciones).

El siguiente capítulo muestra modelos que serán útiles para completar las bases de datos e implementar el mejor modelo que describa el comportamiento de la relación. Contar con series completas permite validar o rechazar si en México existe una relación en forma cóncava como se describe en la hipótesis EKC, la información entre PIB, Dióxido de Carbono, Metano y Óxido de Nitroso muestra un comportamiento que podría ser dependiente teóricamente.

Capitulo III. Exposición teórica sobre modelos de datos de panel e imputación.

La relación entre contaminación del aire y crecimiento económico se planteó en Grossman y Krueger (2015). Su estudio manifiesta la existencia de un comportamiento cóncavo por parte de la contaminación atmosférica a medida que se expande el crecimiento económico. Inicialmente la contaminación se expande para después dar paso a su contracción siempre que sea persistente el crecimiento económico.

La relación entre contaminación ambiental y crecimiento económico se ha analizado principalmente en países desarrollados, los hallazgos afirman la existencia de la forma cóncava solo para algunos contaminantes. Estudios sostienen la posible existencia de la forma cóncava en economías en vías de desarrollo, estas se encuentran al principio o en el centro de la forma cóncava, debido a que su proceso y planes desarrollo para atender al medio ambiente continua en evolución. La falta de una gama amplia de datos medio ambientales por periodos largos de tiempo es una limitante para llevar a cabo el análisis de economías en desarrollo.

El estudio de la relación entre medio ambiente y crecimiento económico se ha llevado a cabo implementando datos de panel a través de modelos de efectos fijos y efectos aleatorios. En este análisis dedicado a estudiar la posible relación entre la contaminación del aire y el comportamiento del Producto Interno Bruto en México se tomará ese tipo de modelos para observar el comportamiento que siguen las variables de estudio.

3.1 Análisis de Datos de Panel

El análisis de datos de panel, inicio a desarrollarse en 1980 especialmente para estudios econométricos, han permitido estimar modelos sobre series de tiempo y datos de corte transversal, (Arellano & Bover, 1990). El uso de la metodología de Datos de Panel permite el estudio simultáneo de variables a lo largo del tiempo, se tiene en cuenta al efecto tiempo, individuo o conjunto, que ayuda a controlar la heterogeneidad³⁰ no observable.

³⁰ La heterogeneidad no se puede captar en estudios de series de tiempo ni en estudios de corte transversal, los datos de panel son una herramienta que puede captar la no observable heterogeneidad, entre agentes económicos y el tiempo, véase (Baltagi, 2005).

Un conjunto de Panel de Datos es una combinación de datos de series de tiempo³¹ y de corte transversal³². Se tienen observaciones de series de tiempo para una o más muestras de unidades individuales. Una variable M_{it} , contiene $i = 1 \dots n$ observaciones de corte transversal (representa países, regiones, sectores económicos en lapsos específicos de forma homogénea, por lo general es menor que t) y $t = 1 \dots j$, son las observaciones en forma de series de tiempo, (Hsiao, 2003).

La desventaja más importante que afecta a las variables que se emplearan relacionadas con la contaminación del aire es la falta de información en algunos periodos y el uso de un individuo representante general de un país.

Ventajas. Los modelos de datos de panel captan la heterogeneidad no observada entre el tiempo y los individuos, controlan el riesgo de obtener variables sesgadas debido a que minimizan la heterogeneidad. El número de observaciones juega un papel muy importante, mientras existan más observaciones se incrementan los grados de libertad y reducen la colinealidad presente entre las variables independientes, dando como resultado una estimación eficiente, (Gujarati & Porter, 2010), (Arellano & Bover, 1990).

Los modelos de Panel de Datos que se usaran por simplicidad, son modelos históricos, estáticos. Modelo de Efectos Comunes (Pooled), Modelo de Efectos Fijos (Fixed Effects) y Modelo de Efectos Aleatorios (Random Effects), los modelos capturan los efectos individuales, temporales y conjuntos de las variables y sus observaciones. La alternativa a los modelos estáticos clásicos de datos de panel son los modelos dinámicos, hacen transformaciones de ajuste por variables y técnicas matemáticas específicas, (Hsiao, 2003).

Para aplicar los modelos de datos de panel clásicos, se deben elaborar pruebas de hipótesis, esto proporcionara los argumentos suficientes para elegir el modelo que

³¹ Serie de tiempo, conjunto de información existente durante un periodo determinado de tiempo, ejemplo las observaciones que forman la serie PIB, la tasa de interés, la población económicamente activa, etc., véase (Gujarati & Porter, 2010).

³² Corte transversal, variables o un conjunto de muestras que ocurren en un momento en específico. Por ejemplo, la demanda de artículos navideños por parte de las familias, la producción de automóviles de una serie de empresas etc., véase (Gujarati & Porter, 2010).

mejor explique la relación entre las variables independientes y dependiente. No es dañino tener presente algunos supuestos econométricos clásicos:

1. La media de los errores de series de tiempo y corte transversal igual a cero, $E[u_{i,t}] = 0$.

2. La varianza del modelo utilizado debe ser constante respecto de las variables exógenas en cada corte transversal, $E[u_{i,t}^2/C_{i,t}] = \sigma_i^2$

3. No correlación serial $E[u_{i,t}u_{j,s}] = 0$ con $i \neq j$, $t \neq s$. Cumplir con los supuestos contribuye a obtener estimadores insesgados y eficientes, (Gujarati & Porter, 2010).

3.1.1 Modelos de Efectos Comunes

La estimación se realiza con el método “pooled OLS”, bajo dos supuesto:

1. Restricción en los parámetros individuales, existe una constante común:

$$\pi_1 = \dots = \pi_i = \dots = \pi$$

2. Efecto común de las variables exógenas: $\theta_1 = \dots = \theta_i = \dots = \theta$.

El modelo se especifica de la siguiente forma:

$$M_{i,t} = \pi + \theta C_{i,t} + u_{i,t} \quad (1)$$

Variable dependiente ($M_{i,t}$), Variable independiente ($C_{i,t}$), Constantes individuales (π), (θ_i) Parámetros de relación entre $M_{i,t} \wedge C_{i,t}$, ($i = 1,2, \dots, n$) Número de integrantes o individuos de estudios y ($t = 1,2, \dots, j$) Periodos de tiempo.

El modelo es adecuado si las variables independientes no están correlacionadas con los errores ($Cov = u_{i,t} \wedge C_{i,t} = 0$), el método “pooled OLS” crea en una estimación eficiente, $n \wedge t$ son suficientes para ofrecer consistencia.

Si existe correlación, $Cov = u_{i,t}$, pero $C_{i,t} \neq 0$, la estimación con el modelo “pooled OLS” es inconsistente. La regresión esta sesgada a causa de un error en la especificación debido a la omisión de alguna variable o la causalidad no observada de los individuos.

Si se rechazara la hipótesis de homogeneidad³³, el modelo no es apto y debe ocuparse alguna transformación para evitar el problema de sesgo. Implica reconocer que las variables omitidas generan cambios a través del tiempo o las variables que se están utilizando. Usar una transformación independiente del caso que se trate puede encargarse del problema de no homogeneidad, si no funciona pueden implementarse variables artificiales para que capten la influencia de variables omitidas, si el problema persiste con el modelo después de los cambios anteriores, lo más viable es cambiar de modelo, (Hsiao, 2014), (Baltagi, 2005), (Arellano & Bover, 1990).

3.1.2 Modelo de Efectos Fijos

Para aplicar el modelo se elimina la restricción de una constante común:

$$\pi_1 = \dots = \pi_i = \dots = \pi.$$

En el modelo existen dos supuestos:

1. Los efectos individuales son independientes. El modelo explica la relación, considerando la existencia de un término constante y diferente para cada individuo.
2. El error $u_{i,t}$ se descompone en dos partes una fija (constante para cada individuo (u_i)) y la otra aleatoria ($u_{i,t}$), permite obtener una tendencia general por cada regresión y un punto de origen único.

El modelo analiza las características de los datos utilizados, en específico mide el grado de asociación de las diferencias entre los elementos de la variable independiente respecto a sus valores promedio en el tiempo y las diferencias entre los elementos de la variable dependiente desde su valor promedio en el tiempo.

Para la construcción del modelo se parte de la ecuación (1):

$$M_{i,t} = \pi_i + \theta_i C_{i,t} + u_{i,t}$$

Se obtiene su valor promedio en el tiempo: $\bar{M}_i = \pi + \theta \bar{C}_i + \bar{u}_i$

³³ No existe homogeneidad observable en el tiempo o entre las variables. Por tanto, el modelo de efectos fijos que supone efectos constantes no es el indicado, (Hsiao, 2014).

Ahora al modelo (1) de efectos comunes se le resta su Media.

$$M_{i,t} - \bar{M}_i = \pi_i + \theta_i(C_{i,t} - \bar{C}_i) + (u_{i,t} - \bar{u}_i)$$

Con ello se construye el modelo de efectos fijos, para ser aplicado mediante un estimador “within”. Al explicar los datos, el método tiene en cuenta la existencia de un término constante diferente para cada individuo y la independencia de los efectos.

El estimador “within” supone que cada variable independiente tiene un único e igual impacto sobre la variable dependiente, diferente únicamente entre cada sujeto, (Croissant & Millo, 2016), (Hsiao, 2014), (Baltagi, 2005).

3.1.3 Modelo de Efectos Aleatorios

El modelo a diferencia del de efectos fijos supone que los efectos individuales no son independientes unos de otros y siguen una distribución aleatoria cerca de un valor. El efecto aleatorio es una perturbación sobre las variables dependientes, de factores que no han sido incluidos de manera explícita en el modelo.

El modelo mantiene dos supuestos:

1. Existe un parámetro fijo individual con distribución de media cero y desviación estándar constante, $\pi_i \sim [\pi, \sigma_\pi^2]$.
2. Los errores son normalmente distribuidos, $u_{i,t} \sim [0, \sigma_u^2]$.

Los supuestos permiten crear un efecto en dos partes: una fija (constante para cada individuo (u_i)) y la otra aleatoria ($u_{i,t}$) por individuo, de ahí el nombre de efecto aleatorio y modelo de efectos aleatorios, dependiendo del comportamiento de los objetos se genera un efecto aleatorio individual.

Los supuestos tradicionales de un estimador consistente no necesariamente se deben cumplir, hacer uso de Mínimos Cuadrados Ordinarios no es confiable. Para Modelos de Efectos Aleatorios en Datos de Panel el método de Mínimos Cuadrados Generalizado (feasible GLS estimator) es consistente.

El modelo de efectos aleatorios a estimar es el siguiente:

$$M_{i,t} - \hat{\tau}\bar{M}_i = (1 - \hat{\tau})\pi_i + \theta_i(C_{i,t} - \hat{\tau}\bar{C}_i) + \varepsilon_{i,t}$$

Donde $\varepsilon_{i,t} = (1 - \hat{\tau})\pi_i + (u_{i,t} - \hat{\tau}\bar{u}_i)$, es independiente idénticamente distribuida (iid) asintóticamente y $\hat{\tau} = 1 - \frac{\sigma_\varepsilon}{\sqrt{\sigma_\varepsilon^2 + j\sigma_\pi^2}}$. Si $\hat{\tau} = 0$ corresponde a un modelo estimado a través de “pooled OLS” y si $\hat{\tau} = 1$ entonces pertenece a un modelo estimado por el método “random o feasible GLS estimator”.

$u_{i,t}$: es una variable aleatoria, no existe un valor exacto del punto de partida respecto de cada individuo. Suponemos que existe una infinidad de factores que afectan el valor de la variable dependiente que no han sido incluidas y son capturadas por los efectos aleatorios. El modelo aleatorio en comparación con los otros modelos es superior en precisión cuando se trata de calcular el valor de los parámetros por analiza, (Croissant & Millo, 2016), (Croissant et al., 2016), (Hsiao, 2014), (Baltagi, 2005).

3.2 Elección de Modelo

Elegir entre los modelos clásicos de Datos de Panel, depende del interés sobre el análisis que se desea realizar. Al iniciar un análisis con una muestra aleatoria, la especificación aleatoria se ajustará al comportamiento de las variables, la especificación fija es inconsistente para muestras aleatorias. Si el interés del análisis está en los coeficientes y los efectos de variables no observables el modelo aleatorio es el indicado, permite hacer inferencias marginales con la muestra. Las siguientes pruebas confirman cuál es el método que mejor se ajusta a las características de las variables, para generar un análisis consistente con la información disponible.

3.2.1 Prueba Poolability o “Poolability Test”

El primer procedimiento en la elección del modelo es la “prueba pool”, compara la estimación del método “pooled OLS” y la estimación del método “within”, permite encontrar cuál de los dos métodos es el más eficiente, para explicar el comportamiento

de las variables. Elegir entre los modelos depende de rechazar o no la hipótesis que ejerce restricciones en los parámetros de cada uno de los modelos:

$$H_0 = \text{todo } \pi_i = 0$$

$$H_1 = \pi_1 \neq 0 = \dots = \pi_i \neq 0$$

Prueba “pooltest” supone que los mismos coeficientes se aplican a cada individuo, es una prueba estándar de F^{34} . Si el mejor estimador es el método “pooled OLS” ya no es necesario aplicar las demás pruebas, por el contrario, si el estimador eficiente resulto del modelo de efectos fijos, se implementa la prueba que a continuación se describe.

3.2.2 Prueba Hausman o “Test Hausman”

La prueba compara al modelo estimado por “within” y al modelo estimado por “feasible GLS”, la prueba Hausman estadísticamente elige el modelo que mejor se ajusta a las características de los datos, para ello utilizando la prueba de Chi-cuadrada³⁵, en su hipótesis cuestiona:

¿cuál de los dos modelos explica mejor la relación entre la variable dependiente y las variables explicativas?:

$$H_0 = \text{Mdo. de Efectos Aleatorios es mejor estimador que el Mdo. de Efectos Fijos}$$

$$H_1 = \text{Mdo. de Efectos Fijos es mejor estimador que el Mdo. de Efectos Aleatorios}$$

No rechazar o rechazar las hipótesis es el mecanismo para elegir cuál de los dos métodos es consistente con los datos disponibles y proseguir con el análisis. Si rechaza la hipótesis al 95% de confianza el mejor estimador es el modelo de efectos fijos. no

³⁴ Criterio prueba F: Si la F calculada es mayor que la F crítica, se Rechaza H_0 . Por tanto, no existe una constante (π) común en los parámetros (θ), modelo tipo “pool” es inadecuado para explicar, el comportamiento de las variables, se tienen que implementar modelos alternativos (modelos de efectos fijos o efectos aleatorios), véase (Croissant & Millo, 2016), (Gujarati & Porter, 2010).

³⁵ Criterio de la prueba χ^2 : Si el valor de p es menor a 0.05 se rechaza la hipótesis nula al 95% de confianza. Por lo tanto, el modelo eficiente es el de efectos fijos. Si el valor de p es mayor a 0.05 no se debe rechazar la hipótesis nula, el estimador eficiente es el modelo de efectos aleatorios con el 95% de confianza, véase (Gujarati & Porter, 2010).

rechazar la prueba manifiesta que el modelo eficiente es el de efectos aleatorios al 95% de confianza.

Las variables por analizar no están completas, es decir. algunas presentan datos no disponibles, se necesita hacer uso de algún método para obtener los datos faltantes y que estos sean estadísticamente eficientes para no tener problemas con la regresión y análisis de los datos. La información no disponibles presentes en las variables, afectan las estimaciones generadas por los modelos de datos de panel, hacer uso de variables artificiales no es la solución, ya que aun con esta especificación existe la perdida de grados de libertad, (Croissant & Millo, 2016), (Hsiao, 2014) (Baltagi, 2005).

3.3 Imputación

La imputación³⁶, es un mecanismo que ayuda a crear los valores perdidos con seguridad estadística, el modelo elegido debe explicar el proceso que genero los datos faltantes, mantener la relación entre los datos y la incertidumbre de las relaciones, esto proporcionara imputaciones adecuadas dando lugar a inferencias estadísticas válidas, (Muñoz & Álvarez, 2009).

La imputación consiste en completar bases de datos, haciendo uso de algunos supuestos sobre las características de los datos no disponibles, para emplear valores faltantes tan similares como sea posible a los extraviados. Imputar datos genera información auxiliar útil para implementar métodos de análisis estadísticos generales con datos completos, (Medina & Galván, 2007).

En investigaciones empíricas comúnmente se encuentran bases incompletas de datos, es decir, variables con datos no disponibles (NA³⁷), ello limita la confianza en el uso de técnicas clásicas de análisis estadístico. En estudios relacionados con indicadores de cambio climático, es frecuente encontrar bases de datos incompletas, crea dificultades sobre la investigación y su manejo puede conducir a un análisis estadístico erróneo. El tratamiento de datos faltante implementa procesos de imputación simple y múltiple, para

³⁶ Técnica tradicional para el tratamiento de datos faltantes, véase (Muñoz & Álvarez, 2009).

³⁷ NA: Not Aviable (no disponible) se utiliza para identificar que existen datos no disponibles o faltantes, (Medina & Galván, 2007).

elegir el método de imputación que genere datos eficientes, dependientes del comportamiento registrado por las variables con datos faltantes y un análisis estadístico comparativo, (Honaker, King, & Blackwell, 2016), (Medina & Galván, 2007).

3.3.1 Imputación Simple

Las técnicas de imputación simples son sencillas de elaborar, se divide en Imputación Simple Aleatoria (ISA) e Imputación Simple Determinística (ISD). La ISA asegura volatilidad en cada imputación y la ISD subestima las varianzas de las variables con datos imputados sin embargo emite estadísticos más eficientes. Los métodos clásicos más usados, son el método Random Hot Deck (RHD) y el método Nearest Neighbor Imputation (NNI), son consistentes y reducen la ineficiencia de los datos generados.

3.3.1.1 Método NNI (Nearest Neighbor Imputation)

El método es conocido como “Método del vecino más cercano”, para generar el dato no disponible, toma el valor más cercano parecido al objeto faltante de una variable. Si existen varios datos similares se presenta el problema de múltiples donantes para un solo valor faltante, para resolverlo, el método toma de forma aleatoria un valor y lo sustituye en el objeto no disponible.

El método sustituye a cada valor faltante por el de un dato elegido (donante) a determinada distancia de una variable que cuenta con información completa. El valor que sustituye al faltante por este método se toma del donante con características similares al objeto que falta, ello contribuye a preservar la estructura de los datos. Los donantes son relevantes ya que ocurren realmente y no es construido a partir de información de datos no obtenidos directamente, (Muñoz & Álvarez, 2009), (Chen & Shao, 2000).

3.3.1.2 Método RHD (Random Hot Deck)

El método consiste en seleccionar una muestra aleatoria simple para encontrar los datos faltantes a partir de datos disponibles de la variable. Es apropiado cuando la muestra es extraída mediante muestreo aleatorio simple. Dependiendo de las características de la

muestra el método RHD puede ser modificado para que los valores faltantes seleccionados de manera aleatoria tengan en cuenta el efecto de las características de la muestra.

El proceso es una imputación no paramétrica que tiene el propósito de preservar la distribución de probabilidad de los datos faltantes. Los objetos para remplazar los datos no disponibles, provienen de una selección aleatoria de datos observados, no aporta al sesgo de la varianza.

Los valores que se imputaran se eligen bajo un algoritmo, selecciona aquellos de una variable completa e incompleta identificando las características comunes de los donantes y receptores. La selección de los datos que sustituirán a los datos faltantes se realizara de forma aleatoria, que evita sesgos sobre el estimador de la varianza. El procedimiento RHD es eficiente si se desea mantener la distribución de probabilidad de las variables a imputar, (Muñoz & Álvarez, 2009), (Medina & Galván, 2007).

La imputación simple es adecuada cuando los valores NA son pequeños, pero cuando estos crecen a más del 5% la estimación de los objetos pierde precisión. El problema con la imputación simple depende del algoritmo que se utilice, de los sesgos en los datos imputados debido al algoritmo y la negación de incertidumbre causada por los datos NA.

En respuesta a la perdida de consistencia y los problemas causados por la imputación de datos faltantes con el método de imputación simple Rubin en 1987 replanteo el análisis de datos no disponibles proponiendo la imputación múltiple que tiene presente la incertidumbre causada por los datos NA, (Hardt, Herke, Brian, & Laubach, 2013).

3.3.2 Imputación Múltiple

La imputación múltiple desde su aparición ha sido aplicada en áreas de salud, economía, finanzas, entre otras, porque existen conjuntos de variables con datos no disponibles. El proceso de imputación múltiple es útil para generar datos no disponibles y dar continuidad a proceso de análisis y pronóstico válido, no se concentra en obtener datos no sesgados

y con varianza mínima como se hace en la imputación simple. La imputación múltiple intenta reparar las desventajas que la simple manifiesta, (Rubin, 1987).

Los datos no disponibles son clasificados de 3 formas diferentes:

- MCAR (Missing Completely at Random). Pérdida de datos completamente aleatoria, la probabilidad de que exista un dato no disponible es para todos la misma y no depende de otras variables.
- MAR (Missing at Random). Los datos no disponibles son aleatorios. Por tanto, la probabilidad de la existencia de datos no disponibles depende de la información observada.
- MNAR (Missing Not at Random). Los datos no disponibles no son aleatorios, la probabilidad de que existan datos no disponibles depende de los datos no disponibles.

La imputación múltiple en sus inicios se basó en la simulación Montecarlo y cadenas de Markov, para generar datos faltantes con el algoritmo MICE³⁸, que hace posible el análisis con datos incompletos. A diferencia de la Imputación Simple, la Imputación Múltiple considera un intervalo de confianza, tiene en cuenta la presencia de datos faltantes (NA), que evita la pérdida de precisión en la estimación de los valores faltantes,(Royston & White, 2011).

Supuestos en la metodología de Imputación Múltiple:

- ❖ Los datos faltantes siguen un patrón aleatorio (la probabilidad de que una variable presente valores faltantes depende de otras variables, pero no de ella).
- ❖ El modelo estadístico utilizado para imputar los datos debe guardar relación con la variable a imputar y con el vector que genera los datos no disponibles.
- ❖ Es necesario que el modelo utilizado para el análisis de los datos guarde relación con el método aplicado de imputación.

³⁸ Imputación Múltiple mediante Ecuaciones Encadenadas (por sus siglas en inglés MICE)

Debido a que el proceso de imputación múltiple lleva a cabo varias imputaciones de los datos NA, se debe aplicar una metodología para combinar los datos imputados con los datos originales:

Primero: los valores no disponibles (NA) serán remplazados por un conjunto de valores ($m > 1$), generados por el método de simulación elegido, dando lugar a la creación de (m) matrices con los datos completos.

Segundo: a cada matriz generada por simulación se le debe aplicar un análisis, comparándolo con los datos reales para elegir el mejor representante de los datos imputados.

Tercero: combinar la serie de datos imputados y los datos originales para obtener una variable que pueda ser usada en la estimación de parámetros.

En un principio crear 10 objetos por variable con el método de imputación múltiple era recomendable, minimiza la incertidumbre al generar información no disponible. En la literatura actual el número óptimo de imputaciones oscila entre las 3 y 20, equivale a generar observaciones no disponibles respecto al 20% del tamaño de cada muestra, minimizando los errores generados a partir de los datos construidos, (Medina & Galván, 2007), (Hardt et al., 2003), (Rubin, 1987).

3.2.2.1 MICE (*Multiple Imputation by Chained Equations*)

El método de imputación a través de ecuaciones encadenadas, denominado “mice”, crea diversas imputaciones comparadas con una imputación que se toma como un valor medio para reducir la incertidumbre de los valores generados. La imputación que realiza el método se auxilia del Fully Conditionally Specification (FCS³⁹) en su algoritmo, cada variable cuenta con un modelo propio para crear datos no disponibles.

El método supone que los datos NA están distribuidos de forma aleatoria (MAR). La probabilidad de que exista un valor no disponible depende de los valores observados. Por tanto, el valor faltante se obtiene con los datos existentes.

³⁹ Condición de Especificación Total (por sus siglas en Inglés FCS): proceso por variable que genera imputaciones secuenciales a partir de la variable original con datos faltantes, véase (IBM, 2016)

En el método la regresión lineal es implementado para crear los valores de los datos NA e incluye una regresión logística para separar los datos imputados de forma categórica, hecho lo anterior las propiedades de los datos imputados solo difieren en su rango.

Los procesos más comunes para hacer imputación con este método son:

- ✓ PMM (Predictive Mean Matching⁴⁰) – para variables numéricas, con datos continuos.
- ✓ Logreg (Logistic Regression⁴¹) – utilizado cuando las variables son binarias (en dos niveles).

Características del método mice:

1. Imputa los datos de variable en variable
2. Es capaz de manejar diferentes tipos de variables
3. Puede realizar la imputación de las variables dentro de un subconjunto de datos.

Es un método de imputación considerado pasivo porque mantiene la consistencia entre las variables, (Van Buuren & Groothuis-Oudshoorn, 2016), (Royston & White, 2011).

⁴⁰ Predicción por Media Condicional (por sus siglas en Ingles PMM), el proceso se ajusta al método (NNI) para generar la imputación basado en la distancia esperada de las variables con datos no disponibles condicionado a las existentes, véase (Vink, Frank, Pannekoek, & van Buuren, 2014)

⁴¹ Regresión logística es un método para ajustar una curva de regresión, $y = f(x)$, cuando y es una variable categórica. La variable categórica y , en general pueden asumir valores diferentes. En el caso más simple y es binaria, significa que puede asumir el valor 1 o 0. Esta regresión es auxiliar para resolver modelos de forma lineal, para mayor detalle consulte (Michy, 2016).

3.2.2.2 AMELIA⁴²

El método fue creado para resolver problemas de valores no disponibles o faltantes. Recibe el nombre de Amelia porque la historia dice que ella mientras volaba sobre el océano pacífico en 1937 desapareció misteriosamente (se perdió).

Amelia es un paquete para realizar imputación múltiple, genera un conjunto de datos para cubrir los datos no disponibles, al llevar a cabo la imputación múltiple el método reduce la ineficiencia de los datos imputados. El proceso se basa en el algoritmo EMB⁴³ que hace la imputación rápida y eficiente de variables de corte transversal, datos de series de tiempo, etc.



Amelia hace uso de los supuestos de Imputación Múltiple más supuestos propios que mejoran la estimación de los datos generados, los supuestos son:

- Todos los datos de las variables tienen una distribución normal multivariada (MVN). Los datos se resumen a través de la media y la covarianza.
- La naturaleza de los datos faltantes es aleatoria.

El método toma m muestras bootstrap⁴⁴ y luego aplica el algoritmo EMB para cada muestra, la estimación individual tendrá media y varianza única diferente al de los demás. El primer conjunto de estimaciones se utiliza únicamente para imputar el primer conjunto de valores faltantes, el segundo sirve solamente para imputar el segundo conjunto y así

⁴² El método fue nombrado en honor a Amelia Earhart, la primera mujer piloto que cruzo el océano Atlántico, véase (bio., 2016).

⁴³ Algoritmo EMB, método que separa cada imputación en procesos paralelos. Se basa en el algoritmo EM, es un enfoque computacional para encontrar estimadores de máxima verosimilitud. El algoritmo EMB combina el “algoritmo EM” con el enfoque “bootstrap” para extraer valores faltantes de una variable con datos no disponibles. El método “bootstrap” con los datos disponibles simula certidumbre en la estimación, para que el “algoritmo EM” genera los datos faltantes con certidumbre, véase (Honaker, King, & Blackwell, 2016) y (Ayala & Melo, 2007).

⁴⁴ Logaritmo “Bootstrap” realiza simulaciones de muestreo orientados a proporcionar estimaciones empíricas sobre la distribución de una muestra, identifica el valor del sesgo y error de la muestra, proporcionar estimadores eficientes (bajo el proceso de imputación crea datos eficientes dentro de un rango flexible o fijo, ajusta los valores disponibles), véase (ETH zurich. Departament of Mathematics, 2016), (Davison & Hinkley, 1997).

sucesivamente hasta el último conjunto. El método implementa un algoritmo basado en bootstrap, se considera rápido en comparación con otros paquetes de imputación múltiple y al igual que otros métodos se caracteriza por manejar distintos tipos de variables para generar datos faltantes, (Honaker et al., 2016).

La imputación múltiple es un método flexible que brinda la oportunidad de trabajar datos cualitativos y cuantitativos, con diversas distribuciones. Los datos construidos por la imputación deben proporcionar variables eficientes para realizar un análisis estadístico válido, no solo obtener datos insesgados y con mínima varianza. El proceso se considera parte de la investigación, se utiliza con el propósito de hallar conclusiones que sean sustentadas por evidencia estadística sólida.

La metodología de Imputación Múltiple, ha sido ya transformada y es funcional en distintos paquetes econométricos para su implementación directa tales como SPSS, STATA, R, etc. Para aplicar los procesos de imputación y datos de panel se utilizará el programa R, posee una amplia gama de paquetes que tratan la información para analizarla y obtener resultados contundentes a partir de los datos generados.

3.3 Software R

R es una herramienta de programación y análisis estadístico. Es libre, orientado y utilizado en aplicaciones estadísticas, funciona en varias plataformas incluido Windows. Contiene paqueterías de análisis que se incrementan en cada periodo, con ellos se hace econometría aplicada, disponible en <http://www.r-project.org/>.



R es un software estadístico basado en el dialecto S y Scheme. Los creadores son Ross Ihaka y Robert Gentleman del departamento de Estadística de Auckland University, en Nueva Zelanda. Es un software gratuito, se distribuye libremente bajo los términos de Free Software Foundation's y GNU General Public License en forma de código fuente, gran número de personas pueden colaborar en su desarrollo y actualización. Es un proyecto abierto (se pueden modificar los códigos) y por colaboración (los usuarios

publican paquetes para toda la comunidad). La paquetería de **R** es posiblemente una de las más requeridas para hacer análisis estadístico, por ejemplo, en los campos de la investigación Financiera, Bioinformática y Economía.

Las librerías y sus paquetes son fáciles de descargar, hacen que el programa se pueda utilizar en diferentes ámbitos. El descargar una paquetería en específico incorpora todas sus propiedades al sistema, incluye manuales de uso e información.

The **R** Project for Statistical Computing disponible en <http://www.r-project.org/> es el lugar que contiene toda la información sobre **R**, paqueterías, manuales, actualización de datos, etc., CRAN (Comprehensive **R** Archive Network) es la página donde los usuarios y desarrolladores de **R** hacen públicos sus paquetes, ahí mismo se puede descargar **R** y los paquetes que se requieran. **R** tiene una amplia variedad de paquetes que contienen modelos estadísticos: incluyendo modelos lineales, no lineales; paquetes para hacer gráficas, contraste de hipótesis, análisis cualitativo, etc.

En el desarrollo de **R** se involucran científicos de primer nivel en estadística y computación. El impulso que ha recibido **R** debido a sus propiedades estadísticas ha permitido compartir los hallazgos y métodos para realizar operaciones con este programa, se difunden en: “The **R** Journal” revista que publica artículos destacados asociados con el uso de la programación en **R**, algunas de las novedades y artículos electrónicos se difunden en twitter mediante la etiqueta #rstats, o en la página r-bloggers. Para mejorar en el uso del software, existen conferencias académicas profesionales, algunas disponibles en “UseR!”, en materias relacionadas con economía y finanzas se encuentra **R/Finance** que reúne a expertos.

R permite no limitarse en procedimientos estadísticos, cuenta con alguna paquetería incluida y otras para descargar, por facilidad se puede descargar un paquete en específico que se ajuste al análisis que se desea realizar.

Para el análisis de Contaminación del Aire y Crecimiento Económico es adecuado el software **R**, cuenta con la paquetería necesaria para hacer la imputación de datos faltantes, debido a que las series de contaminación del aire solo están disponibles de 1990 a 2012, la imputación permitirá que las series muestren información de 1980 a 2012 con 32 observaciones cada una.

Realizar la imputación a través de los métodos simples requiere de la elaboración de una serie de condiciones que conformen un algoritmo específico para el método NNI y el método RHD. La aplicación de la imputación múltiple exige hacer uso de las paqueterías "mice" y "Amelia" junto a algunos comandos para obtener los datos faltantes. De estos procesos se elegirá aquel que proporcione la mejor imputación estadística. Para el proceso de análisis de datos de panel la paquetería a emplear es "plm", ejecuta el modelo de efectos comunes, el modelo de efectos fijos y el modelo de efectos aleatorios necesarios para elegir el modelo que mejor se ajuste a las variables y proporcione estimadores eficientes.

Capitulo IV Proceso de la curva ambiental de Kuznets aplicado a México

En el Capítulo I y II se ha analizado la literatura representativa sobre la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets, la evolución del Producto Interno Bruto y los Gases Contaminantes del aire en México. La información contribuye a describir cual es el comportamiento posible teóricamente que pueden seguir los contaminantes del aire respecto del comportamiento del PIB, en México durante el periodo 1980-2012.

La condición es hallar pruebas estadísticas del comportamiento que siguen los datos a tratar, para ello se empleara la especificación matemática cubica, siguiendo el tratamiento estadístico descrito en el Capítulo III, para corroborar, *¿cuál es el comportamiento que guardan los datos?*⁴⁵, si se asemeja al de una EKC podrá verificarse en qué punto se encuentra la contaminación del aire generada por el comportamiento del PIB en México.

Para llevar a cabo la especificación del modelo cubico se empleará el tratamiento de datos de panel, ello implica hacer para cada variable dependiente un modelo de efectos conjuntos, efectos fijos y efectos aleatorios, y elegir el modelo que mejor represente las características de las variables.

El modelo para llevar acabo la regresión es una transformación del modelo cubico propuesto por Grossman y Krueger (2015). El modelo original se toma debido a que en el análisis de Grossman y Krueger hacen mención de México, se argumentó que entraría en una fase de expansión económica que lo llevaría a incrementar las emisiones de gases contaminantes. El modelo queda representado de la siguiente forma:

$$GC_t = \alpha_t + \beta_1 y_t + \beta_2 y_t^2 + \beta_3 y_t^3 + \beta_4 D1 + \beta_5 D2 + e_t$$

Dónde: GC_t son los gases contaminantes del aire, y_t representa el crecimiento económico (PIB), t indica un momento en el tiempo, α es una constante (nivel promedio de presión ambiental, cuando el ingreso tiene baja influencia sobre la contaminación del aire), β_n representa la importancia relativa de las variables independientes, $D1$ y $D2$ representan la influencia de algunas variables no incluidas dentro del modelo y e es el término de error normalmente distribuido.

⁴⁵ La información de los códigos aplicados en **R**, necesarios para tratar la información de crecimiento económico y contaminación de aire en México se encuentra en el Anexo C.

El Punto de inflexión para la EKC será representado como se muestra en la siguiente ecuación, el cual debe cumplir las condiciones de un modelo cuadrático ($\beta_1 > 0, \beta_2 < 0$ y $\beta_3 = 0$):

$$\frac{\partial GC}{\partial y} = \beta_1 + 2\beta_2 y_t + 3\beta_3 y_t^2 (* \beta_3 = 0) = 0 \quad ==> \quad \beta_1 + 2\beta_2 y_t = 0$$

$$y = -\frac{\beta_1}{2\beta_2} = 0$$

Los valores de las variables a utilizar representaran su nivel per cápita, el punto de inflexión (y) indica el nivel de riqueza necesario para que las personas demanden: atención y cuidado de la calidad del aire, (Dinda, 2004), (Panayotou, 1997).

En teoría la contaminación del aire y el PIB muestran una relación en forma cóncava. La relación se presenta cuando una nación inicia el proceso hacia el desarrollo: En su fase inicial al adoptar tecnologías con limitada eficiencia, se provoca la expansión en producción de la contaminación debido al bajo nivel en materia de regulación ambiental, en ese momento se valora más el empleo y el ingreso que puede obtenerse al sacrificar la calidad del aire existente. En la segunda fase, el proceso de desarrollo unido al crecimiento del ingreso genera que los individuos tomen conciencia y valoren la calidad del aire, demandan normas y herramientas que al ser aplicadas controlan y contribuyen a reducir la contaminación del aire, (Grossman & Krueger, 2015).

4.1 Datos

Para verificar la hipótesis en México, el análisis emplea al PIB (US\$ a precios actuales) de 2016, PIB per cápita (US\$ a precios actuales) de 2016, Saldo en cuenta corriente (balanza de pagos, US\$ a precios actuales) de 2016, Inversión extranjera directa, entrada neta de capital (balanza de pagos, US\$ a precios actuales) de 2016, herramientas que cuantifican el comportamiento del Crecimiento Económico dada la expansión de la Inversión Extranjera Directa y las Exportación, por la adhesión al GATT y la firma del TLCAN que han influido en el nivel de renta (PIB per cápita) de la población, la información se recolecto de la base de datos del Banco Mundial (BM): <http://datos.bancomundial.org/pais/mexico>.

Con datos de la página anterior se construyen dos variables artificiales:

La primera emplea los datos de la serie <Saldo en cuenta corriente (balanza de pagos, US\$ a precios actuales)>, toma de ella aquellos periodos donde existe déficit y los representa con el número 1, en los casos de superávit los identifica con el número 0. Las combinaciones de los valores anteriores en una serie temporal crean la variable “D1”.

Para producir la segunda variable artificial se utiliza la variable <Inversión Extranjera Directa, entrada neta de capital (balanza de pagos, US\$ a precios actuales)>, de ella se obtiene el promedio. Los valores de aquellos periodos que sean superiores a la media son representados con el número 1, los valores que estén por debajo de la media se identificaran con el número 0. La combinación de estos valores genera la variable en forma de serie de tiempo “D2”.

Las dos variables artificiales se implementarán como variables independientes, representan parte de la evolución del PIB que se ha registrado de 1980 a 2012⁴⁶.

Como indicadores de la contaminación del aire⁴⁷ se emplea ,Total Dióxido de Carbono “ CO_2 ” (including Land-Use Change and Forestry) (MtCO₂), incluye el cambio en el uso del suelo y silvicultura, medida en Millones de toneladas producidos anualmente, Total Metano “ CH_4 ” (including Land-Use Change and Forestry) (MtCO₂e), Total Óxido Nitroso “ N_2O ” (including Land-Use Change and Forestry) (MtCO₂e), los dos gases incluyen el cambio en el uso del suelo y la silvicultura, medidos en Millones de toneladas equivalentes de CO_2 producidas anualmente. Sus valores per cápita incluye el cambio en el uso del suelo y silvicultura, medido en toneladas y toneladas equivalentes de CO_2 producidas anualmente. La información se extrajo del Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) versión 2.0. (Washington, DC: World Resources Institute, 2016): <http://cait.wri.org>

Se utiliza a las variables *PIB per cápita*, *CO₂ per cápita*, *CH₄ per cápita*, *N₂O per cápita*, *D1* y *D2* por fines prácticos, otros datos que se relacionan con el deterioro de la calidad del aire no son abundantes, resulta ser una limitante en la investigación.

⁴⁶ La información del PIB per cápita se encuentran en el Anexo B.3, los datos del Saldo en cuenta corriente y la Inversión Extranjera Directa para la construcción de las variables artificiales se encuentran en el Anexo B.1. Las variables artificiales creadas se encuentran en el Anexo B.4.

⁴⁷ La información de los contaminantes del aire se encuentra en el Anexo B.2, sus valores a nivel per cápita se encuentra en el Anexo B.4.

Se usa al *PIB per cápita* como la variable independiente, bajo supuesto capta la influencia de la política económica (la entrada en vigor del GATT y TLCAN), se complementa con las variables *D1* y *D2* que describen el comportamiento de la cuenta de capitales y el de la cuenta corriente. El crecimiento económico por el impulso de las exportaciones e importaciones afecta el comportamiento del PIB, altera la cantidad de contaminantes generados que contribuyen al deterioran la calidad del aire.

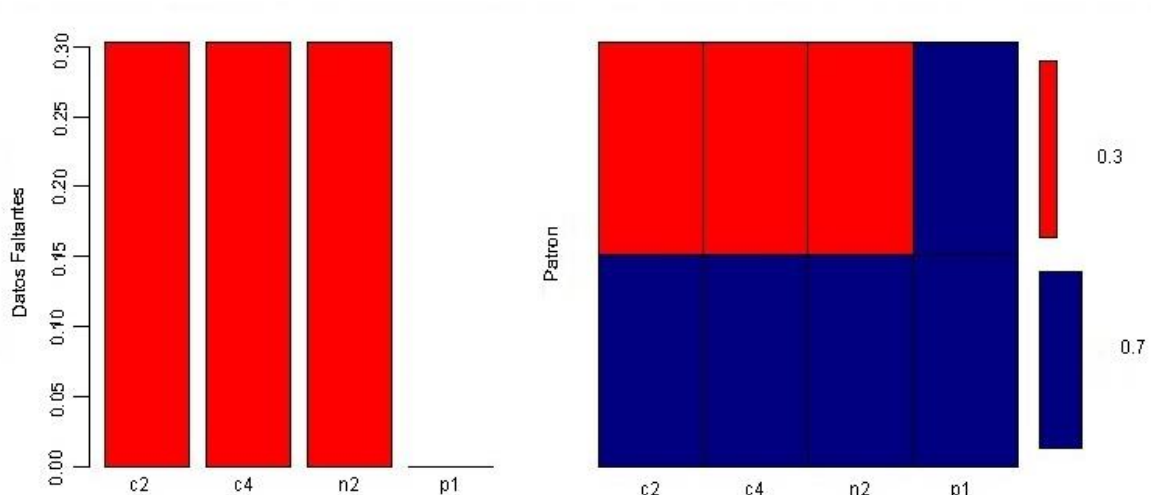
Las variables dependientes son gases contaminantes del aire: *CO₂ per cápita*, *CH₄ per cápita*, *N₂O per cápita*, se llevará a cabo una regresión por separado que permitirá detectar el comportamiento de cada contaminante ante las variaciones en el *PIB per cápita*.

Debido a que los gases contaminantes del aire no cuentan con datos que cubran el periodo de 1980 a 2012. Los datos no disponibles serán generados por distintos métodos de imputación, elegir alguno de los métodos debe completar la serie, mantener sus propiedades y generar congruencia sobre los modelos aplicados para análisis de datos.

4.2 Proceso de Imputación de Datos Faltantes.

El análisis inicia en 1980 y termina 2012, el periodo representa un problema para las variables de contaminación del aire porque no tienen todas las observaciones, los datos están disponibles de 1990 a 2012. Para resolver el inconveniente los objetos faltantes se obtendrán con la implementación de métodos de imputación. La siguiente Figura muestra los datos existentes y los datos no disponibles.

Figura 12. Variables a imputar, datos no disponibles y existentes



Fuente: Elaboración propia con datos de BM y CAIT, información disponible en el Anexo B.3.

Las barras de color rojo representan a los datos no disponibles, son 30% del total de las observaciones. Proporcionalmente existe mayor presencia de datos disponibles identificados por las barras azules, en este caso solo existe una variable completa “p1” que simboliza al PIB per cápita.

Las variables para el proceso de imputación se especifican de la siguiente forma:

- p1=PIBpc-PIB per cápita (US\$ a precios actuales)
- c2=co2-Total CO2 (including Land-Use Change and Forestry) Per Capita (tCO2 Per Capita)
- c4=ch4-Total CH4 (including Land-Use Change and Forestry) Per Capita (tCO2e⁴⁸ Per Capita)
- n2=n2o-Total N2O (including Land-Use Change and Forestry) Per Capita (tCO2e Per Capita)

En la Figura 12, las variables con datos faltantes son c2, c4, n2, serán sometidas a 4 procesos de imputación. Se tiene a p1 como variable ancla para guiar el comportamiento de las variables a imputar y que guarden su regularidad observada de forma individual. De lado derecho de la Figura12, se observa una barra roja con el número 0.3 que representa la probabilidad que se usara para imputar datos a través del proceso de

⁴⁸ tCO2e =toneladas de dióxido de carbono equivalentes.

imputación múltiple. La probabilidad utilizada para llevar a cabo la imputación simple depende de los datos faltantes y del número de variables amputar, la probabilidad es 0.33 o 1/33.

El proceso para encontrar valores que sustituyan a los datos no disponibles inicia con, los dos métodos de imputación simple y termina en con los dos métodos de imputación múltiple, al aplicar los métodos de imputación se obtuvieron las variables observadas en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Variables construidas por los métodos de imputación

Variables con NA	Imputación Simple		Imputación Múltiple	
	NNI	RHD	mice	Amelia
c2	c2n	c2r	c2m	c2a
c4	c4n	c4r	c4m	c4a
n2	n2n	n2r	n2m	n2a

Fuente: Elaboración propia.

Por cada variable con datos no disponibles se ha generado una variable con datos completos construida por cada método de los métodos imputación propuestos. Para elegir aquella imputación que representa eficientemente a la variable con datos faltantes se procede con el análisis gráfico y el análisis de propiedades estadísticas.

4.2.1 Elección de Variables Completas construidas por Métodos de Imputación.

El proceso de elección del método de imputación es de vital importancia, los métodos de imputación pueden ser ilusorios, porque proporcionan aproximaciones estadísticamente similares a los valores verdaderos, para solucionar este inconveniente se analizará el comportamiento de las variables originales, las variables construidas y la variable ancla⁴⁹.

A través de la implementación de una comparación gráfica y un análisis estadístico, del comportamiento de los datos y la congruencia de los datos imputados

⁴⁹ La elección se complementa de información auxiliar de acuerdo al análisis a realizar para mejorar la selección del método de imputación, que genere variables con datos completos eficientes, véase (Rubin, 1987).

respecto a los objetos de la variable con datos no disponibles, se elegirán aquel método que mantiene la estructura de los datos y de continuidad al orden de las variables con datos no disponibles, acercándose al comportamiento posiblemente registrado. La idea es encontrar un método único de imputación, para evitar problemas con la compatibilidad de los datos generados.

4.2.1.1 Comparación grafica⁵⁰

De la comparación se descarta el uso de las variables obtenidas por los métodos de imputación simple.

Las variables imputadas por el método NNI se desechan porque al ser los datos no disponibles continuos, el método tomo el vecino más cercano y después de la primera imputación, el valor generado se mantiene de forma constante hasta que se realizan las 10 imputaciones de cada variable en forma secuencial.

Las variables imputadas con el método RHD no serán útiles debido a que muestran un comportamiento distinto al que presentan sus datos existentes. Por este método las expansiones y contracciones de los valores imputados de 1980 a 1990 no siguen un comportamiento estable, se debe a su forma aleatoria.

Los datos generados con los métodos de imputación múltiple son más aceptables y congruentes con el comportamiento de la variable con datos faltantes y la variable ancla de 1980 a 2012, ello dificulta la elección entre ambos procesos, para seleccionar la variable imputada más eficiente se procede con el análisis estadístico.

4.2.1.2 Análisis estadístico⁵¹

El proceso para descartar variables construidas compara el valor del mínimo, el primer cuartil, la mediana, la media, el tercer cuartil y el máximo de la variable original con los valores de las variables imputadas.

⁵⁰ El análisis grafico de cada variable imputada se encuentra en el Anexo D.1.

⁵¹ El análisis estadístico de las variables que pasaron el análisis gráfico, se encuentra disponible en el Anexo D.2.

Para elegir la variable completa construida con los métodos de imputación múltiple más eficiente, se elige aquella que menos desvíos mantenga de la variable con datos no disponibles de la que fue generada.

Para la variable Dióxido de Carbono la mejor imputación se encuentra en la variable “c2m”, se extrajo del método de imputación múltiple “mice”. La representante de la variable Metano eficiente, es la que ofrece el método “mice” identificada por el nombre “c4m”. La variable “n2m” adecuada para ser empleada en lugar de la origina de Óxido Nitroso, se generó por el método de imputación múltiple “mice”. Por lo tanto, el mejor método para obtener los valores de las variables con datos faltantes ha sido el método de Imputación Múltiple denominado “mice”.

Las variables después de la imputación por el método “mice” presentan información completa, inicia en 1980 y termina en 2012, cada serie de tiempo tiene 32 observaciones. Las variables imputadas⁵² son:

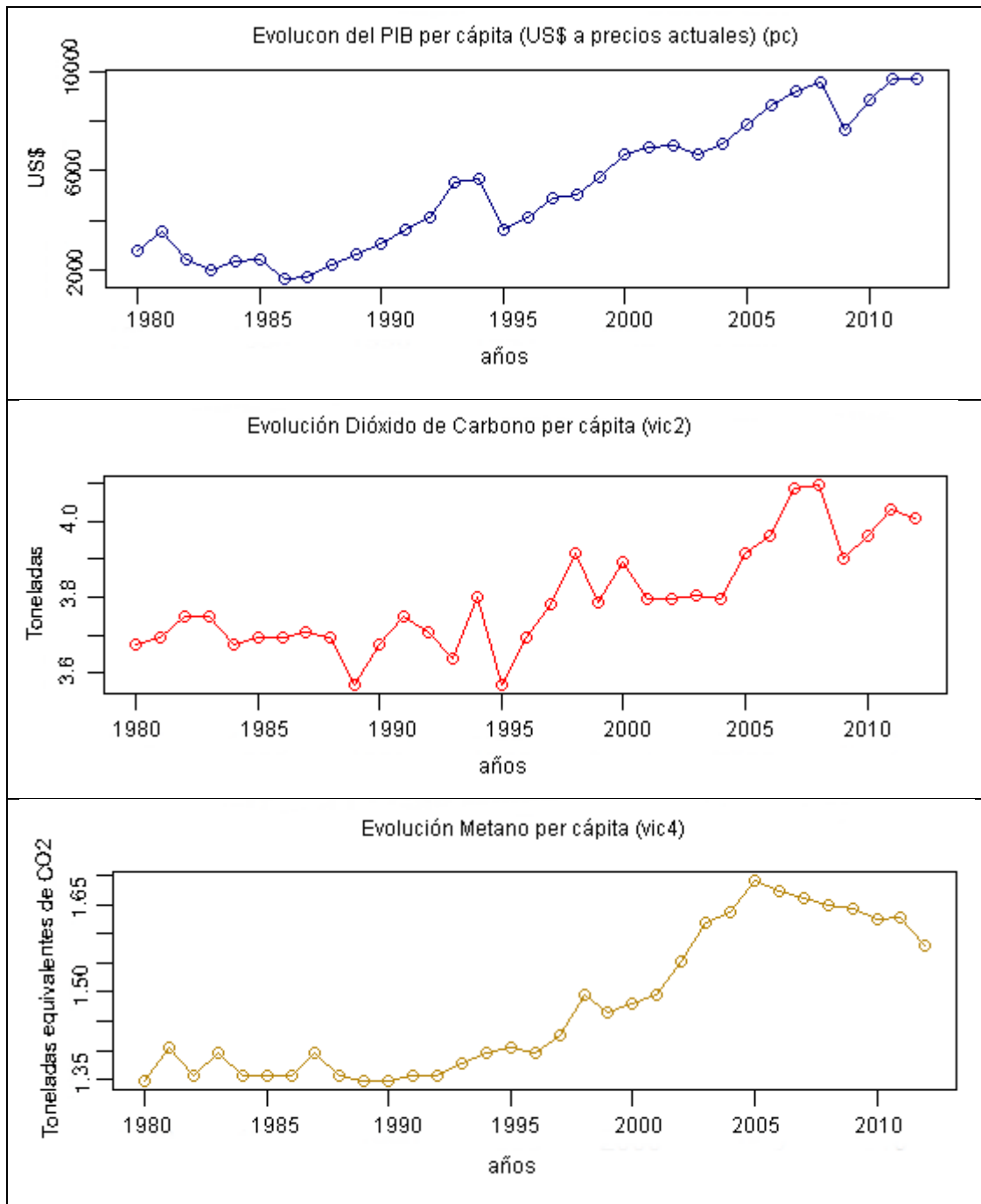
- vic2=Variable Imputada co2-Total CO2 (including Land-Use Change and Forestry) Per Capita (t⁵³CO2 Per Capita)
- vic4= Variable Imputada ch4-Total CH4 (including Land-Use Change and Forestry) Per Capita (tCO2e Per Capita)
- vin2= Variable Imputada n2o-Total N2O (including Land-Use Change and Forestry) Per Capita (tCO2e Per Capita)
- Se mantienen los valores de la variable p1, ahora cambia “p1” por “pc” = PIBpc - PIB per cápita (US\$ a precios actuales)

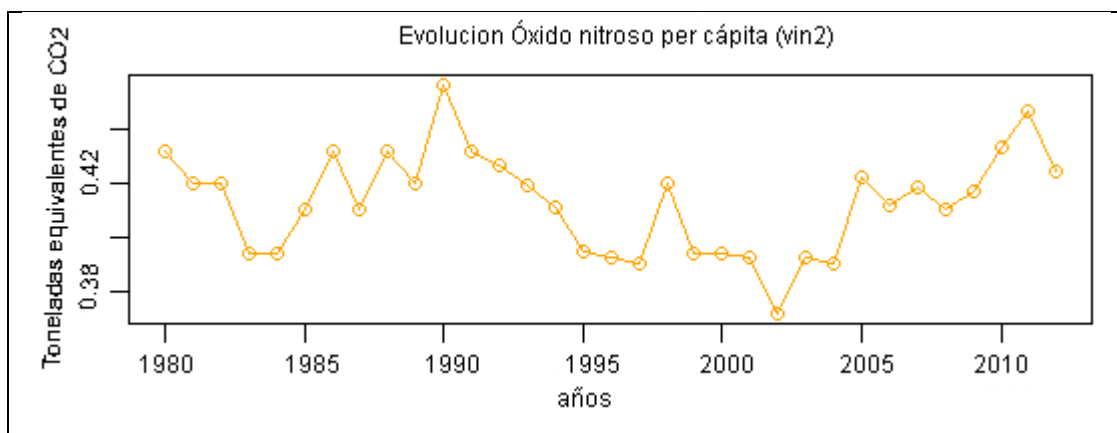
Las variables imputadas se someterán a varias pruebas para determinar si el comportamiento que siguen es estacionario. Si resultan ser no estacionario durante el periodo de análisis solo servirán para estudiar su comportamiento en cada periodo y no será posible generalizar para todos los periodos, siempre y cuando estas series no resulten ser cointegradas. El comportamiento que siguen las variables de estudio de 1980 a 2012 se muestra en la siguiente Figura.

⁵² La información de las variables imputadas se encuentra disponibles en Anexo B.4, e incluye las variables artificiales.

⁵³ Toneladas (t)

Figura 13. Trayectoria de las variables por analizar





Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento de las variables de PIB y Metano a nivel per cápita respectivamente, manifiestan tendencia creciente y relativa estabilidad durante todo el periodo. A diferencia del comportamiento ascendente de 1980 a 2005 del Metano y su contracción de 2006 a 2012, la trayectoria del PIB ha sido obstaculizada por los periodos de crisis, pero se mantiene en ascenso.

Las variables Dióxido de Carbono per cápita y Óxido Nitroso per cápita, mantienen un comportamiento irregular respecto al periodo de estudio. La trayectoria del Dióxido de Carbono es ascendente, disminuye su intensidad en cada periodo de crisis, existente de 1980 a 2012. Del comportamiento de las cuatro series⁵⁴, la trayectoria del Óxido Nitroso en su mayoría es aleatoria, durante los periodos de crisis ocurridos a lo largo del periodo ha minimizado su intensidad.

En general las variables representadas en la Figura 13 muestran un comportamiento relativamente estable que afecta la media, varianza y covarianza a nivel individual de tal forma que las series no se distribuyen normalmente a lo largo del tiempo. Por lo tanto, las series pueden ser no son estacionarias. Para comprobar este posible resultado a continuación se aplicarán pruebas formales de estacionalidad.

⁵⁴ Los valores de las series que se muestran en la Figura 13, están disponibles en el Anexo B.4.

4.3 Pruebas de Estacionalidad.

Para comprobar que las series son o no estacionarias se implementara, la Función de Autocorrelacion (FA), la Función de Autocorrelacion Parcial (FAP)⁵⁵, para verificar cual es el comportamiento que siguen las series de forma individual respecto a diferentes rezagos y la prueba Dickey-Fuller Aumentada⁵⁶ (DFA) que analiza si las variables presentan el problema de raíz unitaria para confirmar la estacionalidad o rechazarla.

El comportamiento de las series “pc” “vic2” “vic4” “vin2” sin ninguna transformación analizadas con la Función de Autocorrelación y la Función de Autocorrelacion Parcial muestran que las series no son estacionarias. La prueba Dickey-Fuller Aumentada señala que las series presentan el problema de raíz unitaria. Por lo tanto, a nivel per cápita no son estacionarias.

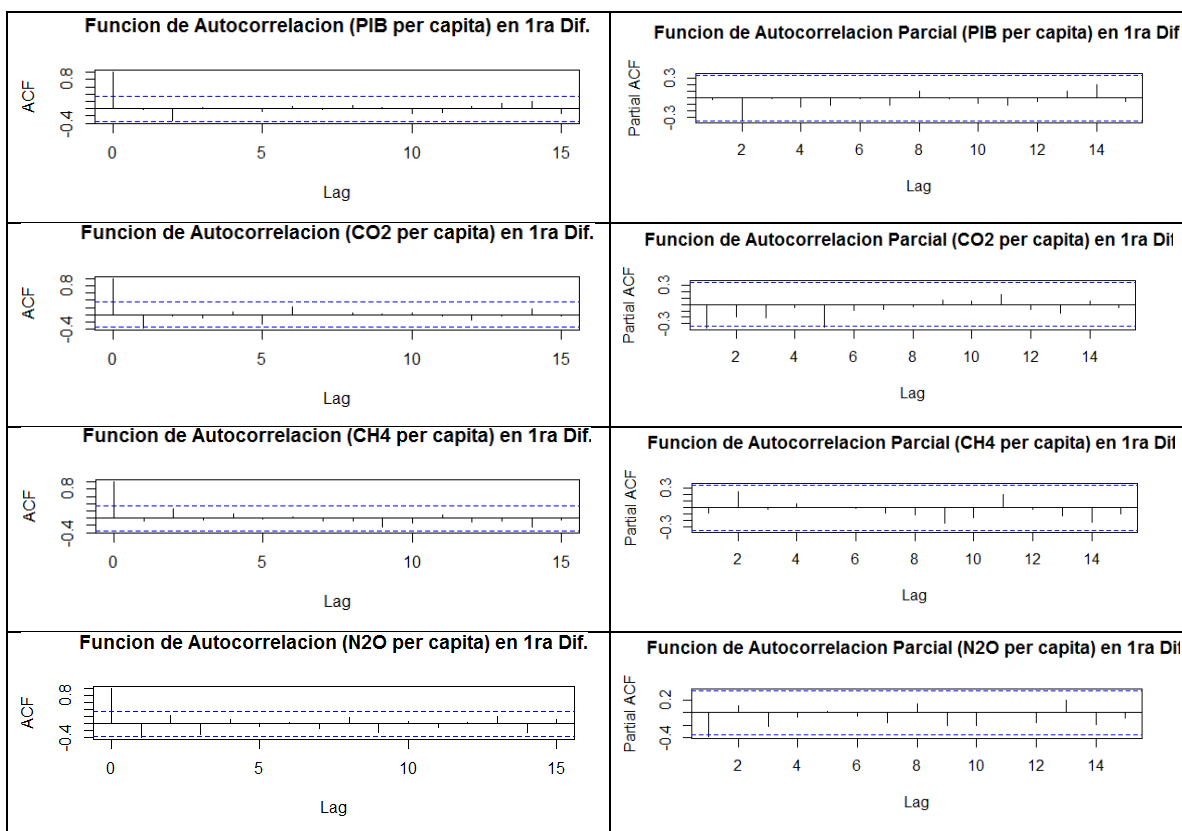
Debido a la presencia de no estacionalidad en las variables, se trasformarán para generar nuevas series representadas en logaritmos, sin tendencia, en primera y segunda diferencia con el objetivo de volverlas estacionarias. A las series creadas se les aplicaran las pruebas antes descritas para detectar cuál es estacionaria y funcional para ser sometida al análisis de datos de panel.

El resultado que se obtuvo descarta el uso las variables generadas excepto las series en primera diferencia, debido a que las series no se volvieron estacionarias. La evidencia de la estacionalidad de las series en primera diferencia se presenta a continuación.

⁵⁵ Para determinar que una serie es estacionaria las pruebas FA y FAP muestran el comportamiento de la serie en sus diferentes rezagos. Si en los rezagos los valores de la serie no se encuentran por debajo de las bandas que son cercanas a cero, la serie será no estacionaria, si los valores de las series son estacionarios, la información es adecuada para análisis y pronostico, (Gujarati & Porter, 2010, págs. 749-754).

⁵⁶ DFA es una prueba de raíz unitaria, si existe el problema de raíz unitaria la serie será no estacionaria, véase (Gujarati & Porter, 2010, págs. 754-758).

Figura 14. Funciones de autocorrelacion y autocorrelacion parcial



Fuente: Elaboración propia⁵⁷.

En la Figura 14, las series han sido correlacionadas con sus respectivos rezagos, en cada caso el valor respecto a sus rezagos oscilando alrededor del cero, dentro de las bandas de color azul, excepto cuando no hay rezago todas sobre pasan el límite de las bandas en la Función de Autocorrelacion, sin en cambio cuando se trata con la Función de Autocorrelacion Parcial mejora relativa mente la evidencia de estacionalidad frente a los rezagos. Por lo tanto, las series en sus primeras diferencias relacionadas con sus rezagos son estacionarias, son útiles para hacer estimaciones consistentes.

Para reafirmar el hallazgo anterior se presentan los resultados de las pruebas Dickey-Fuller Aumentada: sin tendencia y sin deriva, con deriva sin tendencia, y con tendencia sin deriva. La prueba hace uso de los estadísticos τ (tua) para contrastar la

⁵⁷ Los códigos de R para generar la FA y la FAP se encuentra en el Anexo C.

hipótesis⁵⁸, la longitud de los rezagos se basa en el criterio de información bayesiano (BIC). La información se aprecia en el Cuadro siguiente:

Cuadro 4. Prueba Aplicación Dickey-Fuller aumentada

Variables en 1ra Dif.	Sin deriva y sin tendencia.			Con deriva			Con Tendencia		
"pc"	Valor calculado:								
	-4.7518			-5.5158			-5.5195		
	Valores críticos al 99%, 95% y 90%.								
	-2.62	-1.95	-1.61	-3.58	-2.93	-2.60	-4.15	-3.50	-3.18
"vic2"	Valor calculado								
	-5.2087			-5.2684			-5.2907		
	Valores críticos al 99%, 95% y 90%.								
	-2.62	-1.95	-1.61	-3.58	-2.93	-2.60	-4.15	-3.50	-3.18
"vic4"	Valor calculado								
	-2.4559			-2.5523			-2.4001		
	Valores críticos al 99%, 95% y 90%.								
	-2.62	-1.95	-1.61	-3.58	-2.93	-2.60	-4.15	-3.50	-3.18
"vin2"	Valor calculado								
	-3.9223			-3.8558			-3.8308		
	Valores críticos al 99%, 95% y 90%								
	-2.62	-1.95	-1.61	-3.58	-2.93	-2.60	-4.15	-3.50	-3.18

Fuente: Elaboración propia.

Del cuadro anterior la prueba DFA concluye que las series son estacionarias, excepto por "vic4" que no paso en general la prueba DFA, la variable es el gas Metano

⁵⁸ $H_0: \delta = 0 \Rightarrow$ Existe una raíz unitaria. Por lo tanto, la serie es no estacionaria. $H_1: \delta < 0 \Rightarrow$ La serie no presenta el problema de una raíz unitaria. Por lo tanto, la serie es estacionaria. Se busca es rechazar la hipótesis nula para ello los valores críticos τ deben ser menores al valor calculado con la prueba DFA, véase (Gujarati & Porter, 2010, págs. 754-760).

per cápita. Solo se detecta que es estacionaria cuando la prueba se aplica sin deriva y sin tendencia, a un nivel de significancia de 95 y 90%.

Con el análisis de la Función de Autocorrelacion, la Función de Autocorrelacion Parcial y la prueba Dickey-Fuller Aumentada, las series en su primera diferencia son aptas para continuar con el análisis, no presentan el problema de no estacionalidad y de raíz unitaria. Por tanto, las series son estacionarias en primera diferencia.

Por problemas relacionados con la falta de información provenientes de los datos en su primera diferencia y su correlación, en el software **R**. La estimación se desecha porque subestiman el único modelo que es posible generar, creando inconsistencia ya que es imposible generar el análisis comparativo entre los modelos.

Debido a la falta de información para continuar con el análisis se aplicará sobre las variables imputadas a nivel per cápita la prueba de cointegracion Phillips-Ouliaris, si las series son integradas de orden (1), guardan relación estacionaria a lo largo del periodo de estudio.

Al aplicar la prueba Phillips-Ouliaris ⁵⁹sobre las viables, el p-valor ha sido mayor a 0.05 en todas las estimaciones generadas, existe cointegración entre las variables independientes y dependientes. La prueba se aplica sobre un subconjunto en específico, un hecho imprevisto al relacionar directamente las variables dependientes con sus respectivas variables independientes, confirma consistencia en las distintas regresiones independiente del método de estimación.

La prueba de cointegración confirma el uso de las variables originales por ser integradas de orden uno y mantener una relación estacionaria, ello hace posible aplicar el tratamiento de datos de panel para observar el comportamiento de las variables a lo largo del periodo de estudio.

⁵⁹ Información de la prueba de cointegración, se encuentra disponible en el Anexo E.

4.4 Aplicación de Modelos de Datos de Panel y Pruebas de Panel⁶⁰.

En esta sección se analiza el impacto que el Producto Interno Bruto per cápita ha tenido en los niveles de producción de gases contaminantes del aire durante los últimos 30 años.

A pesar de emplear procesos de datos de panel la mayoría de los parámetros estimados dado su respectivo modelo, se han generado a partir de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). El método MCO procesa los datos como un solo individuo y no en partes múltiples dada su forma clásica, debido a los métodos de datos de panel para tratar la información.

A continuación, se muestran los resultados de los modelos que mejor se ajustan a la regresión entre los diferentes gases contaminantes del aire, PIB per cápita y variables artificiales bajo el criterio de datos de panel. Los datos empleados son los originales o integrados de primer orden a nivel per cápita.

Las variables para proceder con el Análisis de Datos de Panel se identifican de la siguiente forma: (pcp) PIB per cápita, (c2p) Dióxido de Carbono per cápita, (c4p) Metano per cápita, (n2p) Óxido Nitroso per cápita, (d1p) variable artificial D1, (d2p) variable artificial D2. Con la información se estimaron los modelos de efectos conjuntos, efectos fijos y efectos aleatorios, para cada variable dependiente.

La creación de los distintos modelos es una condición necesaria para elegir, cuál de ellos es el que mejor se ajusta a las características de las variables y seleccionar una estimación eficiente apta para análisis.

4.4.1 Relación Dióxido de Carbono per cápita y PIB per cápita.

El modelo, que mejor representa la relación entre el Dióxido de Carbono y PIB a nivel per cápita, es el estimado por MCO, la información de la estimación se muestra a continuación:

⁶⁰ Las pruebas de panel: Poolability, Hausman, Multiplicador de Lagrange de Breusch-Pagan, Correlación Serial Breusch-Godfrey/Wooldridge y cointegración de Phillips-Ouliaris. Son el mecanismo para seleccionar de los 3 procesos creados el más eficiente, creando parámetros consistentes sobre la información disponible, véase (Croissant & Millo, 2016), (Croissant et al., 2016), (Wooldridge, 2010).

Figura 15. Modelo de efectos conjuntos “Oneway (individual)” (a)

```
Call:
plm(formula = c2p ~ pcp + pcp^2 + pcp^3 + d1p + d2p, data = VIDP,
     model = "pooling")

Unbalanced Panel: n=33, T=1-1, N=33

Residuals :
      Min. 1st Qu.  Median 3rd Qu.    Max.
-0.13100 -0.03770  0.00464  0.03520  0.11200

Coefficients :
              Estimate Std. Error t-value Pr(>|t|)
(Intercept)  3.6208e+00  3.9814e-02  90.9429 < 2.2e-16 ***
pcp          4.0408e-05  9.2655e-06   4.3611  0.000149 ***
d1p         -7.5554e-02  4.1563e-02  -1.8178  0.079436 .
d2p          5.6698e-02  4.6147e-02   1.2286  0.229085
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Total Sum of Squares:    0.62511
Residual Sum of Squares: 0.13939
R-Squared:               0.77701
Adj. R-Squared:          0.68283
F-statistic: 33.6836 on 3 and 29 DF, p-value: 1.3913e-09
```

La estimación de la relación entre emisiones anuales de Dióxido de Carbono per cápita y al PIB per cápita es positiva, a medida se expande el PIB, el Dióxido de Carbono se incrementa. Por tanto, la calidad del aire disminuye. No se observan efectos al cuadrado y al cubo de la variable PIB per cápita. La relación mantiene un comportamiento creciente y débil, según el modelo tipo “pool”, seleccionado debido a que paso las siguientes pruebas.

4.4.1.1 Prueba Poolability

La prueba permite elegir entre el modelo de efectos conjuntos y el modelo de efectos fijos, haciendo uso del estadístico y prueba F^{61} .

⁶¹La F crítica al 95% de confianza con 3 grados de libertad para el numerador y 29 grados de libertad para el denominador. No se tiene en el denominador, se toman los valores más cercanos de 28 y 30 grados

Figura 16. Contraste F-estadística, prueba poolability (a)

```
data: c2p ~ pcp + pcp^2 + pcp^3 + d1p + d2p
F = 2.3865, df1 = 21, df2 = 8, p-value = 0.1034
alternative hypothesis: unstability
```

La F calculada es menor a la F crítica. Por tanto, no se rechaza la Hipótesis nula, el modelo eficiente, es el modelo tipo “pool”. Para esta regresión ya no es necesario aplicar la prueba Hausman y la prueba Multiplicador de Lagrange de Breusch-Pagan.

El modelo de efectos conjuntos tipo “pool” representa eficientemente la asociación de las variables, existe una constante común π y un efecto común de las variables independientes

4.4.1.2 Prueba de Correlación Serial Breusch-Godfrey/Wooldridge

La última prueba para el modelo es la Prueba de Correlación Serial, utiliza al estadístico χ^2 (chi-cuadrada) en su prueba de hipótesis. Si el valor de p de χ^2 calculada, es mayor a 0.05 no se debe rechazar la hipótesis nula. Por tanto, los errores no presentaran correlación serial, al 95% de confianza.

Figura 17 Prueba de correlación serial Breusch-Godfrey/Wooldridge para modelos de panel (a)

```
data: c2p ~ pcp + pcp^2 + pcp^3 + d1p + d2p
chisq = 1.2357, df = 2, p-value = 0.5391
alternative hypothesis: serial correlation in idiosyncratic errors
```

El valor p de χ^2 es mayor a 0.05, no se rechaza la Hipótesis nula. Como es esperado los errores no presentan correlación serial, el modelo seleccionado proporciona estimadores eficientes.

de libertad, existentes en la tabla F: $F_{.05,3,28} = 2.95 \wedge F_{.05,3,30} = 2.92$, véase (Gujarati & Porter, 2010, pág. 884).

Dado el modelo tipo “pool”, el efecto del PIB per cápita es positivo y en aumento, el nivel al que crece el Dióxido de Carbono per cápita es 3.6208 toneladas al año. La fuerza de la asociación representada por el valor de R-cuadrada de 0.77701 y R-cuadrada ajustada de 0.68283 suficiente para observar que el comportamiento del Producto Interno Bruto per cápita explica relativamente la evolución del Dióxido de Carbono per cápita. Por lo tanto, en base a la información del modelo, por cada unidad que se incrementa el PIB per cápita el Dióxido de Carbono per cápita aumenta 3.620840408 unidades anualmente.

La evolución de la asociación conforme a lo previsto guarda relación con la cuenta corriente y la inversión extranjera directa, es posible generar estrategias que re-direccionen el estándar que se tiene sobre el consumo de bienes y servicios, los cuales se adquieren del exterior e influyen en la dinámica del crecimiento económico que da vida al PIB per cápita e influye en el comportamiento de la calidad del aire.

4.4.2. Relación Metano per cápita y PIB per cápita.

Figura 18. Modelo de efectos fijos “Oneway (tiempo)” (b)

```
Call:
plm(formula = c4p ~ pcp + pcp^2 + pcp^3 + d1p + d2p, data = VIDP,
     effect = "time", model = "within")
```

```
Unbalanced Panel: n=33, T=1-1, N=33
```

```
Residuals :
```

Min.	1st Qu.	Median	3rd Qu.	Max.
-0.0214	0.0000	0.0000	0.0000	0.0267

```
Coefficients :
```

	Estimate	Std. Error	t-value	Pr(> t)
pcp	3.1870e-06	5.7019e-06	0.5589	0.5915
d1p	-2.0484e-02	1.4496e-02	-1.4131	0.1953

```
Total Sum of Squares: 0.0035498
```

```
Residual Sum of Squares: 0.0028245
```

```
R-Squared: 0.20433
```

```
Adj. R-Squared: 0.049534
```

```
F-statistic: 1.0272 on 2 and 8 DF, p-value: 0.40081
```

La correlación entre emisiones anuales de Metano y PIB a niveles per cápita es positiva. El efecto de las variables independientes es cuestionable e inesperado. La asociación mantiene un grado relativo de confianza y no es claro que el incremento del PIB, genere efectivamente la expansión en la producción de gas Metano, que sin duda deteriorar la calidad del aire.

El modelo tipo “within” o modelo de efectos fijos de la Figura 18., se ha seleccionado porque las pruebas confirman que es el mejor para analizar el comportamiento de la relación. El modelo se sometió a las siguientes pruebas que confirman su confianza.

4.4.2.1 Prueba de Poolability

Figura 19. Contraste F-estadista, prueba poolability (b)

```
data: c4p ~ pcp + pcp^2 + pcp^3 + d1p + d2p
F = 8.3504, df1 = 21, df2 = 8, p-value = 0.0022
alternative hypothesis: unstability
```

La F calculada es mayor a la F crítica. Por tanto, se rechaza la Hipótesis nula. El modelo adecuado, no es el modelo de tipo “pool” y no existe una constante común π y un efecto común de las variables independientes. Como alternativa se pondrán a prueba los modelos de efectos fijos “within” y modelos de efectos aleatorios “random” (feasible GLS).

Para elegir el modelo que explique las características de la relación, se implementara la prueba Hausman.

4.4.2.2 Prueba Hausman

Compara al modelo de efectos aleatorios y el de efectos fijos, para seleccionar a uno de ellos a través del estadístico χ^2 (chi-cuadrada).

Figura 20 Contraste de la prueba Hausman con χ^2 (b)

```
data: c4p ~ pcp + pcp^2 + pcp^3 + d1p + d2p
chisq = 122.0061, df = 2, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: one model is inconsistent
```

En la Prueba Hausman, el valor p de χ^2 , mantiene dos opciones de selección, si el valor se encuentra por debajo de 0.05 el modelo seleccionado debe ser el de efectos fijos “within”, si sucede lo contrario y el valor se encuentra por arriba de 0.05 el modelo adecuado es el de efectos aleatorios.

El valor de p es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula al 95% de confianza. El modelo que explica de forma eficiente el comportamiento entre el Metano y el PIB a nivel per cápita es el de efectos fijos tipo “within”.

Para reafirmar el hallazgo de la prueba de Hausman, sobre el modelo seleccionado se aplica la prueba Multiplicadores de Lagrange de Breusch-Pagan⁶²(BP).

4.4.2.3 Prueba Multiplicador de Lagrange de Breusch-Pagan

Figura 21 Prueba Multiplicador de Lagrange de Breusch-Pagan “efecto tiempo”

(b)

```
data: c4p ~ pcp + pcp^2 + pcp^3 + d1p + d2p
chisq = 9303115, df = 1, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: significant effects
```

El valor p de χ^2 , debe ser mayor a 0.05 para no rechazar la existencia de efectos aleatorios no significantes dentro delo modelo. Si se rechaza la hipótesis de esta prueba no se puede cambiar de modelo dada la potencia de la prueba Hausman que confirma la eficiencia del modelo empleado, (Baltagi, 2005).

⁶²La prueba aplica las siguientes Hipótesis: H_0 : no hay efectos aleatorios significativos ($\sigma_u^2 = 0$) y H_1 : hay efectos aleatorios significativos ($\sigma_u^2 \neq 0$). La prueba utiliza el estadístico chi-cuadrada (χ^2), No rechazar la hipótesis nula indica a un nivel de confianza de 95%, no hay efectos aleatorios. Por lo tanto, el modelo seleccionado es el adecuado, véase (Gujarati & Porter, 2010, pág. 605).

El valor de p de chi-cuadrada es menor a 0.05, por tanto, se rechaza la hipótesis nula al 95% de confianza. Existen efectos aleatorios en esta relación, pero no son suficientes para cambiar de modelo. Por tanto, se mantiene el uso del modelo tipo “within” con base en la prueba de Hausman.

La siguiente prueba se aplica para corroborar que el modelo seleccionado no presenta correlación serial en los errores y que es consistente con las características de las variables.

4.4.2.3 Prueba de Correlación Serial Breusch-Godfrey/Wooldridge

Figura 22 Prueba de Correlación Serial Breusch-Godfrey/Wooldridge para modelos de panel (b)

```
data: c4p ~ pcp + pcp^2 + pcp^3 + d1p + d2p
chisq = 2.066, df = 2, p-value = 0.3559
alternative hypothesis: serial correlation in idiosyncratic errors
```

Para reafirmar la inexistencia de correlación serial el valor de p debe ser mayor a 0.05, ello genera confianza sobre el modelo empleado. El valor de p es mayor a 0.05 por tanto no se rechaza la hipótesis nula al 95% de confianza. El modelo no presenta correlación serial en los errores. Por tanto, la relación puesta a prueba con 0065I modelo tipo “within” es consistente.

La inexistente relación entre Metano y PIB a nivel per cápita manifestada por la R-cuadrada de 0.20433 y R-cuadrada ajustada de 0.049534. Hasta cierto punto inesperado por su comportamiento creciente de 1990 a 2005 y decreciente de 2006 a 2012, y la influencia de la cuenta corriente en su evolución. El comportamiento del PIB per cápita y de la cuenta corriente no son suficiente para contraer las emisiones de Metano, no explican de manera significativa su evolución. Por lo tanto, los cambios en el comportamiento el PIB per cápita no son suficientes para mantener un crecimiento explícito de 0.000003187 unidades al año de gas Metano, se crecimiento es independiente a la expansión del PIB y PIB per cápita.

4.4.3 Relación Óxido Nitroso per cápita y PIB per cápita.

La última relación a analizar se obtiene entre el Óxido Nitroso per cápita y el PIB per cápita, en las siguientes Figuras se muestran los principales resultados de esta asociación.

Figura 23. Modelo de efectos conjuntos “Oneway (individual)” (c)

```
call:
plm(formula = n2p ~ pcp + pcp^2 + pcp^3 + d1p + d2p, data = VIDP,
     model = "pooling")

Unbalanced Panel: n=33, T=1-1, N=33

Residuals :
      Min.    1st Qu.    Median    3rd Qu.    Max.
-0.034100 -0.009740  0.000385  0.009250  0.035300

Coefficients :
              Estimate Std. Error t-value Pr(>|t|)
(Intercept)  3.9556e-01  9.8231e-03  40.2687 < 2e-16 ***
pcp          3.3511e-06  2.2860e-06   1.4659  0.15343
d1p          1.4885e-02  1.0255e-02   1.4515  0.15737
d2p         -2.7620e-02  1.1386e-02  -2.4258  0.02173 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Total Sum of Squares:    0.010969
Residual Sum of Squares: 0.0084853
R-Squared:               0.22643
Adj. R-Squared:          0.19898
F-statistic: 2.82948 on 3 and 29 DF, p-value: 0.055808
```

La regresión confirma que existe poco grado de asociación entre las variables independientes y dependientes. La variable independiente puede crecer sin depender del comportamiento del PIB, la cuenta corriente y la inversión extranjera directa, la influencia de estas variables sobre la producción de Óxido Nitroso anualmente es limitada.

Con la información del modelo tipo “pool”, la relación, positiva no puede explicar el comportamiento de la producción de Óxido Nitroso que deteriora la calidad del aire con las variables independientes que se tienen. La información de las siguientes pruebas,

reafirma que el modelo tipo “pool” es el adecuado para analizar el análisis de esta relación.

4.4.3.1 Prueba Poolability

Figura 24. Contraste F-estadística, prueba poolability (c)

```
data: n2p ~ pcp + pcp^2 + pcp^3 + d1p + d2p
F = 2.7633, df1 = 21, df2 = 8, p-value = 0.07089
alternative hypothesis: unstability
```

En esta prueba, la F calculada no es mayor a la F crítica. Por tanto, no se rechaza la Hipótesis nula, el modelo de efectos conjuntos tipo “pool” es eficiente con la información implementada. Existe una constante común π y un efecto común de las variables independientes. Ya no es necesario aplicar prueba Hausman y Multiplicador de Lagrange de Breusch-Pagan.

4.4.3.2 Prueba de Correlación Serial Breusch-Godfrey/Wooldridge

Figura 25. Prueba de Correlación Serial Breusch-Godfrey/Wooldridge para modelos de panel (c)

```
data: n2p ~ pcp + pcp^2 + pcp^3 + d1p + d2p
chisq = 10.01, df = 2, p-value = 0.006704
alternative hypothesis: serial correlation in idiosyncratic errors
```

Para reafirmar la inexistencia de correlación serial, el valor de p debe ser mayor a 0.05, ello aumenta la confianza sobre el modelo empleado. El valor de p de chi-cuadrada es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula al 95% de confianza, el modelo presenta correlación serial en los errores. Existe duda si el ajuste adecuado de las características de las variables es representado adecuadamente por el modelo de tipo “pool”, no se puede cambiar de modelo, la prueba Poolability confirma su validez. Utilizar otro modelo expande la inconsistencia existente, el modelo empleado mantiene la inconsistencia al mínimo.

La relación Óxido Nitroso, PIB per cápita es no significativa estadísticamente, el valor R-cuadrada de 0.22643 y R-cuadrada ajustada de 0.19898, son insuficientes para argumentar que el comportamiento del PIB per cápita explica adecuadamente la evolución del Óxido Nitroso.

Con la información disponible, la asociación representada en el modelo de efectos conjuntos tipo "pool", el crecimiento de 0.39556 toneladas per cápita al año de Óxido Nitroso no puede ser explicado por el PIB, PIB per capital, el déficit en cuenta corriente y la inversión extranjera directa, su crecimiento es independiente a las variables existentes dentro del modelo.

En General no hay evidencia que confirme, el comportamiento descrito por la Hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets para el Dióxido de Carbono, Metano y Óxido Nitroso dependientes del Producto Interno Bruto per cápita, y las dos variables artificiales representantes de la Cuenta Corriente y la Inversión Extranjera Directa, para el periodo 1980 a 2012 en México.

La poca relación del Metano y Óxido Nitroso con sus variables independientes indica que la contracción inmediata del PIB como única opción para reducir la emanación de los gases será ineficiente, el PIB per cápita no explica adecuadamente el comportamiento que sigue el Metano y Óxido Nitroso. Por otra parte, el Dióxido de Carbono es más sensible a cambios en el PIB y puede ser controlado de forma directa.

Conclusiones

En la Curva de Kuznets, la inversión es la herramienta para mejorar el crecimiento y desarrollo económico. Si es persistente el crecimiento económico para promover el desarrollo, la desigualdad creciente debido a esa expansión se reducirá conforme se avance en el desarrollo económico y el incremento del ingreso o PIB per cápita sea persistente.

La relación descrita por la Curva de Kuznets de 1955 y la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets de 1991, se han estudiado de forma reducida con el fin de comprender la relación directa que se tiene entre el crecimiento económico y desigualdad, crecimiento económico y deterioro ambiental, respectivamente.

La información disponible específicamente de desigualdad para análisis de largo plazo no estuvo disponible cuando Kuznets llevo a cabo su análisis. La situación se presenta actualmente en países en vías de desarrollo, la mayoría de bases de datos internacionales y locales no cuentan con información sobre los contaminantes del ambiente mayor a 25 años. Constituye una limitante para llevar a cabo el análisis de mediano y largo plazo sobre la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets, solo ha genera conclusiones parciales en países en desarrollo.

El comportamiento único descrito por la Curva de Kuznets y la Hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets no puede satisfacer la evolución que ha tenido cada variable analizada, la actividad de una economía es dinámica. Siempre un estímulo crea cambios en su trayectoria que hacen que la variable tome una conducta que no puede ajustarse a un proceder estático debido a su naturaleza dinámica.

Los resultados de la Hipótesis de la Curva Ambiental de Kuzntes muestran que no existe evidencia que respalde firmemente la existencia de una curva cóncava entre el crecimiento económico y degradación ambiental a nivel mundial. Sin embargo, existe evidencia que respalda la existencia de la curva a nivel local solo para indicadores bien documentados, principalmente contaminantes del aire y agua, afectan directamente a la sociedad, siempre que el costo por conservar el medio ambiente sea relativamente bajo y con amplio beneficio.

El crecimiento y desarrollo económico proveen las herramientas para poder implementar y alcanzar objetivos de protección ambiental. Las mejoras en los procesos productivos vía implementación de capital humano y tecnología aprovechan de forma eficiente el uso de recursos. A esto se le unen reglas e incentivos para monitorear, controlar y fijar objetivos en pro del declive de la degradación ambiental, implementados por el Estado. La demanda del cuidado y la protección ambiental no se hace presente hasta que la población ha cubierto sus necesidades básicas y cuenta con cierto nivel de ingreso para iniciar el proceso de concientización e implementar acciones para resolver problemas ambientales a nivel local.

Si las empresas altamente contaminantes se reubican en países que tienen déficit en materia de regulación ambiental y cuentan con abundantes recursos, característica de los países en desarrollo. Al crear e implementar herramientas de protección ambiental en países desarrollados con altos estándares de regulación ambiental, las políticas de implementación y desarrollo tecnológico que se manifiestan a través del efecto escala y composición, alteran la estructura del comercio internacional, logrando que la especialización unido al libre flujo de capital, promueva la contracción de la contaminación y así dar forma a la Curva Ambiental de Kuznets. Lo que sin duda será una ilusión, porque la existencia de la EKC depende de la reubicación de los contaminantes. Por tanto, la contaminación no declinara realmente.

Los diversos resultados en análisis relacionados a la hipótesis EKC no llegan a un consenso sobre la evolución de los contaminantes a lo largo del proceso de crecimiento económico, existen diferentes puntos de inflexión y no en todos los casos se cumple con el comportamiento descrito por la hipótesis, genera dudas para aceptar que es una hipótesis general. En economías en vías de desarrollo para aceptar la hipótesis se necesita de un nivel de ingreso y tiempo superior, dada la misma situación a resolver por una economía desarrollada.

El conocimiento generado hasta ahora sobre la relación descrita por la hipótesis EKC es insuficiente, en especial para economías en desarrollo. La expansión del análisis sobre el tema contribuye a crear una visión más afondo y completa, para comprender y desarrollar objetivos que no comprometan la calidad ambiental ante el crecimiento del

PIB. Alcanzar objetivos y aplicar acciones rentables económica y ambientalmente teniendo en cuenta una visión general puede incrementar del bienestar social.

El crecimiento del PIB se debe en mayor medida al incremento en el uso de energía y recursos naturales necesarios para satisfacer la demanda de bienes y servicios. Por lo tanto, el incremento en el PIB dañara sin duda alguna al medio ambiente. Lo que retardara el daño y en el mejor de los casos contribuirá a mejorar al ambiente es la implementación de políticas públicas y privadas, que asocien al medio ambiente con estrategias de crecimiento económico y herramientas que cuantifiquen el daño ambiental para reflexionar sobre los efectos causados al ambiente por satisfacer las necesidades sociales y aplicar acciones en puntos específicos.

En México el crecimiento del Producto Interno Bruto no ha mostrado una expansión sostenida de 1980 a 2012, ha pasado por etapas de inestabilidad económica que han mermado su potencial de crecimiento. La implementación de políticas de austeridad solamente ha estabilizado el ritmo del PIB, pero no se ha logrado un proyecto que promueva la alta productividad como herramienta para alcanzar objetivos de crecimiento y desarrollo sostenidos.

De 1980 a 1990 ante la crisis del petróleo y la crisis de deuda se implementaron políticas de austeridad para estabilizar a la economía e iniciar el camino hacia la liberación comercial como herramienta para potenciar el crecimiento del PIB. Entre 1990 y 2000 se logró adherir al Tratado de Libre Comercio de América del Norte, ello acelero el ritmo de las exportaciones e importaciones, mejorando la entrada de inversión extranjera directa, la crisis que ocurrió entre 1994 y 1995 por la fuga de capitales y la devaluación del peso, obligo a las autoridades a dar continuidad a políticas de austeridad sin implementar acciones para expandir el ritmo del PIB.

Durante el periodo 2000-2012 la pérdida del dinamismo de las exportaciones y las constantes crisis internacionales han contraído la actividad económica, limitando el ritmo del PIB aun con tendencia ascendente. En las últimas dos décadas el patrón de crecimiento del PIB se debe a la expansión de las importaciones para cubrir la demanda internacional, debido a la nula relación entre el mercado interno para cubrir la demanda de las empresas exportadoras de alta productividad.

Con la implementación del libre comercio como nueva herramienta para expandir el crecimiento del PIB, se ha impulsado al sector exportador caracterizado por alta productividad, unido al incremento en el uso de insumos importados para obtener un producto final, ello ha generado la división de la economía entre el sector de alta productividad y el sector tradicional. El éxito relativo de la liberación comercial radica en la reducción de la dependencia de los productos derivados del petróleo y la expansión de las exportaciones a causa del frecuente déficit en la cuenta corriente.

Desde 1980 se han implementado políticas de atracción de Inversión Extranjera Directa, su expansión inicia a mediados de 1980 limitada debido a la inestabilidad económica existente de ese periodo. De 1994 en adelante se ha logrado multiplicar la entrada de inversión como porcentaje del PIB, se ha estancado, pero no contraído en periodos de crisis, concentrando la mayoría en el sector exportador de alta productividad.

El comportamiento del PIB generado en un país provoca efectos negativos para el medio ambiente, que afecta de forma directa e indirecta a la población. Garantizar la continuidad del desarrollo y bienestar de la sociedad depende de la protección de los recursos medioambientales y la reestructuración de las actividades que promuevan el crecimiento del PIB. Si crear y expandir el PIB produce gases nocivos para la calidad del aire, la contaminación depende de la abundancia de los gases y de su potencial de asimilación (algunos de los contaminantes del aire más abundantes son Dióxido de Carbono, Metano, Óxido Nitroso), por su naturaleza la contaminación no solo se presenta a nivel local, se extiende a nivel global afectando directamente el bienestar social.

El evaluar la cantidad de gases contaminantes del aire permite obtener información, para implementar estrategias que mejoren la calidad del aire. Alcanzar los objetivos establecidos necesita de la colaboración de instituciones públicas y privadas.

En México los gases más abundantes son el Dióxido de Carbono, Metano y el Óxido Nitroso, se producen como subproducto al mantener el ritmo del PIB, provenientes de los sectores que hacen abundante uso de hidrocarburos, principalmente del sector industrial-energético, el sector servicios y los hogares, en última instancia se generan en el sector primario (agricultura y ganadería). La cantidad de emisiones depende de las concentraciones humanas, de su demanda de bienes y servicios para satisfacer sus

necesidades. Las sociedades son el mayor responsable del comportamiento de la producción de gases que deterioran la calidad del aire.

El Dióxido de Carbono es uno de los principales gases que contribuyen al efecto invernadero. Si este se encuentra en altas concentraciones en espacios cerrados desplaza al oxígeno, afecta los procesos naturales de los seres aerobios incluidos los seres humanos. México produce en promedio 400 Millones de Toneladas al año.

El Metano es 21 veces más potente que el dióxido de carbono como emisor de calor. Acelera el proceso de calentamiento global, afecta la calidad del aire, la biodiversidad y los ecosistemas. El aumento en sus emanaciones anuales está relacionado con los procesos industriales, emisiones fugitivas de combustibles, fermentación entérica y prácticas agrícolas. Su promedio de vida oscila entre los 10 y 15 años.

Comparado con el dióxido de carbono y metano el potencial de calentamiento del Óxido Nitroso es superior, su periodo de vida oscila entre los 100 y 150 años. En México su producción se encuentra alrededor de 30 y 50 millones de toneladas al año, proviene principalmente de emanaciones del sector transporte, de la agricultura por el manejo en el uso de suelo y, del tratamiento y manejo de aguas residuales.

En general el Dióxido de Carbono, Metano y Óxido Nitroso, tienen tendencia creciente respecto al PIB, no comparten todos sus periodos de estancamiento o contracción, que no ha influido lo suficiente para frenar su tendencia ascendente.

México no ha podido controlar la expansión de la producción de Dióxido de Carbono, Metano y Óxido Nitroso, ante el austero crecimiento del PIB registrado de 1980 a 2012. La reducción en la producción de estos gases puede darse a través del incremento de las importaciones de insumos para proporcionar un bien o servicio final. Por tanto, una estrategia a mejorar, proviene del uso de insumos estratégicos necesarios para expandir el PIB que controlen el ritmo en la producción de los gases contaminantes del aire.

El sector que ha logrado limitar y contraer la emanación de los tres gases antes mencionados es el sector industrial, sujeto a la importación de insumos, para mantener y expandir el ritmo de su producción. Por otro lado, el sector energético y el de transporte

son actualmente los mayores productores de esos gases contaminantes, debido a la necesidad de satisfacer la demanda suficiente para mantener el nivel crecimiento. El impulso por la adhesión al GATT y la firma del TLCAN no han generado la expansión del crecimiento económico en México, el PIB registrado de 1980 a 2012 confirma que el crecimiento es limitado no es suficiente para frenar la expansión de los gases contenidos del aire.

El análisis de datos de panel, permite examinar diferentes paquetes de datos respecto a un periodo de tiempo, tomando en consideración efectos individuales, tiempo y conjuntos, para captar la heterogeneidad no observable entre los agentes económicos y el tiempo. El uso de la metodología se ha expandido desde finales de 1980, desarrollada principalmente en el área económica para simplificar y proporcionar mayor confianza en el análisis de datos.

En modelos de datos de panel, las grandes cantidades de observaciones por variables contribuyen a incrementar los grados de libertad y reducir la colinealidad existente entre las variables independientes, mejorando la eficiencia de la estimación de los modelos aplicados.

Los modelos de datos de panel más utilizados y desarrollados hasta ahora son los modelos estáticos de efectos comunes, efectos fijos y de efectos aleatorios, con ellos no es necesario cumplir estrictamente todos los supuestos clásicos de regresión lineal. Su aplicación requiere de pruebas de hipótesis para seleccionar el modelo que mejor explique el comportamiento de las variables de análisis.

Los indicadores de cambio climático con frecuencia cuentan con bases de datos incompletas, crea dificultades a la hora de implementar la información en análisis de investigación e incluso provoca conclusiones erróneas estadísticamente. Para analizar al Dióxido de Carbono, Metano y Óxido Nitroso durante el periodo 1980-2012, se han generado objetos para el periodo 1980-1990 a través del proceso de imputación, porque los datos de las 3 variables no están disponibles. La imputación se basa en las características de los datos existentes, para construir datos faltantes eficientes que permitan llevar a cabo el análisis congruente estadísticamente.

Para elegir el modelo de imputación de datos que construya eficientemente la información no disponible se debe tener presente el mecanismo de pérdida de datos para que la información creada mantenga relación con los datos disponibles y su incertidumbre. Reduce la ineficiencia de los datos generados a partir de información existente no limitados a implementar como datos construidos información disponible.

Las técnicas de imputación simple como NNI y RHD pierden eficiencia al incrementar del 5% el número de datos a imputar. La imputación secuencial con esos métodos no refleja las características de la variable con datos faltantes, aunque no pierde consistencia la varianza, la estimación es ineficiente. La imputación toma los valores existentes para sustituirlos donde se encuentran los datos no disponibles. La imputación bajo el método NNI, toma los valores más cercanos parecidos al objeto que falta para ser sustitutos de la información no disponible. El método RHD toma una muestra aleatoria de los datos existentes preservando la distribución de la información que minimiza el sesgo sobre la estimación de la varianza al seleccionar los objetos para generar la imputación. Ambos métodos no crean datos, solo eligen sustitutos de la información disponible para completar los datos faltantes.

La imputación múltiple, como “Amelia” y “mice” mantienen la eficiencia de la estimación, siempre que los datos a crear representen 20% o menos del total de la información. A diferencia de la imputación simple, la imputación múltiple tiene presente la incertidumbre causada por los datos no disponibles. Para mantener el comportamiento de los datos creados y su eficiencia, en sus procesos emplean simulaciones Montecarlo y cadenas de Markov, asegurándose a una variable ancla para que los objetos generados no pierden relación con la información disponible y así mantener un intervalo de confianza.

R es una herramienta de programación y análisis estadístico, diseñado para ser aplicada en análisis estadístico, disponible para Windows, de forma gratuita contiene paqueterías útiles para llevar a cabo análisis econométrico.

El programa estadístico **R** es apto para programar la función de los métodos de imputación simple NNI y RHD a base de un algoritmo en lenguaje S. Para su implementación directa sobre las variables a imputar y mantener la distribución de los

datos disponibles se debe identificar específicamente los datos no disponibles, la probabilidad de los datos a imputar y hacer uso de una variable que mantenga el comportamiento de los datos generados. **R** para implementar los procesos de imputación múltiple necesita descargar las paqueterías “Amelia”, “mice” y cargar toda su información. El proceso para implementar esos métodos depende de la información precargada de las paqueterías y de ciertos comandos indispensables que son útiles en la generación de la imputación. A diferencia de la programación de los métodos de imputación simple el proceso de imputación múltiple es sencillo debido a la información de las paqueterías.

El valor de las variables es a nivel per cápita, indica la cantidad de ingreso suficiente para que la sociedad tome conciencia sobre las actividades que desarrolla necesarias para generar el PIB, de ellas emanan ciertos componentes que dañan al medio ambiente y su bienestar. La demanda para proteger la calidad del se orienta al control de la producción de contaminantes generados anualmente.

Debido a la información limitada de las variables contaminantes de aire, no disponibles en periodos mayores a 30 años, se implementa al *CO₂ per capita*, *CH₄ per capita* y *N₂O per capita*, variables que degradan la calidad del aire, dependientes del *PIB per capita* y las variables construidas que lo complementan *D1* y *D2*. El límite de información existente frena el potencial de la investigación, las variables muestran el comportamiento general de la contaminación nacional, no es posible observar el nivel de contaminación por estado o ciudad para encontrar las fuentes que impulsan su comportamiento creciente.

La información de Dióxido de Carbono, Metano y Óxido Nitroso para México de 1990 a 2012 se extrajo de **CAIT**, es la herramienta de indicadores para análisis climático del World Resources Institute. La información no está disponible de 1980-1989 obstaculiza el análisis del periodo 1980-2012. Dar solución a ese inconveniente depende de emplear 4 métodos de imputación para crear los datos faltantes, de ellos se ha determinado que los métodos de imputación simple NNI y RHD son ineficientes, los métodos múltiples “Amelia” y “mice” son adecuados y consistentes, de ellos se ha seleccionado el proceso de imputación múltiple denominado “mice” por ser el más eficiente para generar los datos y mantener su comportamiento.

Al aplicar pruebas de estacionalidad a las series generadas por el método “mice”, en su primera diferencia son estacionarias, pero no es posible implementarlas en el análisis de datos de panel, no cumplen la condición de los tres modelos necesarios para seleccionar el método que genere estimadores eficientes y consistentes con las características de las series. Por causas desconocidas provenientes del paquete estadístico y la falta de información, es imposible generar la estimación del modelo de efectos fijos y de efectos aleatorios. Considerar y hacer uso del único modelo creado, el de efectos conjuntos o “pool” subestima los resultados provenientes de la estimación, no se puede confirmar su eficiencia.

La prueba de cointegración Phillips-Ouliaris confirma, las variables originales creadas por el método “mice” son viables para ser implementadas en el análisis de datos de panel, la información guarda relación estacionaria de largo plazo. El proceso necesario para aplicar la prueba anticipa la relación existente entre la información independiente y dependiente. Con las variables es posible generar los 3 métodos de datos de panel para compararlos.

Al implementar la forma cúbica en modelos de datos de panel, de los tres métodos aplicados ninguno guarda el efecto al cuadrado y al cubo de la forma propuesta, sin embargo, existe efecto en niveles en la variable dependiente del PIB per cápita y no en todos los casos el efecto de las dos variables artificiales.

En líneas generales de acuerdo con la estimación de los modelos estáticos, una expansión del PIB per cápita afecta positivamente la producción de Dióxido de Carbono, no tiene efecto significativo sobre la producción de Metano y Óxido Nitroso per cápita, dada la cuantía del efecto en las estimaciones.

La mayor parte de las estimaciones se han hecho por MCO a partir de la especificación del modelo de efectos conjuntos y el modelo de efectos fijos, en esos modelos las pruebas Hausman y Breusch-Godfrey/Wooldridge confirma la eficiencia de la estimación cuando se relaciona al Dióxido de Carbono y al Metano de forma individual con el PIB a niveles per cápita.

El PIB per cápita en sus distintas dimensiones no está correlacionado con el efecto fijo del error, la distribución de la relación es eficiente, excepto cuando se asocia al Óxido

Nitroso per cápita y PIB per cápita, existe correlación, el comportamiento es inestable, expuestos a condiciones que limitan su confianza.

La forma que toma la relación entre contaminantes del aire y el PIB a nivel per cápita se restringen del modelo cubico a un modelo lineal basado en los supuestos de la Figura 3., Grafica (1), donde $\beta_1 > 0$, $\wedge \beta_2 = \beta_3 = 0$, la relación es individual (uno a uno), el crecimiento del PIB impulsa la producción de los gases que comprometen la calidad del aire.

La relación es adecuada en el caso de Dióxido de Carbono, no así para el Metano y el Óxido Nitroso a pesar de mantener la forma, su efecto está por debajo del 25%, su comportamiento es semejante al descrito en la Figura 3., Grafica (7), las variables independientes no son suficientes para explicar a la dependiente y el efecto existente es limitado con tendencia a inexistente, la evolución de las variables dependientes puede ser explicado por variables inexistentes dentro del modelo.

En México persiste de 1980 a 2012 un limitado crecimiento del PIB y PIB per cápita unido a la expansión de los gases contaminantes del aire. La información generada, a partir de los modelos seleccionados mantienen dos corrientes distintas:

- Cuando se trata al Dióxido de Carbono per cápita, sigue un comportamiento positivo respecto al PIB per cápita. Su efecto de 0.777 sostiene: la expansión del PIB incrementa la producción de Dióxido de Carbono, aumenta el deterioro de la calidad del aire existente.

El efecto se debe principalmente a la evolución del PIB ocasionado en parte por la entrada de Inversión Extranjera y el persistente déficit en la Balanza Comercial. No queda claro cuales han podido ser los canales por los que el PIB y el PIB per cápita pueden aumentar la producción de Dióxido de Carbono y Dióxido de Carbono per cápita, dado que aún faltan variables dentro del modelo que mejoren la confianza de la relación.

La Inversión Extranjera y el déficit en Balanza Comercial son herramientas que mantienen el ritmo de crecimiento del PIB, su evolución altera la producción de Dióxido de Carbono en determinadas regiones del país creando condiciones suficientes que afectan a los seres vivos aerobios, la naturaleza y el bienestar social.

- El comportamiento del PIB sobre el Metano y Óxido Nitroso a nivel per cápita es positivo, su efecto de 0.204 y 0.226 respectivamente no es suficiente para explicar su evolución a lo largo del periodo de estudio.

La evolución del PIB y PIB per cápita por la entrada de Inversión Extranjera y el Déficit en Balanza Comercial, no son suficientes justificar el comportamiento del metano y óxido que afectan la calidad del aire, a diferencia del Dióxido de Carbono no se expanden a medida que se incrementa el PIB y PIB per cápita.

Debido al bajo nivel de asociación, existen variables fuera del modelo que son necesarias para mejorar la explicación del comportamiento registrado de metano y óxido nitroso, la información existente no describe adecuadamente el comportamiento de los gases producidos anualmente, no queda clara cuales son las variables y los mecanismos que han impulsado su desarrollo. Reducir al PIB y PIB per cápita no es alternativa para frenar la expansión metano y óxido nitroso, y controlar la contaminación del aire.

No se rechaza, observar la forma descrita por la hipótesis EKC en el futuro de México. Actualmente con 32 observaciones por variable no es posible confirma la existencia del comportamiento descrito por la EKC para el Dióxido de Carbono, Metano, Óxido Nitroso, en niveles per cápita dependientes del PIB per cápita y las dos variables artificiales de 1980 a 2012.

Mantener el limitado ritmo de crecimiento del PIB no es una estrategia viable, no frena la expansión en la producción Dióxido de Carbono, Metano y Óxido Nitroso. Los gases no han dejado de crecer en los últimos años y su limitado grado de asociación con el PIB, la Inversión Extranjera y el déficit en Balanza Comercial confirman: la reducción no será automática debido a la existencia de variables fuera del modelo que son necesarias para expedir la explicación de su evolución.

La relación que presenta mayor grado de asociación se forma entre el Dióxido de Carbono per cápita, el PIB per cápita, D1 y D2, con una R-cuadrada de 0.777. No es suficientes para explicar el comportamiento del Dióxido de Carbono, pero un incremento en el PIB per cápita, puede influir en la evolución de la producción de Dióxido de Carbono per cápita en mayor proporción a la existente con el Metano y el Óxido Nitroso.

El patrón de crecimiento de los gases que alteran las condiciones del aire en países desarrollados no ha sido encontrado en México. La expansión en la producción de gases está unido a un limitado crecimiento del PIB y PIB per cápita. Para México una contracción en el crecimiento del PIB y PIB per cápita no asegura la reducción en la producción de Dióxido de Carbono, Metano y Óxido Nitroso.

No hay prueba que respalde la reducción en la producción de gases contaminantes del aire dependientes del crecimiento económico. A diferencia del comportamiento del PIB y PIB per cápita, la Emanación de los Gases sigue en expansión. Por lo tanto, la calidad del aire no ha mejorado debido a la expansión en la emanación de los gases contaminantes, no explicados en su totalidad por el limitado crecimiento del PIB y PIB per cápita en México de 1980 a 2012.

Referencias

- Alonso, E., Martínez, W., Rubio, J., Velasco, F., Chávez, H., Ávalos, M., . . . Cervantes, E. (2007). Calidad del Aire en Cuatro Ciudades de Michoacán, México: Su Efecto sobre Materiales de Construcción. *Revista de la Construcción*, 66-74.
- Álvarez S., J. D., & Anzueto M., M. d. (2004). Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los altos de Chiapas, México. *Agrociencia*, 13-22.
- American Psychological Association (APA) . (2010). *Publication Manual of the American Psychological Association*. Washington, DC: American Psychological Association.
- American Psychology Association. (17 de 10 de 2016). *APA Style* . Obtenido de APA Style: <http://www.apastyle.org/>
- Andreoni, J., & Levinson, A. (2001). The simple analytics of the environmental Kuznets curve. *Journal of Public Economics*, 269–286 .
- Arellano, M., & Bover, O. (1990). La Econometría de Datos de Panel. *Investigaciones Económicas*, 3-45.
- Aspe, P. A. (1993). *El camino mexicano de la transformación económica*. Mexico: Fondo de Cultura Económica.
- Avendaño, B., & Perrotini, I. (2015). Insuficiencia dinámica, crecimiento y desempleo en México, 1974-2012. *Investigación Económica*, 99-130.
- Ayala, Y., & Melo, Ó. (2007). Estimación de datos faltantes en medidas repetidas con respuesta binaria. *Revista Colombiana de Estadística*, 265-285.
- Bacallao G, J., & Bacallao G., J. (2010). Imputación Múltiple en Variables Categóricas Usando Data Augmentation y Árboles de Clasificación. *Revista Investigacion Operacional*, 33-139.
- Bada, O., & Liebl, D. (15 de 04 de 2016). *Journal of Statistical Software*. Obtenido de Journal of Statistical Software: <https://www.jstatsoft.org/index>
- Baltagi, B. H. (2005). *Econometric Analysis of Panel Data*. Chichester; Hoboken, NJ: John Wiley & Sons Ltd.
- bio. (22 de 02 de 2016). *bio*. Obtenido de bio.: <http://www.biography.com/people/amelia-earhart-9283280>
- Calderón, C., & Sánchez, I. (2012). Crecimiento económico y política industrial en México. *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 125-154.
- Carmona, J. C., Bolívar, D. M., & Giraldo, L. A. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 49-64.

- Catalán, M., Galindo, M. P., Martín, J., & Leiva, V. (2012). Métodos de integración de odds ratio basados en meta-análisis usando modelos de efectos fijos y aleatorios útiles en salud pública. *Revista Colombiana de Estadística*, 205-222.
- Chen, J., & Shao, J. (2000). Nearest Neighbor Imputation for Survey Data. *Journal of Official Statistics*, 113-131.
- Chiquiar, D., & Ramos-Francia, M. (2009). Competitividad y Crecimiento de la Economía Mexicana. *Banco de México*, 1-92.
- Comisión para la Cooperación Ambiental. (2008). *El mosaico de América del Norte panorama de los problemas ambientales más relevantes*. Canadá,: Departamento de Comunicación y Difusión Pública del Secretariado de la CCA.
- Corona, E. A., & Rojas, R. I. (2009). Calidad del aire y su incorporación en la planeación urbana: Mexicali, Baja California, México. *Estudios Fronterizos*, 79-102.
- Cranmer, S., Gill, J., Jackson, N., Murr, A., & Armstrong, D. (10 de 03 de 2016). *The R Project for Statistical Computing*. Obtenido de The R Project for Statistical Computing: <https://cran.r-project.org/web/packages/hot.deck/hot.deck.pdf>
- Croissant, Y., & Millo, G. (10 de Febrero de 2016). *Journal of Statistical Software*. Obtenido de Journal of Statistical Software: <https://www.jstatsoft.org/article/view/v027i02>
- Croissant, Y., Millo, G., Henningsen, A., Toomet, O., Kleiber, C., & Zeileis, A. (28 de 05 de 2016). *The R Project for Statistical Computing*. Obtenido de The R Project for Statistical Computing: <https://cran.r-project.org/web/packages/plm/plm.pdf>
- Cuadra, G. (2008). Hechos Estilizados del Ciclo Económico en México. *Banco de México*, 1-56.
- Davison, A. C., & Hinkley, D. V. (1997). Bootstrap Methods and their Application. En A. C. Davison, & D. V. Hinkley, *Bootstrap Methods and their Application* (págs. 11-59). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- De la Rosa, J. (2006). Dos enfoques teóricos sobre el proceso de crecimiento económico: con énfasis en las exportaciones manufactureras. *Análisis Económico*, 93-119.
- Delphine, R. (27 de 04 de 2016). *México y la Cuenca del Pacífico*. Obtenido de Latam-Studies Estudios Latinoamericanos: <http://www.mexicoylacuenedelpacifico.cucsh.udg.mx/sites/default/files/Libre%20comercio%20y%20gobernanza%20del%20medio%20ambiente%20en%20M%C3%A9xico%20-%20Complementariedad%20o%20contradicci%C3%B3n.pdf>
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. *Ecological Economics*, 431-455.

- ETH zurich. Departament of Mathematics. (12 de 06 de 2016). *ETH zurich. Departament of Mathematics*. Obtenido de ETH zurich. Departament of Mathematics: <https://stat.ethz.ch/R-manual/R-devel/library/boot/html/tsboot.html>
- Flores, c. J. (2010). *Crecimiento y desarrollo económico de México*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Furman University. (13 de 07 de 2016). *FURMAN UNIVERSITY*. Obtenido de FURMAN UNIVERSITY: <http://math.furman.edu/~dcs/courses/math47/R/library/tseries/html/po.test.html>
- Garcés, D. (2002). Análisis de las Funciones de Importación y Exportación de México 1980-2000. *Banco de México*, 1-31.
- Genolini, C., Écochard, R., & Jacqmin-Gadda, H. (2013). Copy Mean: A New Method to Impute Intermittent Missing Values in Longitudinal Studies. *Open Journal of Statistics*, 26-40.
- German-Soto, V., & Gutiérrez F., L. (2015). Contribution of Education and Innovation to Productivity among Mexican Regions: A Dynamic Panel Data Analysis. *Theoretical Economics Letters*, 44-55.
- Grageda, O. A., Medina, T., Aguilar, J. L., Hernández, M., Solís, E., Aguado, G. A., & Peña, J. J. (2004). Pérdidas de nitrógeno por emisión de N₂ y N₂O en diferentes sistemas de manejo y con tres fuentes nitrogenadas. *Agrociencia*, 625-633.
- Grageda, O. A., Vermoesen, A., van Cleemput, O., & Peña, J. J. (2000). Efecto del tipo de suelo, humedad y fuente de nitrógeno en las emisiones de N₂ y N₂O. *Terra Latinoamericana*, 1-9.
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (01 de 04 de 2015). *The National Bureau of Economic Research*. Obtenido de The National Bureau of Economic Research: <http://www.nber.org/papers/w3914.pdf>
- Grupo de Economía Ambiental; Correa, Francisco. (2004). Crecimiento Económico y Medio Ambiente: Una Revisión Analítica de la Hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets. *Semestre Económico*, 73-104.
- Guerrero de Lizardi, C. (2007). Determinantes del crecimiento: el caso de México, 1986-2003. *Revista Latinoamericana de Economía*, 153-171.
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2010). *Econometría*. México: McGraw-Hill.
- Hardt, J., Herke, M., Brian, T., & Laubach, W. (2013). Multiple Imputation of Missing Data: A Simulation Study on a Binary Response. *Open Journal of Statistics*, 370-378.
- Hernández, E. (2009). Crecimiento, distribución y pobreza en México. *Economíaunam*, 101-106.

- Honaker, J., King, G., & Blackwell, M. (08 de 02 de 2016). *Journal of Statistical Software*. Obtenido de Journal of Statistical Software: <https://www.jstatsoft.org/article/view/v045i07>
- Hsiao, C. (2003). *Analysis of Panel Data*. New York, USA: Cambridge University Press.
- Hsiao, C. (2014). *Analysis of Panel Data*. New York, USA: Cambridge University Press.
- IBM. (38 de Abril de 2016). *IBM*. Obtenido de IBM Knowledge Center: http://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SSLVMB_20.0.0/com.ibm.spss.statistics.help/alg_multiple_imputation_multivariate_fcs.htm
- Irastorza, V., & Fernández, X. (2010). Balance Nacional de Energia y su Relacion con el Inventario Nacional de Emisiones. *Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 52-72.
- Joenssen, D. W. (20 de 04 de 2016). *CRAN*. Obtenido de CRAN: <https://cran.r-project.org/web/packages/HotDeckImputation/HotDeckImputation.pdf>
- Karp, G. C. (2009). Biología Celular y Molecular. En G. C. Karp, *Biología Celular y Molecular* (págs. 179-180). Mexico: McGraw-Hill.
- Kehoe, T. J., & Meza, F. (2013). Crecimiento Rápido Seguido de Estancamiento: México (1950-2010). *El Trimestre Económico*, 237-280.
- KPMG en México. (20 de 09 de 2015). *KPMG en México*. Obtenido de KPMG en México: <http://www.kpmg.com/MX/es/IssuesAndInsights/ArticlesPublications/Documents/Factsheets/Herramienta-CO2.pdf>
- Kuznets, S. (1955). Economic Growth and Income Inequality. *The American Economic Review*, 1-30.
- Lindmark, M. (2002). An EKC-pattern in historical perspective: carbon dioxide emissions, technology, fuel prices and growth in Sweden 1870–1997. *Ecological Economics*, 333–347.
- Liu, F. (2014). Using Multiple Imputation for Vote Choice Data: A Comparison across Multiple Imputation Tools. *Open Journal of Political Science*, 39-46.
- López, A., Alvargonzález, M., & Pérez, R. (2006). Crecimiento económico y desigualdad. Nuevas extensiones del proceso de Kuznets. *Estudios de Economía Aplicada*, 221-244.
- López, G. (2011). El Efecto del Comercio y de la Inversión Extranjera Directa sobre los Diferenciales de Salario Inter-Industriales: El Caso de México. *Banco de México*, 1-58.
- Loría, E. (2009). Sobre el lento crecimiento económico de México. Una explicación estructural. *Investigación Económica*, 37-68.

- Martínez, L., & Romero, R. (2004). La Importancia de la Definición de los Derechos de Propiedad en el Efecto de los Tratados de Libre Comercio sobre la Inversión Extranjera Directa. *Banco de México*, 1-52.
- Medina, F., & Galván, M. (2007). Imputación de datos: teoría y práctica. *CEPAL - Serie Estudios estadísticos y prospectivos*, 1-84.
- Medina, J. (2010). La Dieta del Dióxido de Carbono (CO₂). *Conciencia Tecnológica*, 50-53.
- Mendoza, J. (2011). Impacto de la Inversión Extranjera Directa en el Crecimiento Manufacturero en México. *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 45-69.
- Michy, A. (03 de 07 de 2016). *R-bloggers*. Obtenido de R-bloggers.: <https://www.r-bloggers.com/how-to-perform-a-logistic-regression-in-r/>
- Mora, S. G., Sandoval, M., Gavi, F., & Sánchez, P. (2005). Emisión de N₂O con fertilización nitrogenada en fertirriego y fertilización convencional. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 23-29.
- Muñoz, J. F., & Álvarez, E. (2009). Métodos de imputación para el tratamiento de datos faltantes: aplicación mediante R/Splus. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 3-30.
- Naciones Unidas. (24 de 06 de 2015). *NACIONES UNIDAS*. Obtenido de United Nations Framework Convention on Climate Change: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- Nadal, c. A. (2006). Obras Escogidas de Víctor L. Urquidi I. En C. A. Nadal, *Obras Escogidas de Víctor L. Urquidi I* (págs. 11-43). Mexico: El Colegio de México, A.C.
- Nakai, M., Chen, D.-G., Nishimura, K., & Miyamoto, Y. (2014). Comparative Study of Four Methods in Missing Value Imputations under Missing Completely at Random Mechanism. *Open Journal of Statistics*, 27-37.
- Nejadkoorki, F. (2011). *Advanced air pollution*. Rijeka: InTech.
- Noriega, A., & Rodríguez, A. (2011). *Estacionariedad, Cambios Estructurales y Crecimiento Económico en México: 1895-2008*. México: Banco de Mexico.
- Núñez R., G. (2006). Inversión pública y crecimiento económico en México. Un enfoque de contabilidad del crecimiento. *Perfiles Latinoamericanos*, 11-32.
- Núñez V., J. J. (2006). La desigualdad económica medida a través de las curvas de Lorenz. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 67-108.
- Organización Mundial de la Salud. (20 de Enero de 2016). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: http://www.who.int/bloodsafety/clinical_use/en/Manual_S.pdf?ua=1

- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. (20 de 04 de 2016). *Evaluación de la OCDE sobre el desempeño ambiental: México 2013*. Obtenido de OECD better policies for better lives: <http://www.oecd.org/fr/env/examens-pays/EPR%20Highlights%20MEXICO%202013%20ESP.pdf>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2013). *Evaluaciones de la OCDE sobre el desempeño ambiental: México 2013*. México: OECD Publishing.
- Pacheco, P. (2005). Liberalización de la política comercial y crecimiento económico de México. *Economíaunam*, 84-93.
- Padrón, Á. Y., Guerra, R. V., Silva, R. P., Savón, R. B., & Pérez, S. R. (2012). Evaluación de la biodegradabilidad anaerobia de aguas residuales del procesamiento de cárnicos. *Tecnología Química*, 294-303.
- Panayotou, T. (1997). Demystifying the Environmental Kuznets Curve: Turning a Black Box into a Policy Tool. *Environment and Development*, 465-484.
- Phillips, P. C., & Ouliaris, S. (1990). Asymptotic Properties of Residual Based Tests for Cointegration. *Econometrica*, 165-193.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2006). *Manual del Protocolo de Montreal*. Kenya: PNUMA.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2006). *El Cambio Climático en América Latina y el Caribe*. México: PNUMA, SEMARNAT.
- Querol, X. (2008). Calidad del aire, partículas en suspensión y metales. *Revista Española de Salud Pública*, 447-453.
- Roca, J., & Padilla, E. (2003). Emisiones atmosféricas y crecimiento económico en España. La Curva de Kuznets Ambiental y el Protocolo de Kyoto. *Economía Industrial*, 73-86.
- Romero, J. (2002). México: Cuatro estrategias de crecimiento. *Estudios Sociológicos*, 147-198.
- Rothman, D. S. (1998). Environmental Kuznets curves—real progress or passing the buck? A case for consumption-based approaches. *Ecological Economics*, 177-194.
- Royston, P., & White, I. R. (2011). Multiple Imputation by Chained Equations (MICE): Implementation in Stata. *Journal of Statistical Software*, 1-20.
- Rubin, D. B. (1987). *Multiple Imputation for Nonresponse in Surveys (Wiley Series in Probability and Statistics)*. New York, USA: John Wiley & Son.
- Sánchez, A. (2006). Crecimiento Económico, Desigualdad y Pobreza: una Reflexión a partir de Kuznets. *Problemas del Desarrollo Revista Latinoamericana de Economía*, 11-30.

- Santos, L. A., & Barrios, E. B. (2011). Small Sample Estimation in Dynamic Panel Data Models: A Simulation Study. *American Open Journal of Statistics*, 58-73.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales*. México: Edición 2012.
- Solórzano, G. (2003). Aportación de gases de efecto invernadero por el manejo de residuos sólidos en México: el caso del metano. *Gaceta Ecológica*, 7-15 .
- Stern, D. I. (2004). The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve. *World Development*, 1419-1439.
- Stern, D. I., & Common, M. S. (2001). Is There an Environmental Kuznets Curve for Sulfur? *Journal of Environmental Economics and Management*, 162-178.
- Stern, D. I., Common, M. S., & Barbier, E. B. (1996). Economic Growth and Environmental Degradation: The Environmental Kuznets Curve and Sustainable Development. *World Development*, 1151-1160.
- Suri, V., & Chapman, D. (1998). Economic growth, trade and energy: implications for the environmental Kuznets curve. *Ecological Economics*, 195-208.
- Templ, M., Alfons, A., Kowarik, A., & Prantner, B. (12 de 05 de 2016). *CRAN Mirrors*. Obtenido de CRAN Mirrors: <https://cran.r-project.org/web/packages/VIM/VIM.pdf>
- Trejos, A. (20 de 06 de 2015). *Naciones Unidas CEPAL Comisión Económica para América Latina y el Caribe*. Obtenido de Naciones Unidas CEPAL Comisión Económica para América Latina y el Caribe: http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4895/1/S2009441_es.pdf
- Tubiello, F. N., Córdor-Golec, R. D., Salvatore, M., Piersante, A., Federici, S., Ferrara, A., . . . y Prospero, P. (26 de Septiembre de 2015). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/39834c04-65a7-410e-953f-bdba1014b88e/>
- Universidad Autónoma del Estado de México . (15 de Noviembre de 2016). *Universidad Autónoma del Estado de México* . Obtenido de Universidad Autónoma del Estado de México : http://web.uaemex.mx/fturismoygastronomia/pdfs/reglamento_evaluacion_profesional.pdf
- Van Buuren, S., & Groothuis-Oudshoorn, K. (12 de 02 de 2016). *Journal of Statistical Software*. Obtenido de Journal of Statistical Software: <https://www.jstatsoft.org/article/view/v045i03>
- Vink, G., Frank, L., Pannekoek, J., & van Buuren, S. (2014). Predictive mean matching imputation of semicontinuous variables. *Statistica Neerlandica*, 61-90.

Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*.
Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.

Anexos

Anexo A.1. Evidencia empírica sobre el modelo de Kuznets

	Apoyan la hipótesis de la U invertida de Kuznets	Rechazan la hipótesis de la U invertida de Kuznets
Muestras de corte transversal	Paukert (1973) Ahluwalia (1976) Brulke (1983) Papanek y Kyn (1986) Bourguignon y Morrison (1988) Randolphy Lott (1993) Ram (1995) Jha (1996) Dawson (1997) Chang y Ram (2000) Milanovic (2001) Thornton (2001) Easterly (2003)	Anand y Kanbur (1993) Ravallion (1995)
Muestras temporales	Williamson y Lindert (1980) Williamson (1985) Londoño (1990) Hsing y Smyth (1994)	Weisskoff (1970) Fei, Ranis y Kuo (1978) Lindert y Williamson (1985) Dumke (1991) Kaelble y Thomas (1991) Thomas (1991) Fields (1991, 1995) Oshima (1994)
Datos de panel	Ram (1983) Park y Brat (1995) Higgins y Williamson (1999) Thornton (2001)	Fields y Jakobson (1994) Deininger y Squire (1998) Li, Squire y Zou (1998) Sawides y Stengos (2000) Dollar y Kraay (2001) Wan (2002)

Fuente: Reproducción de ((López et al, 2006, p. 232)

Existen múltiples resultados que no permiten generalizar el comportamiento que describe la curva de Kuznets. Sin embargo, de forma individual el comportamiento de la curva es observable a medida que evoluciona el crecimiento y desarrollo económico.

Anexo A.2. Relación entre Desigualdad y crecimiento para distintos indicadores

Índice de Desigualdad	Relación funcional entre Desigualdad y crecimiento	Condición necesaria para el punto de retorno
Theil (T)	$T = A + B \frac{1}{\mu} + C \log \mu, \text{ donde}$ $A = \frac{1}{\mu_1 - \mu_2} [\mu_1(T_1 + \log \mu_1) - \mu_2(T_2 + \log \mu_2)]$ $B = \frac{\mu_1 \mu_2}{\mu_1 - \mu_2} [T_2 - T_1 + \log \mu_2 - \log \mu_1]$ $C = -1$	$(T_1 - T_2) < (\theta - 1 - \log \theta)$
L de Theil	$L = A + B\mu + C \log \mu, \text{ donde}$ $A = \frac{1}{\mu_1 - \mu_2} [\mu_1 L_2 - \mu_2 L_1 + \mu_2 \log \mu_1 - \mu_1 \log \mu_2]$ $B = \frac{1}{\mu_1 - \mu_2} [L_1 - L_2 - \log \mu_1 + \log \mu_2]$ $C = 1$	$(L_1 - L_2) < \left(\frac{1}{\theta} - 1 + \log \theta \right)$
Varianza	$S^2 = A + B \left(\frac{1}{\mu} \right) + C \left(\frac{1}{\mu} \right)^2, \text{ donde}$ $A = -1$ $B = \frac{1}{\mu_1 - \mu_2} [\mu_1^2 (S_1^2 + 1) - \mu_2^2 (S_2^2 + 1)]$ $C = \frac{\mu_1 \mu_2}{\mu_1 - \mu_2} [\mu_2^2 (S_2^2 + 1) - \mu_1^2 (S_1^2 + 1)]$	$S_1^2 \left(\frac{2}{\theta} - 1 \right) - \left(\frac{1}{\theta} \right)^2 S_2^2 < \left(\frac{1}{\theta} - 1 \right)^2$
Índice de Atkinson	$[1 - I(z)]^{1-z} = A + B\mu^z + C\mu^{z-1}, \text{ donde}$ $A = 0$ $B = \frac{1}{\mu_1 - \mu_2} [\mu_1^{1-z} (1 - I_1)^{1-z} - \mu_2^{1-z} (1 - I_2)^{1-z}]$ $C = \frac{1}{\mu_1 - \mu_2} [\mu_1 \mu_2^{1-z} (1 - I_2)^{1-z} - \mu_2 \mu_1^{1-z} (1 - I_1)^{1-z}]$	<p>Caso $0 < z < 1$</p> $\left(\frac{1 - I_2}{1 - I_1} \right)^{1-z} < \left(\frac{z\theta + 1 - z}{\theta^z} \right)$ <p>Caso $\varepsilon > 1$</p> $\left(\frac{1 - I_2}{1 - I_1} \right)^{1-z} > \left(\frac{z\theta + 1 - z}{\theta^z} \right)$
Índice de Gini	$G = A + B\mu + C \frac{1}{\mu}, \text{ donde}$ $A = \frac{1}{(\mu_1 - \mu_2)^2} [(\mu_1^2 - \mu_2^2) - 2\mu_1 \mu_2 (G_1 - G_2)]$ $B = \frac{1}{(\mu_1 - \mu_2)^2} [\mu_1 (1 - G_1) - \mu_2 (1 - G_2)]$ $C = \frac{\mu_1 \mu_2}{(\mu_1 - \mu_2)^2} [\mu_1 (1 - G_2) - \mu_2 (1 - G_1)]$	$\frac{1 + G_1}{1 - G_1} < \theta$
Varianza del logaritmo	$c^2 = A + B\mu + C\mu^2, \text{ donde}$ $A = \frac{1}{(\mu_1 - \mu_2)^2} [(\mu_1 - \mu_2)(\mu_1 \sigma_2^2 - \mu_2 \sigma_1^2) - \mu_1 \mu_2 (m_1 - m_2)^2]$	

	$B = \frac{1}{(\mu_1 - \mu_2)^2} [(\mu_1 - \mu_2)(\sigma_1^2 - \sigma_2^2) + (\mu_1 + \mu_2)(m_1 - m_2)^2]$ $C = -\frac{(m_1 - m_2)^2}{(\mu_1 - \mu_2)^2}$	$\frac{\sigma_1^2 - \sigma_2^2}{(\mu_1 - \mu_2)^2} < 1$
--	--	---

Fuente: Adaptado de (López et al, 2006, p. 225)

Dependiendo de cada indicador se consigue un nivel de crecimiento económico suficiente para controlar la desigualdad. Sin embargo, la desigualdad a medida que se expande el crecimiento toma rutas múltiples que no necesariamente mantienen la forma de la Curva de Kuznets.

Anexo B.1. Variables representantes del crecimiento económico en México, 1980-2012

Variables en forma de serie de tiempo del PIB, Saldo en Cuenta Corriente y la Inversión Extranjera Directa en US \$ a precios actuales (2016). Banco Mundial (BM): <http://datos.bancomundial.org/pais/mexico>.

Fecha	Producto Interno Bruto	Saldo en Cuenta Corriente	Inversión Extranjera Directa
1980	1.94E+11	-10422000000	2090000000
1981	2.50E+11	-16240000000	3078000000
1982	1.74E+11	-5889000000	1901000000
1983	1.49E+11	5866000000	2192000000
1984	1.76E+11	4183000000	1542000000
1985	1.84E+11	800000000	1984000000
1986	1.29E+11	-1377000000	2036000000
1987	1.40E+11	4247000000	1184000000
1988	1.83E+11	-2374000000	2011000000
1989	2.23E+11	-5825000000	2785000000
1990	2.63E+11	-7451000000	2549000000
1991	3.14E+11	-14888000000	4742000000
1992	3.64E+11	-24442000000	4393000000
1993	5.04E+11	-23400000000	4389000000
1994	5.27E+11	-29662110000	10972500000
1995	3.44E+11	-1576440000	9526290000
1996	3.97E+11	-2507747000	9185600000
1997	4.81E+11	-7664937000	12829800000
1998	5.02E+11	-15992656000	12756764558
1999	5.79E+11	-13999736918	13880522690
2000	6.84E+11	-18752424881	18110008381
2001	7.25E+11	-17752516924	29860771631
2002	7.42E+11	-14515457288	23932305855
2003	7.13E+11	-7880807579	18554099227
2004	7.70E+11	-6699863763	24820542066
2005	8.66E+11	-9030859047	24861318150
2006	9.65E+11	-7610553276	20900571420
2007	1.04E+12	-14549877959	32320063590
2008	1.10E+12	-20313340014	28793309430
2009	8.93E+11	-8327972619	17756282520
2010	1.05E+12	-4853576009	26168229630
2011	1.17E+12	-13220379494	23328272040
2012	1.18E+12	-15922631638	19491663030

Anexo B.2. Variables representantes de la contención del aire en México, 1980-2012

Datos sobre contaminación del aire provienen de Climate Analysis Indicators Tool (CAIT), son un conjunto de emisiones anuales e incluyen el cambio en el uso de suelo medidas en Millones de Toneladas, disponibles en: http://cait.wri.org .			
CO2 = Total CO2 (including Land-Use Change and Forestry) (MtCO2)			
CH4 = Total CH4 (including Land-Use Change and Forestry) (MtCO2e)			
N2O = Total N2O (including Land-Use Change and Forestry) (MtCO2e)			
Fecha	CO2 (MtCO2)	CH4 (MtCO2e)	N2O (MtCO2e)
1990	316.488678	115.985323	39.2580784
1991	329.446136	119.2492155	37.93576511
1992	332.759074	121.834758	38.29713182
1993	333.509382	126.3975606	38.42990852
1994	355.582456	130.4876431	38.46053523
1995	340.53493	133.8692556	37.68277194
1996	358.89783	135.6596986	38.17054467
1997	374.414198	140.9833916	38.6531174
1998	394.435402	150.4746947	42.25897014
1999	387.63659	149.8757277	40.36763287
2000	404.405946	153.8404307	40.9936156
2001	399.748528	157.4220636	41.39310953
2002	405.035096	165.5077066	39.73149346
2003	411.360276	174.9830695	42.46406739
2004	414.942186	178.9149424	42.74723132
2005	433.486312	187.3014654	46.71300525
2006	444.342946	187.5353948	46.14899406
2007	463.704744	188.5875842	47.54392287
2008	470.959224	189.6922636	47.21114169
2009	454.155878	191.371863	48.5822305
2010	467.144018	191.4034224	51.05977931
2011	480.985196	194.115375	53.24380044
2012	484.5445342	191.0316076	51.24795157

Anexo B.3. Variables para proceso de Imputación

Variables con datos faltantes que serán sometidas al proceso de imputación para generar los datos faltantes por el método que mejor se ajuste a su comportamiento. NA (No Disponibles)

Año	PIB per cápita	CO2 per cápita	CH4 per cápita	N2O per cápita
1980	2803.318841	NA	NA	NA
1981	3524.741585	NA	NA	NA
1982	2394.564422	NA	NA	NA
1983	2008.095651	NA	NA	NA
1984	2319.45796	NA	NA	NA
1985	2385.757782	NA	NA	NA
1986	1639.74041	NA	NA	NA
1987	1740.869013	NA	NA	NA
1988	2227.405173	NA	NA	NA
1989	2657.600428	NA	NA	NA
1990	3068.702424	3.67680871	1.347460037	0.456080911
1991	3600.045185	3.748387571	1.356799271	0.431627313
1992	4080.452175	3.707295009	1.357370619	0.426671357
1993	5544.932462	3.63879389	1.37907566	0.4192941
1994	5690.674713	3.801330568	1.394969459	0.411159791
1995	3640.833419	3.569823678	1.403349837	0.395028056
1996	4131.805706	3.692306273	1.3956539	0.392694883
1997	4907.333152	3.783163113	1.424527087	0.390559569
1998	5038.629775	3.917757656	1.494600597	0.419740224
1999	5722.122139	3.788592509	1.464820592	0.394535798
2000	6649.716534	3.893250246	1.481034838	0.394649005
2001	6952.289039	3.794845213	1.494420424	0.392948148
2002	7023.787276	3.795176179	1.55080612	0.372283832
2003	6673.166974	3.806906495	1.619369255	0.392980906
2004	7115.121769	3.793529951	1.635695804	0.390808425
2005	7893.968234	3.914740031	1.691487192	0.421857084
2006	8666.335353	3.963218412	1.672680384	0.411615723
2007	9219.817783	4.084431281	1.661128203	0.418779166
2008	9578.5707	4.096436089	1.649956503	0.410645794
2009	7647.684747	3.900920312	1.643766873	0.417291549
2010	8851.350514	3.962662378	1.623625931	0.433126956
2011	9715.112596	4.029660082	1.626284935	0.446072809
2012	9703.371017	4.009554409	1.580766205	0.424071341

Anexo B.4. Variables para análisis de Datos de Panel

Conjunto de variables Imputadas por el método MICE, a nivel per cápita						
pc = PIB per cápita (US\$ a precios actuales)						
vic2 = variable imputada de CO2 Per Cápita (tCO2 Per Cápita)						
vic4 = variable imputada de CH4 Per Cápita (tCO2e Per Cápita)						
vin2 = variable imputada de N2O Per Cápita (tCO2e Per Cápita)						
D1, D2 = Variables construidas a partir del Saldo en Cuenta Corriente y de la Inversión Extranjera Directa						
Fecha	pc	vic2	vic4	vin2	D1	D2
1980	2803.31884	3.67680871	1.34746004	0.43162731	1	0
1981	3524.74159	3.69230627	1.40334984	0.41974022	1	0
1982	2394.56442	3.74838757	1.35737062	0.41974022	1	0
1983	2008.09565	3.74838757	1.3956539	0.39464901	0	0
1984	2319.45796	3.67680871	1.35737062	0.39464901	0	0
1985	2385.75778	3.69230627	1.35679927	0.41064579	0	0
1986	1639.74041	3.69230627	1.35679927	0.43162731	1	0
1987	1740.86901	3.70729501	1.3956539	0.41064579	0	0
1988	2227.40517	3.69230627	1.35679927	0.43162731	1	0
1989	2657.60043	3.56982368	1.34746004	0.41974022	1	0
1990	3068.70242	3.67680871	1.34746004	0.45608091	1	0
1991	3600.04519	3.74838757	1.35679927	0.43162731	1	0
1992	4080.45218	3.70729501	1.35737062	0.42667136	1	0
1993	5544.93246	3.63879389	1.37907566	0.4192941	1	0
1994	5690.67471	3.80133057	1.39496946	0.41115979	1	0
1995	3640.83342	3.56982368	1.40334984	0.39502806	1	0
1996	4131.80571	3.69230627	1.3956539	0.39269488	1	0
1997	4907.33315	3.78316311	1.42452709	0.39055957	1	1
1998	5038.62978	3.91775766	1.4946006	0.41974022	1	1
1999	5722.12214	3.78859251	1.46482059	0.3945358	1	1
2000	6649.71653	3.89325025	1.48103484	0.39464901	1	1
2001	6952.28904	3.79484521	1.49442042	0.39294815	1	1
2002	7023.78728	3.79517618	1.55080612	0.37228383	1	1
2003	6673.16697	3.8069065	1.61936926	0.39298091	1	1
2004	7115.12177	3.79352995	1.6356958	0.39080843	1	1
2005	7893.96823	3.91474003	1.69148719	0.42185708	1	1
2006	8666.33535	3.96321841	1.67268038	0.41161572	1	1
2007	9219.81778	4.08443128	1.6611282	0.41877917	1	1
2008	9578.5707	4.09643609	1.6499565	0.41064579	1	1
2009	7647.68475	3.90092031	1.64376687	0.41729155	1	1
2010	8851.35051	3.96266238	1.62362593	0.43312696	1	1
2011	9715.1126	4.02966008	1.62628494	0.44607281	1	1
2012	9703.37102	4.00955441	1.58076621	0.42407134	1	1

Anexo C. Códigos para R

Este pequeño apartado se enfoca en presentar de forma simple algunos comandos que se han utilizado para el tratamiento de datos, a base del lenguaje y paquetes útiles en R, primero se presentara de forma escrita cada instrucción para posteriormente pasar al comando que es aplicable en R.

Para cargar una serie de variables con un número determinado de objetos, se aplica la siguiente orden (el archivo puede contener una solo variable o múltiples).

Nombre de la variable que identifica los datos a cargar `<-read.csv("Dirección del archivo\\nombre del archivo.csv")` # Este comando es útil para mandar llamar o cargar una base de datos, en formato "csv"⁶³ entre comillas.

*Ejemplo: `X<-read.csv("D:\\Users\\MD\\Downloads\\VDF.csv")`*⁶⁴.

Una vez hecho el procedimiento anterior es posible que se dese separar la serie, si se cargó un archivo con múltiples variables (si el archivo solo contiene una serie no es necesario este paso), para ello se usa el comando que genera variables de forma individual (las separa):

Nombre de la serie individual que se va a separar de la serie múltiple `<- Nombre de la variable que identifica los datos que se han cargado (el cual es un archivo con múltiples seres) [,Columna de la serie múltiple donde se encuentra la serie a separar] #` Con este tipo de ajuste se logra desagregar la serie de tiempo múltiple en cada uno de las variables a utilizar para realizar análisis de manera individual.

Ejemplo: `X1<-X[,1]; X2<-X[,2]; X3<-X[,3]Xn<-X[, n]`

Si se desea identificar los objetos que conforman la serie individual, como objetos numéricos, series de tiempo, etc. se necesita emplear la instrucción (ts para (time series) serie de tiempo) y si se desea además agregarle el periodo en que inicia, la frecuencia o periodicidad del objeto, se necesitan aplicar el siguiente procedimiento:

⁶³ El formato en que se cargaran y guardaran los archivos es "csv entre comillas"

⁶⁴ Después de completar cada instrucción se debe de oprimir la tecla "Enter".

Nombre de la variable que se identifica como serie de tiempo <-ts(Nombre de la serie individual que se separó de la serie múltiple, start=periodo de inicio, frequency=periodicidad en que ocurren los objetos de la serie) # Esta mezcla de comandos permite asignarle a la serie individual características específicas identificando el tipo de objeto, lapso de tiempo en ocurre y en qué frecuencia se recolecta la observación.

*Ejemplo: X11<-ts(X1, start=1950, frequency=4); Xnn<-ts(Xn, start=1950, frequency=4)**

**Nota: En este ejemplo la serie inicia en 1950, la cual ocurre cada trimestre.*

Después de los pasos anteriores, algo que se realiza con frecuencia por Economistas es la Gráfica de la variable para observar su comportamiento a lo largo del periodo de estudio.

Para generar una gráfica es necesario tener en cuenta las siguientes instrucciones:

plot(Nombre de la serie de tiempo, main="Nombre de la Grafica", xlab="Nombre para el eje x", ylab="Nombre para el eje y", col="Color", type="tipo de la línea") # Por si silo el comando "plot" es el encargado de generar una gráfica, lo demás que se le agrego es útil para identificar y resaltar, información de la gráfica de la variable en cuestión.

Ejemplo: plot(X11, main="Grafica 1: Tasa de Interés Interbancaria", xlab="Años", ylab="Porcentaje", col="Red", type="o")

Una limitante en algunas series, es la falta de datos por largos periodos de tiempo, por lo que grafica una serie incompleta no permite observar un comportamiento más allá del límite de los datos, para tratar este problema se implementan algunos métodos de Imputación de datos faltantes.

Imputación para datos faltantes

En primera instancia se necesita observar, el archivo que contiene múltiples variables, para poder responder ¿Cuáles de ellas son las que presentan datos completos? y ¿Cuales cuentan con datos no disponibles?, para ello se debe elaborar una matriz gráfica,

en la cual se identifique, el número de datos faltantes por variable y el número de variables con datos completos.

Para crear y observar la matriz de la variable múltiple se debe descargar e instalar la paquetería "VIM" para ello se deben aplicar los siguientes comandos:

En general para descargar cualquier paquetería que se desee se necesita escribir la siguiente orden, `install.packages("Nombre de la paquetería a descargar")`, aun vez hecho la anterior para cargar la paquetería al programa y que esta sea funcional se debe de utilizar, la orden `library` "o `require`" (Nombre de la paquetería que se descargó) y para obtener información de la paquetería, se tiene que utilizar el comando `help` (Nombre de la paquetería que se descargó).

Comandos para descargar, instalar y obtener información sobre la paquetería "VIM" para la creación de una matriz la cual muestra los datos faltantes y disponibles en una serie múltiple.

Ejemplo: `install.packages("VIM")` # Instrucción para descargar la paquetería

`library(VIM);` o `require (VIM)` # Comando para instalar y que sea fundacional la paquetería que se descargo

`help (VIM)` # Esta orden permite obtener información de la paquetería, creador, fecha de publicación, ejemplo de su uso, etc.

Como tal para visualizar los datos faltantes una vez hecho lo anterior se necesita implementar la siguiente serie de comandos:

Nota: si las variables a las que se les aplicara la imputación de datos faltantes se encuentran en forma individual, se necesitara unir estas en una serie múltiple que contenga mínimo una variable ancla, que le de orden y congruencia a la imputación.

Nombre del conjunto de variables implementadas para la imputación de datos `<-ts.intersect` "o `data.frame`" (variable con datos completos, variable con datos faltantes 1, variable con datos faltantes 2,, variable con datos faltantes N) # Orden para unir las variables que se someterán al proceso de imputación.

Ejemplo: `Xi<-ts.intersect (X11, X22, X33, ..., XNN)`

$X_i <- \text{data.frame}(X_{11}, X_{22}, X_{33}, \dots, X_{NN})$

Si la serie que se cargó desde el principio identificada como X es una serie múltiple que contiene solo los datos útiles para la imputación no se necesita realizar el proceso anterior, sino implementar directamente el proceso siguiente:

```
Nombre del conjunto de variables a observar <- aggr(Nombre del conjunto de variables implementadas para la imputación de datos, col=c("Color para los datos observados", "Color para los datos no observados"),
```

```
numbers=TRUE, sortVars=TRUE,
```

```
labels=names(Nombre del conjunto de variables implementadas para la imputación de datos), cex.axis=(porcentaje de datos disponibles),
```

```
gap=(graficas por variable "si son 5 variables entonces anotar el número 5"), ylab=c("Datos Faltantes", "Datos Existentes")) # El comando anterior desarrolla la gráfica su aplicación debe ser conjunta, no parte por parte.
```

Ejemplo:

```
imp_X <- aggr(Xi, col=c("navyblue", "red"),
              numbers=TRUE, sortVars=TRUE,
              labels=names(Xi), cex.axis=.7,
              gap=3, ylab=c("Datos Faltantes", "Patron"))
```

Nota: para hacer posible esta instrucción y obtener la gráfica de los datos se debe seleccionar todo el proceso del ejemplo y oprimir "Enter". Como se observa a continuación "en R el cuadro no va".

```
imp_X <- aggr(dXi, col=c("navyblue", "red"),
              numbers=TRUE, sortVars=TRUE,
              labels=names(dXi), cex.axis=.7,
              gap=3, ylab=c("Datos Faltantes", "Patron"))
```

Una vez seleccionado todo el proceso de la instrucción para visualizar las variables con datos disponibles y no disponibles, mediante el uso de la paquetería "VIM" solo queda oprimir "Enter".

El Nombre “imp_X” permite observar el número de datos faltantes por cada variable a con datos no disponibles.

Ya que se cuenta con el número preciso de los datos faltantes, es fácil calcular la probabilidad de los objetos faltantes de forma individual y de forma conjunta, esto será necesario para que los procesos de imputación contemplen la probabilidad de perdida de los datos y puedan calcular la probabilidad de los datos disponibles.

Imputación Simple

Método NNI (Nearest Neighbour Imputation)

Para poder llevar a cabo este método y los posteriores, es necesario conocer la probabilidad de los datos no disponibles que es útil para generar la imputación, para lo que se tiene que elaborar la siguiente instrucción:

Nombre de la variable que indica la probabilidad<-rep(probabilidad de inclusión individual teniendo en cuenta el total de objetos y variables faltantes en la muestra, total de objetos y variables faltantes) # Con esta orden se genera la probabilidad de la imputación, esta depende de la cantidad de objetos a imputar por variable y del número de variables con datos faltantes.

Ejemplo: p<-rep(1/33, 33).

Nota: Esta orden genera la “Probabilidades de inclusión” que muestra todo el conjunto de datos faltantes, si la cantidad de datos a imputar por variable es de 10 y son 3 variables, la probabilidad será del 3.0303% debido a los 30 datos faltantes más la probabilidad de las 3 variables con datos no disponibles, por tanto, la probabilidad de inclusión por cada dato faltante es $1/33=0.0303030303$.

Ahora ya es posible continuar con la aplicación del método de imputación de datos faltantes llamado Nearest Neighbour Imputation, también conocido como método de imputación del vecino más cercano.

Para los métodos clásicos, la imputación genera una matriz, que contiene: a la variable ancla, la variable con datos faltantes y la probabilidad de inclusión.

Lo primero es volver a utilizar las variables de forma separada o individual; X_{11} , X_{22} , X_{33} , ..., X_{nn} ; para poder crear una matriz que contenga el orden de las variables antes mencionado y poder generar la imputación.

Ya que se tiene las variables separadas e identificadas se puede aplicar el método de forma directa o generar antes una matriz, que es opcional en la que se identifique, la variable ancla o variable completa, la variable con datos faltantes y la probabilidad de inclusión, para ello se emplea la siguiente instrucción:

Nombre de la matriz que identifica “la variable ancla, la variable con datos no disponibles y la probabilidad de inclusión” `<- cbind(“variable con datos faltantes”, “variable ancla”, “probabilidad”)` # Con esta orden se puede visualizar las variables que se utilizara en el proceso de imputación.

Ejemplo: `MTX <- cbind(“X22”, “X11”, “p”)`

Para aplicar ya como tal el Método NNI a las variables, lo primero será generar un Nombre que identifique el método usado “*IMPUTACION.NNI*” que es una función de las variables a tratar “*function(X22,X11,p)*”, una vez hecho lo anterior se pasara a identificar de forma detallada los datos no disponibles, los datos disponibles, la probabilidad de inclusión de los datos no disponibles, la probabilidad de los datos disponibles, en generar construir características específicas que le dan a este método su nombre, para ello se debe identificar o nombrar cada variable, sin perder de vista el orden y congruencia de estas. La siguiente instrucción presenta todo el proceso desarrollado y listo para aplicarse a las variables que antes se observaron en la matriz, para aplicar el método se deben de seleccionar todos los campos y después oprimir “Enter” y listo ya se generó la imputación, por el método de vecino más cercano.

```
IMPUTACION.NNI <- function(X22,X11,p)
{
  # Separar los datos faltantes en la variable incompleta
  D.NA <- is.na(X22)

  # Separar los datos existentes en la variable incompleta
  D.r <- !D.NA
```

```

# Valores de X22, X11 y p en las series

c2.r          <- c2[D.r]
p1.r          <- p1[D.r]
p.r           <- p[D.r]

# Valores de p1 y p para los datos no observados
p1.m          <- p1[D.NA]
p.m           <- p[D.NA]
m             <- length(p1.m)

# Ahora se procede a imputar utilizando el método NNI

DNTS         <- c()
for (i in 1:m)
{
  p1.i        <- p1.m[i]
  p.i         <- p.m[i]
  VCTR        <- sqrt((p1.i*p.i - p1.r*p.r)^2) / (p.i + p.r)
  MIN         <- min(VCTR)
  D.MIN       <- MIN==VCTR

  LEN         <- sum(D.MIN)
  if (LEN==1) DNTS <- c(DNTS, c2.r[D.MIN])
  else       DNTS <- c(DNTS, sample(c2.r[D.MIN], 1,
pb=p.r[D.MIN]) )
}

c2[D.NA] <- DNTS

##### Datos de salida #####

```

```
c2
}
```

Ya hecho y revisado minuciosamente lo que se tiene en el cuadro anterior se procede a seleccionar toda la orden y oprimir el botón “Enter” para que se realice la imputación.

```
IMPUTACION.NNI <- function(x22,x11,p)
{
# Separar los datos faltantes en la variable incompleta
D.NA <- is.na(x22)
# Separar los datos existentes en la variable incompleta
D.L <- !D.NA
# Valores de X22, X11 y p en las series
c2.L <- c2[D.L]
p1.L <- p1[D.L]
p.L <- p[D.L]
# Valores de p1 y p para los datos no observados
p1.m <- p1[D.NA]
p.m <- p[D.NA]
m <- length(p1.m)
# Ahora se procede a imputar utilizando el método NNI
DNTS <- c()
for (i in 1:m)
{
p1.i <- p1.m[i]
b.i <- p.m[i]
VCTR <- sqrt(p1.i * b.i - p1.i * b.i * b.i) / (b.i + b.i)
MIN <- min(VCTR)
D.MIN <- MIN == VCTR
LEN <- sum(D.MIN)
if (LEN == 1) DNTS <- c(DNTS, c2.r[D.MIN])
else DNTS <- c(DNTS, sample(c2.r[D.MIN], 1, pb = p.i[D.MIN]))
}
c2[D.NA] <- DNTS
#### Datos de salida ####
c2
}
```

Aplicado el proceso anterior, para extraer del algoritmo empleado, la base de datos con información completa se tiene que aplicar el siguiente comando:

Nombre que identifica el método usado (variable con datos faltantes, variable con datos completos, probabilidad de inclusión) # El cual permite extraer y poder así manipular los datos que ya se han generado, ahora las variables con datos faltantes ya cuentan con datos completos, por el proceso que se desarrolló, con el algoritmo del método NNI para generar datos faltantes.

Ejemplo: IMPUTACION.NNI(X22,X11,p)

Para mantener, con un nombre que sea fácil de recordar y corto, los datos imputados extraídos con “*IMPUTACION.NNI(X22,X11,p)*” se puede cargar (copiar) por comodidad en una nueva serie múltiple, para ello se debe aplicar la siguiente orden (esto es opcional):

Nombre que identifica las variables extraídas del proceso de imputación NNI <-
Nombre que identifica el método usado (variable con datos faltantes, variable con datos completos, probabilidad de inclusión)

Ejemplo: INX22<-IMPUTACION.NNI(X22,X11,p)

Con la creación de la variable anterior concluye la imputación por el método NNI; Este procedimiento se aplica a cualquier serie de tiempo, siempre y cuando los datos faltantes no sean secuenciales y la cantidad de ellos no sea mayor a cierto porcentaje del total de los datos, ya que si no se tiene presente esto, puede este método no ser el adecuado, aun cuando algunas características básicas estadísticas indiquen que la serie completa es aceptable, para ello se tienen que tener presentes las características teóricas de la serie y de la variable ancla que es responsable de su comportamiento.

Otro método para generar valores no disponibles, sin temer a la presencia de la condición secuencial en los datos faltantes, es aplicar el método RHD (Random Hot-Deck).

Método RHD (Random Hot-Deck)

Para llevar a cabo la aplicación de este proceso se debe, al igual que el anterior, generar una variable que indique la probabilidad de inclusión o utilizar la anterior solo que cambiando el “Nombre de la variable que indica la probabilidad”

*Ejemplo: Generar una nueva variable que indique la “probabilidad de inclusión”:
exp <- rep(1/33, 33) o de la anterior llamada “p” cargar (copiarla) en otra llamada “exp1”:
exp1<-p.*

Para este método también se puede crear la matriz que identifica las variables a utilizar en la imputación o saltarse este paso e ir directamente al proceso creador del algoritmo RHD, solo que en este caso se puede omitir la variable ancla ya que el método RHD no la utiliza, debido a que es un proceso aleatorio.

Ejemplo: MTXR <- cbind(X22,exp)

Para aplicar el Método RHD solo hace falta la variable con datos faltantes y la variable representante de la probabilidad de inclusión, lo primero es agregar un Nombre que identifique el método a utilizar “*IMPUTACION.RHD*”, este representa la función de las variables a tratar “*function(X22,exp)*”, una vez hecho lo anterior se pasara a identificar de forma detallada los datos no disponibles, los datos disponibles, la probabilidad de inclusiones de los datos no disponibles, la probabilidad de los datos disponibles, y generar características específicas, para ello se debe identificar o nombrar cada nueva variable, sin perder de vista el orden y congruencia de estas. La siguiente instrucción ya presenta todo el proceso desarrollado y listo para aplicarse a las variables que antes se observaron en la matriz:

```
IMPUTACION.RHD <- function(X22,exp)
{
  # Calculo de las posiciones relativas de los datos no
observados
  C.NA          <- is.na(X22)
  a              <- sum(C.NA)

  # Calculo de las posiciones relativas de los datos
observados
  C.f           <- !C.NA
  f             <- sum(C.f)

  # Valores de X22 y exp, para datos observados
  X22.f        <- X22[C.f]
  exp.f        <- exp[C.f]

  # Imputación usando el método RHD

  if (a < f) X22[C.NA] <- sample(X22.f, a, prob=exp.f)
  else      X22[C.NA] <- sample(X22.f, a, prob=exp.f,
replace=TRUE)
```

```
##### OUTPUT #####
X22
}
```

Al igual que con el método anterior para aplicar la imputación de datos, se deben de seleccionar todos los campos y después oprimir “Enter”, lo que genera que la variable con datos faltantes sea una variable con datos completos.

```
IMPUTACION.RHD <- function(X22,exp)
{
# Calculo de las posiciones relativas de los datos no observados
C.NA <- is.na(X22)
a <- sum(C.NA)

# Calculo de las posiciones relativas de los datos observados
C.f <- !C.NA
f <- sum(C.f)

# Valores de X22 y exp para datos observados
X22.f <- X22[C.f]
exp.f <- exp[C.f]

# Imputación usando el método RHD
if (a < f) X22[C.NA] <- sample(X22.f, a, prob=exp.f)
else X22[C.NA] <- sample(X22.f, a, prob=exp.f, replace=TRUE)

##### OUTPUT #####
X22
}
```

Ya generada la imputación, teóricamente este método al ser aleatorio no guarda un comportamiento estable respecto a una variable ancla, ya que no se encuentra dentro del algoritmo que produce datos no observados.

Para extraer del algoritmo RHD antes empleado, la base de datos con información completa se tiene que aplicar el comando:

Ejemplo: IMPUTACION.RHD(X22,exp)

El término “opcional” antes mencionado, en cuanto a decidir entre guardar y no guardar la imputación generada, en este tipo de método de imputación resulta obsoleto, ya que como el método es aleatorio, cada que se dese observar el valor de los datos imputados con el comando anterior los valores cambiaran, lo más recomendable es guardar los datos atreves de la generación de una nueva variable que contenga la imputación, así cada que se desee revisar la variable que contiene los datos imputados mantendrá los valores de la imputación que se generó por primera vez.

Para llevar acabo lo antes mencionado se debe generar del comando anterior una copia de sus datos para que sea más fácil el uso de las variables completas, generadas por el método RHD, para ello se implementa el siguiente comando:

Ejemplo: IRX22<-IMPUTACION.RHD(X22,exp)⁶⁵

La creación de la variable anterior, concluye el proceso de imputación RHD, este método se aplica a cualquier serie de tiempo con datos faltantes, resulta eficiente cuando los objetos de la variable son aleatorios.

NOTA: ya que se han hecho todas las imputaciones por cualquiera de los dos métodos anteriores, para ya no repetir el proceso de imputación por variable, se pueden guardar estas variables completas, a través de la implementación de los siguientes comandos:

Lo primero será agrupar por tipo de método de imputación, las variables con datos completos:

Método NNI: solo hay que identificar todas las variables completas generadas con este método:

Ejemplo: para este método se agregó el termino (IN), que hace fácil identificar todas las variables generadas, "INX22", "INX44", ..., "INXnn".

Ya que se identificaron solo hay que unir las, en una serie múltiple que las contenga, como se observa en el siguiente caso:

Ejemplo: NNI<-ts.intersect (INX22, INX44, ..., INXnn)⁶⁶

Nota: Este inmediato proceso de identificar, y agrupar las variables, es válido para identificar y agrupar otras variables generados por otros procesos.

Para continuar y mantener los datos imputados, cada que se deseen utilizar, estos deben guardarse (para seguir un orden, los archivos se guardan en formato ".csv"), para ello es útil el comando siguiente:

⁶⁵ Este paso ya antes se había desarrollado para evitar volverlo a explicar véase el caso similar anterior

⁶⁶ Este paso ya antes se había desarrollado, véase el caso similar anterior

write.csv (Nombre de la variable que contiene a las variables completas por un mismo método, "Dirección en la que se desea guardar la serie múltiple \\ Nombre de la serie múltiple a guardar.csv")

Ejemplo: write.csv (NNI, "D:\\Users\\MD\\Downloads\\ NNI.csv")

Ya que se han completado las series con datos faltantes y guardado con la instrucción anterior, para volverlos a utilizar, estos se pueden cargar y modificar con los comandos desarrollados al inicio de “Códigos para R” hasta “Imputación para datos faltantes”

Los métodos anteriores son los métodos clásicos de imputación de datos, conocidos como métodos de imputación simple, que se limitan al uso de una variable ancla, e imputaciones individuales restringiendo su potencia a un determinado número de datos faltantes y a la no secuencia de pérdida de datos. Para resolver estos inconvenientes de los métodos de imputación simple es útil aplicar modelos de imputación múltiple, que contemplan una extensa gama de información sobre pérdida de datos, agregando características que mejoran la confianza sobre los datos imputados.

Imputación Múltiple

Para realizar este tipo de proceso se tienen que agrupar las series a las que se les aplicara el tratamiento de datos faltantes ya que estos métodos consideran seres múltiples y tienen el potencial de realizar imputaciones para todas las variables con datos faltantes al mismo tiempo.

Para ello se emplean las variables construidas anteriormente “Xi”, o la variable de la serie múltiple cargada al inicio, si esta ya lista para que se le aplique el proceso de imputación múltiple.

Método MICE (Multivariate Imputation by Chained Equations)

Para aplicar este método de imputación múltiple mediante ecuaciones encadenadas (por sus siglas en ingles MICE) es necesario descargar y cargar la paquetería “mice” para ello se deben aplicar los siguientes comandos:

Ejemplo: install.packages("mice") # Orden para descargar la paquetería "mice"

library(mice) # Comando para cargar las propiedades de la paquetería "mice", para que en R sea funcional.

Si por alguna falla se desea corroborar los datos de la serie múltiple, es útil el comando: `md.pattern(Nombre de la serie múltiple)`

Ejemplo: md.pattern(Xi) # Comando para visualizar la matriz de datos faltantes

Debido a que los procesos de imputación múltiple son más complejos que los métodos de imputación simple, por el gran uso de algoritmos para generar la imputación el descargar y aplicar las paqueterías facilitan la aplicación de los métodos de imputación múltiple.

El siguiente paso es implementar la serie de órdenes, que identifican la variable múltiple y el método que se aplicara para generar los datos faltantes.

Nombre que identifique el método a utilizar `<- mice(Nombre del objeto que contiene las variables a imputar, m=Numero de imputaciones, maxit =Cantidad de datos faltantes, method = 'Método de imputación usual para variables numéricas', seed =Número total de datos) # Estas instrucciones permiten realizar la imputación considerando las características de las variables.`

Ejemplo: impt_datos <- mice(Xi, m=1, maxit = 30, method = 'pmm', seed = 132)

Ya que se hizo la imputación es útil observar individualmente la imputación por variable para ello se aplica el siguiente comando:

Nombre que identifique el método a utilizar `impNombre de la variable que se desea observar`

Ejemplo: impt_datos\$imp\$X22

impt_datos\$imp\$Xnn

Para extraer las variables sometidas al proceso de imputación múltiple se debe aplicar la siguiente orden:

Nombre que identifica a las variables imputadas<- complete(Nombre que identifique el método de imputación utilizado, Numero de variables a extraer de la imputación múltiple)

Ejemplo: micedatos <- complete(impt_datos, 4) # Con este comando se unen los datos imputados y los datos originales para ser extraídos.

Ya que se extrajeron los datos estos pueden permanecer con la variable que los extrajo, o se puede generar una nueva variable que copie los datos de la variable extractora de los datos imputados para que estos se puedan guardar.

Para generar una nueva variable que contenga los datos de la variable que extrajo los datos se implementa, como en el ejemplo que sigue:

Ejemplo: im<-micedatos # Este comando permite generar una copia de los datos de la variable que se desee.

Para finalizar con el proceso de imputación MICE, solo queda guardar las series imputadas con este método para ello véase el siguiente ejemplo:

Ejemplo: write.csv(im, " D:\\Users\\WMD\\Downloads \\ im1.csv")

Otro método para generar valores no disponibles, en series con múltiples variables es el método de imputación denominado "Amelia".

Método "Amelia"

Para implementar este método de imputación hay que descargar y cargar la paquetería, para ello se utilizan los siguientes comandos.

install.packages("Amelia") # comando para descargar la paquetería "Amelia"

library(Amelia) # comando para instalar y cargar las propiedades de la paquetería "Amelia"

Ya que se cargó la paquetería y está lista para su uso la instrucción para generar la imputación múltiple con este método es la siguiente:

Nombre que identifique el método a utilizar<- amelia (Nombre de la variable que contiene los datos no observados, m=Numero de imputaciones a realizar, Nombre que identifica a la primera variable a imputar= "Nombre de la primera variable a imputar", ..., Nombre que identifica a la n-sima variable a imputar= "Nombre de la n-sima variable a imputar")

Ejemplo: amelia_fit <- amelia(Xi, m=1, X22 = "X22", X44= "X44", Xnn="Xnn") # la orden indica que por el método Amelia se genere una sola la imputación general de las variables que indican datos faltantes.

El paso que sigue es extraer del proceso de imputación las variables con datos completos para ello se requiere implementar la siguiente orden:

Nombre que identifique el método a utilizar\$imputations [[Numero de imputación=m]] # este comando une los datos imputados y los datos originales por variable en un conjunto de datos general.

Ejemplo: amelia_fit\$imputations[[1]]

Al igual que en los casos anteriores de imputación se tiene que generar una variable con nombre corto que sea una copia de la variable que extrajo los datos imputados:

Ejemplo: ia<-amelia_fit\$imputations[[1]]

Con el fin de poder disponer de las variables completas en otro momento hay que guardar la variable múltiple que se acaba de generar:

Ejemplo: write.csv (ia, "D:\\Users\\MD\\Downloads \\ ia1.csv")

Con esto termina el proceso de generar datos faltantes a través del uso de los métodos de imputación múltiple, lo que permite estar listos para hacer la comparación gráfica y estadística de las variables imputadas, lo que permitirá elegir el método más eficiente para generar los datos faltantes de las series incompletas.

Elección del método que crea datos inexistentes de forma eficiente.

Una vez realizadas las imputaciones por los diferentes métodos, mandamos llamar los archivos que se guardaron después de realizar los procesos de imputación, estos contienen variables con datos completos, lo que permitirá poder elegir el método que mejor genera datos faltantes, la elección del método se realizará en dos etapas, en la primera se analiza el comportamiento grafico de la variable con datos faltantes y de las variables que se generaron con los diferentes métodos de imputación que contienen datos completos de la misma variable original, de esta comparación grafica se desecharan las variables imputadas que presenten un comportamiento atípico respecto a la variable original; ya que se desecharon algunas variables imputadas en la primera etapa, la segunda etapa analizara los estadísticos básicos de las variables que pasaron la prueba anterior, para esto la variable imputada que muestre menos desvíos de la original, es la que se elegirá como representante de la variable original con datos faltantes.

Los datos a utilizar se cargan con la siguiente orden, identificando adecuadamente que las series a cargar son las generadas por los distintos métodos de imputación y las variables originales con datos faltantes:

Para las variables originales con datos faltantes

Nombre de la variable que identifica las series con datos faltantes <-
read.csv("Dirección del archivo\\Nombre del archivo original con datos faltantes.csv")

Ejemplo: originalX<-read.csv("D:\\Users\\MD\\Downloads\\VDF.csv")

Para las variables generadas por los distintos métodos de imputación (se deben cargar todos los archivos que contengan las series imputadas)

Nombre de la variable que identifica el primer método que genero la imputación de datos faltantes <-read.csv("Dirección del archivo\\Nombre del archivo que contiene los datos imputados por el primer metodo.csv")

Ejemplo: datosNNI<-read.csv("D:\\Users\\MD\\Downloads\\ NNI.csv")

También se deben cargar las otras series imputadas para poder hacer las comparaciones:

```
Ejemplo: datosRHD<-read.csv("D:\\Users\\MD\\Downloads\\ RHD.csv")
```

```
datosMICE<-read.csv("D:\\Users\\MD\\Downloads\\ im1.csv")
```

```
datosAm<-read.csv("D:\\Users\\MD\\Downloads\\ ia1.csv")
```

Después de cargar la información de las variables imputadas, se deben desagregar, convertir en series de tiempo, iniciando en el mismo periodo, como se muestra a continuación:

Ejemplo desagregar las series:

```
X1<- originalX[,1]; X2<- originalX[,2];.....Xn<-originalX[, n]
```

```
Xr1<- datosRHD[,1]; Xr2<- datosRHD [,2];.....Xrn<-datosRHD [, n]
```

Ejemplo convertirlas en serie de tiempo, manteniendo un mismo periodo de inicio y frecuencia:

```
X1s<-ts(X1, start=1950, frequency=4); ...; Xns<-ts(Xn, start=1950, frequency=4)
```

```
Xm1s<-ts(Xm1, start=1950, frequency=4); ...; Xm1s <-ts(Xmn, start=1950, frequency=4)
```

Ya que se realizó lo anterior se tiene que agrupar la variable original y las variables imputadas a partir de ella por los distintos métodos, como se verá a continuación:

Variable original "X2s", variables imputadas por los distintos métodos: NNI "Xn2s", RHD "Xr2s", MICE "Xm2s", Amelia "Xa2s".

Después para poder graficar una sola imagen donde salgan las variables anteriores primero hay que crear una serie múltiple con los valores de la variable en común. Para ello se emplea el siguiente comando:

Nombre de la variable múltiple que identifica la variable en común<-data.frame(Nombre de la variable en común, Nombre de la variable imputada por el primer método,, Nombre de la variable imputada por el N método)

```
Ejemplo: X2i<-data.frame (X2s, Xn2s, Xr2s, Xm2s, Xa2s)
```

Ya que se tiene lo anterior para todas las variables con datos faltantes, se procede con el Análisis Grafico.

Análisis Grafico

Para elaborar la gráfica conjunta que permitirá observar los diferentes comportamientos de una variable en común, es necesario aplicar la siguiente orden:

`plot(Nombre de la variable múltiple que identifica la variable en común, main="Nombre de la gráfica que compara los datos de la variable en común")` # Las variables que no se ajusten al comportamiento que sigue la variable original serán eliminadas, las que siguan un comportamiento acorde a la original se mantendrá para poder realizar el análisis estadístico (eliminar una variable depende del criterio que se maneje o de lo que se esté buscando).

Ejemplo: `plot(X2i, main= "Comparación Grafica de la Variable No.2")`

Ya que se eliminaron algunas variables con el método anterior respecto de la variable en común, para agregar veracidad a la elección del método es necesario aplicar el Análisis Estadístico.

Análisis Estadístico

Como se tiene un objeto múltiple que representa la unión de series porque tienen una variable en común y ya solo se tiene unas cuantas variables para comparar sus estadísticos básicos con los estadísticos básicos de la variable en común, solo hay que prestar atención a los estadísticos de las variables que pasaron el filtro anterior y los estadísticos de la variable original, para ello se emplea la siguiente orden:

`summary (Nombre de la variable múltiple que identifica la variable en común)` # con este comando se obtiene los estadísticos básicos: Mínimo, Primer Cuartil, Mediana, Media, Tercer Cuartil y Máximo.

Ejemplo: `summary (X2i)`

Nota: como la serie a la que se le extraerán sus estadísticos básicos es múltiple este comando genera los estadísticos básicos por cada variable dentro de la serie múltiple; Solo hay que prestar atención a los estadísticos de las variables que no se han eliminado anteriormente.

Se obtienen los estadísticos por cada variable que paso la prueba del análisis gráfico y se comparan con los estadísticos de la variable original, la variable construida que muestre menos desvíos del original será la que mejor represente su comportamiento. Por tanto, si la variable que mejor representa a la original es la que se generó por el método Amelia, el método Amelia es el más eficiente en la generación de estos datos no disponibles de esta variable.

Ya que este proceso se ha empleado con las otras variables con datos faltantes y sus respectivas variables generadas por imputación con datos completos, y se ha elegido un método en común representante de la Imputación Eficiente, solo queda desagregar de las series múltiples con una variable en común la variable que mejor representa a la original y armar una variable múltiple que solo contenga las variables eficientes para poder guardarlas y disponer de ellas, en otro momento.

En este caso se supone que las variables que mejor representan a la original, son las que proporciono el método Amelia, entonces de las variables múltiples que tienen respectivamente una variable en común, se tiene que extraer la variable que genero el método Amelia.

Para lo anterior se tienen que aplicar el siguiente comando:

Nombre de la variable que es la que representa mejor a la variable en común<-
Nombre de la variable múltiple que identifica la variable en común [,Numero de columna
donde se encuentra la variable a extraer] # Esto se tiene que hacer para las distintas
variables en común con datos faltantes.

Ejemplo: X1a<- X1i [,5]

X2a<- X2i [,5]

X3a<- X3i [,5]

$XNa \leftarrow XNi [,5]$

Ya que se extrajeron las variables solo hay que unir las en una serie múltiple que contenga los datos de la imputación por el método eficiente y guardar la variable múltiple (estos procesos ya se han explicado con anterioridad).

Ejemplo: Unirlas series en una serie múltiple

$Xa \leftarrow \text{data.frame}(X1a, X2a, X3a, XNa)$

Ejemplo: Guardar la serie múltiple que contiene los datos imputados eficientes

$\text{write.csv}(Xa, "D:\\Users\\MD\\Downloads \\ Xa.csv")$

Esto concluye la imputación de datos por el método más eficiente que completa las variables con datos faltantes. Ya que se ha guardado la información de la serie múltiple, esta información estará disponible para poder realizar otros análisis que manejen datos completos, que es el siguiente caso.

Para el proceso de regresión se tiene que evitar el problema de regresión espuria por lo que las series se tienen que someter a pruebas de Estacionalidad o buscar alguna transformación que las vuelva estacionarias lo que permitirá generar estimadores eficientes.

Análisis de Estacionalidad

Para llevar a cabo el análisis de estacionalidad se tiene que cargar la serie que contenga los datos completos antes generados, desagregar la serie, agregar un periodo de inicio en común y la frecuencia con que se observa al objeto.

Ejemplo para cargar la serie:

$IXa \leftarrow \text{read.csv}("D:\\Users\\MD\\Downloads \\ Xa.csv")$

Ejemplo para desagregar la serie:

$\text{Ejemplo: } IX1 \leftarrow IXa[,1]; IX2 \leftarrow IXa[,2]; IX3 \leftarrow IXa[,3]; \dots; IXN \leftarrow IXa[,N]$

Ejemplo convertirlas en serie de tiempo, manteniendo un mismo periodo de inicio y frecuencia:

IX1s<-ts(IX1, start=1950, frequency=4); ...; IXNs<-ts(IXN, start=1950, frequency=4)

Terminado lo anterior para todas las series, prosigue la aplicación del análisis de estacionalidad por variable, para identificar si precisamente se cumple que las series son estacionarias, se inicia con el análisis grafico para identificar el comportamiento de la serie (comportamiento estable “estacionario”, comportamiento inestable “no estacionario”)

Análisis Grafico

Este proceso es útil para detectar el comportamiento que sigue la serie, con base en la imagen de la variable se puede inferir un comportamiento estacionario o no estacionario, para observar esto se debe implementar por variable la siguiente orden:

`plot(Nombre de la variable sometida al análisis de estacionalidad, main="Nombre de la gráfica", xlab="Identificación del eje X", ylab="Identificación del eje Y", col="Color", type="Identificación del tipo de línea de la Grafica")` # Con este comando se crea la gráfica de forma individual por variable, agregándole título, lo que representa el eje X y el eje Y, el tipo de color deseado y la forma de la línea que representa a la variable.

Ejemplo: plot(IX1s, main="GraficaY: PIB", xlab="años", ylab="US\$", col="navy", type="o")

Nota: Con esta orden es posible generar las otras graficas de cada variable de forma individual.

Con la forma anterior empíricamente se puede inferir estacionalidad, para probar esta idea se tienen que emplear, pruebas formales de estacionalidad las cuales son: Función de Autocorrelacion, Función de Autocorrelacion Parcial y Prueba Dickey Fuller Aumentada.

Función de Autocorrelacion

Esta prueba permite identificar si la serie es estacionaria, para lo cual relaciona el valor de la serie respecto a los valores de sus diferentes rezagos, si la relación en los diferentes rezagos permanece dentro de una banda de confianza entonces la serie es estacionaria, para verificar esto se emplea la siguiente orden:

```
acf(Nombre de la variable de la cual se desea observar el comportamiento, main = "Nombre de la gráfica que representa la Función de Autocorrelacion") # Este comando crea la gráfica donde se relación a una variable con sus diferentes rezagos.
```

Ejemplo: acf(IX2s, main = " Función de Autocorrelacion de la variable IX2s")

Función de Autocorrelacion Parcial

La Función de Autocorrelacion Parcial es una prueba complemento de la Función de Autocorrelacion con la que se observa si el comportamiento de las series es estacionario, se aplica con la siguiente instrucción:

```
acf(Nombre de la variable de la cual se desea observar el comportamiento, type = "Tipo de Función", main = "Nombre de la gráfica que representa la Función de Autocorrelacion Parcial") # Con esta orden se crear la Función de Autocorrelacion Parcial, la cual confirma el resultado de la Función de Autocorrelacion, indicando si la serie es estacionaria o no estacionaria.
```

Ejemplo: acf(IX2s, type = "partial", main = " Función de Autocorrelacion Parcial de la variable IX2s")

Hasta este punto es posible identificar si las series analizadas son estacionarias o no, un método más para probar si las series son estacionarias lo ofrece la aplicación de la Prueba Dickey Fuller Aumentada (DFA), para ello debido que en ella se prueba en específico si una serie presenta o no, el problema de raíz unitaria, se debe tomar en cuenta el siguiente supuesto:

- Si la prueba DFA indica que la serie analizada presenta el problema de raíz unitaria, la serie será no estacionaria: por el contrario, si la prueba indica

que la serie no presenta problema de raíz unitaria, entonces la serie es estacionaria.

Prueba Dickey Fuller Aumentada

Esta prueba se diseñó para verificar si las series presentan el problema de Raíz Unitaria, si se presenta el problema, esto provoca que la estimación de la recesión sea espurria.

Antes de aplicar la prueba, se debe descargar e instalar la paquetería “urca”, la cual es la que permite el desarrollo de la prueba Dickey Fuller Aumentada.

Ejemplo:

```
install.packages ("urca")
```

```
library(urca)
```

help(ur.df) # “ur.df” es el comando que permite en específico la aplicación de la prueba Dickey Fuller Aumentada.

Su aplicación y juicio de prueba se debe aplicar, con la siguiente instrucción:

Nombre de la serie que se identifica con la aplicación de la prueba DFA dependiendo, si la prueba se aplica: “sin tendencia y sin intercepto”; “con intercepto”; “con tendencia” <- ur.df(Nombre de la variable de la cual se desea observar el comportamiento(variable a la que se le aplicara la prueba), type = c("none (sin tendencia y sin intercepto)"; “drift (con intercepto)”; “trend (con tendencia)”), selectlags = "BIC (criterio de información que elige el número de rezago en la prueba;* hay más criterios)")
Comando para desarrollar la prueba DFA; Esta se contrasta con valores “tua”, si el valor “tua” calculado es mayor al valor “tua” critico no existe raíz unitaria por lo que la series es estacionaria. El mismo procedimiento se aplica cuando la prueba se hace con intercepto y con tendencia, (BIC = Criterio de Información Bayesiano).

Ejemplo sin tendencia y sin intercepto:

```
IX2s_DFAn <- ur.df(IX2s, type=c("none"), selectlags = "BIC")
```

Ejemplo con tendencia:

```
IX2s_DFAt <- ur.df(IX2s, type=c("trend"), selectlags = "BIC")
```

Ejemplo con intercepto:

```
IX2s_DFAd <- ur.df(IX2s, type=c("drift"), selectlags = "BIC")
```

Una vez concluido lo anterior para cada variable que identifique bien que proceso se utilizó para aplicar la prueba, es necesario conocer los valores de “tua” calculados por variable y método, para poder contrastarla con la “tua” crítica o de tabas, así demostrar si las series analizadas son estacionarias o no, para ello se aplica la siguiente orden:

summary(Nombre de la serie que se identifica con la aplicación de la prueba DFA dependiendo, si la prueba se aplica: “sin tendencia y sin intercepto”; “con intercepto”; “con tendencia”)

Ejemplo: summary(IX2s_DFAn)

```
summary(IX2s_DFAt)
```

```
summary(IX2s_DFAd)
```

Ya que se realizó lo anterior, por cada aplicación del comando summary() y su respectiva variable a analizar se debe calcular un “tua” crítico o de libros para poder contrastarla. Si este contraste indica que las series analizadas no presentan el problema de raíz unitaria entonces las series son estacionarias. En caso contrario, si se indica que las series presentan el problema de raíz unitaria entonces no son estacionarias y se debe aplicar alguna transformación por ejemplo logaritmo, primera diferencia, segunda diferencia, etc., que vuelva estacionarias las variables, para ello se deben aplicar los siguientes comandos por variable y probar nuevamente la estacionalidad usando alguna de las transformaciones anteriores.

Transformación variable original a logaritmos

Nombre de la variable que se identifica con la aplicación del logaritmo <- c(log(Nombre de la variable a tratar))

Ejemplo: la <- c(log(a))

Trasformación variable original, en su primera diferencia

Nombre de la variable que se identifica con la primera diferencia <-(diff(Nombre de la variable a tratar))

Ejemplo: da<- diff(a)

Trasformación variable original, en su segunda diferencia

Nombre de la variable que se identifica con la segunda diferencia <-(diff(diff(Nombre de la variable a tratar)))

Ejemplo: dda<- diff(diff(a)).

Con las pruebas de estacionalidad se identifica cual es de las transformaciones anteriores, la vuelve estacionaria a las series, ya que se tienen bien identificadas las series estacionarias, hay que agruparlas y guardarlas para que en el siguiente proceso estén disponibles, como se verá en el siguiente ejemplo:

Para este caso se supone que el análisis de estacionalidad confirma que las variables en niveles originales no son estacionarias, la estacionalidad de estas variables se da con la transformación a sus primeras diferencias por tanto las variables estacionarias son:

Ejemplo identificar las series en primera diferencia:

dIX1s, dIX2s, dIX3s, ..., dIXNs

Ejemplo agrupar las series:

dIXs<-data.frame (dIX1s, dIX2s, dIX3s, ..., dIXNs)

Ejemplo: Guardar la serie múltiple que contiene los datos estacionales

write.csv (dIXs, "D:\\Users\\MD\\Downloads \\ dIXs.csv")

Ya que se han guardado las series identificadas como estacionarias útiles para hacer análisis de regresión clásicos, se puede proceder con cualquier análisis que se

desee realizar para objeto de este apartado se prosigue con la implementación del Análisis de Datos de Panel.

Análisis de Datos de Panel

Para empezar, se necesita cargar las series que son estacionarias, y desagregarlas.

Ejemplo para cargar las series:

```
DX<-read.csv("D:\\Users\\MD\\Downloads\\dIXs.csv")
```

Ejemplo para desagregar la serie:

```
Ejemplo: dX1<- DX[,1]; dX2<- DX[,2]; dX3<- DX[,3]; ...; dXN<- DX[,N]
```

Hecho lo anterior para poder hacer el tratamiento de Datos de Panel a las series por analizar es necesario cargar e instalar la paquetería “plm”, que es la que contiene toda la información que se necesita para poder aplicar modelos de Datos de Panel.

install.packages ("plm") # Comando para descargar la paquetería de Datos de Panel.

require (plm) # Comando para cargar la paquetería "plm" para poder hacer uso de modelos de Datos de Panel.

help (plm) # Comando para obtener información y propiedades de la paquetería "plm".

Ya que es funcional la paquetería para realizar Análisis de Datos de Panel, es posible aplicar a los datos, modelos de Datos de Panel, en este caso se aplicarán Modelos de Efectos Conjuntos, Efectos Fijos y Efectos Aleatorios. Para aplicar los modelos ya se tiene que haber identificado a las variables dependientes e independientes y lo más importante una forma funcional a implementar.

La especificación de la forma funcional para el modelo en este caso es:

$$y_n \sim x_1 + x_1^2 + x_1^3 + C_n + u_{tn}$$

Esto indica que para todas las variables dependientes se tomara como independiente a la misma, respecto de su valor en niveles, al cuadrado y al cubo, con su respectivo error; para los 3 tipos de modelos es la misma especificación.

Los modelos pueden variar según lo que se busque, estos son algunas especificaciones que se pueden implementar, pero no son una limitante, son solo ejemplos:

$$\frac{1}{y_n} \sim x_1 - 1/x_1^2 + x_1^3 + u_{tn}$$

$$y_n \sim (1/(x_1 + x_1^2 + x_1^3)) + u_{tn}$$

$$\log(y_n) \sim \log(x_1) + \log(x_1^2) + \log(x_1^3) + u_{tn}$$

entre otros.

Especificación general de la orden para poder aplicar cualquier modelo de Datos de Panel de los antes mencionados:

Nombre que identifica el modelo a utilizar < – plm(Nombre de la variable dependiente ~ Nombre de la variable independiente + Nombre de la variable independiente al cuadrado + Nombre de la variable independiente al cubo + Nombre de otras variables a utilizar, data = Nombre que identifica la serie múltiple sin desagregar, model="Especificación del tipo de modelo a implementar") # Comando útil para generar un Modelo de Efectos Conjuntos, Efectos Fijos y Efectos Aleatorios.

Estimación Modelo de Efectos Conjuntos

El comando para estimar el modelo de efectos conjuntos se hace aplicando la especificación tipo “pooling” como se indica en la orden siguiente:

Ejemplo; m.pX <- plm(dX4 ~ dX1 + dX1^2 + dX1^3 + dx1p + d2xp, data = DX, model="pooling")

Para observar los resultados del modelo "pooling" se debe aplicar la siguiente instrucción:

Ejemplo: summary(m.pX)

Con estos sencillos pasos se ha implementado el Modelo de Efectos Conjuntos y es posible observar sus propiedades.

Estimación Modelo de Efectos Fijos

Para estimar el modelo de efectos fijos se utiliza la misma línea de comandos que en el caso anterior, pero con tres modificaciones: 1) En la especificación del tipo de modelo, se cambia "pooling" por "within"; 2) A la estimación del modelo se le asignan un nuevo nombre que identifique que se trata de la estimación de un Modelo de Efectos Fijos y 3) Se especifica el efecto del modelo que se desea observar en la regresión `effect = "time"` para este caso.

Ejemplo; m.fX <- plm(dX4 ~ dX1 + dX1^2 + dX1^3 + dx1p + d2xp, data = DX, model="within", effect = "time")

Para observar los resultados del modelo "within" se debe aplicar la siguiente instrucción:

Ejemplo: summary(m.fX)

Estimación Modelo de Efectos Aleatorios

Este modelo igual que el anterior utiliza la misma línea de comandos con una leve modificación: 1) En la especificación del tipo de modelo, se cambia "within" por "random"; 2) A la estimación del modelo se le asignan un nuevo nombre que identifique que se trata de la estimación de un Modelo de Efectos Aleatorios y 3) Se especifica el efecto del modelo que se desea observar en la regresión `effect = "time"` para este caso.

Ejemplo; m.aX <- plm(dX4 ~ dX1 + dX1^2 + dX1^3 + dx1p + d2xp, data = DX, model="random", effect = "time")

Para observar los resultados del modelo "within" se debe aplicar la siguiente instrucción:

Ejemplo: summary(m.aX)

Ya que se tienen generados los diferentes modelos por regresión, para elegir el modelo que mejor se ajuste a las características de las variables y del efecto deseado se deben aplicar dos fases de pruebas, primero comparar los Modelos de Efectos Conjuntos vs los Modelos de Efectos Fijos para ello se aplica la prueba "Poolability", si resulta que la mejor estimación la ofrecen los Modelos de Efectos Conjuntos ya no es necesario aplicar la segunda fase de pruebas, segunda etapa se compara a los Modelos de Efectos Fijos vs los Modelos de Efectos Aleatorios, para probar cual es el mejor se debe aplicar la prueba de "Hausman".

Pueba Poolability

Modelo de Efectos Conjunto vs. Modelo de Efectos Fijos, prueba para elegir el entre el modelo "pool" y el modelo "witnin", se contrasta de la misma forma que la prueba de chow con los valores del "F-estadístico".

De los Modelo de Efectos Conjunto y Modelo de Efectos Fijos generados con las mismas variables para su probar cual es el mejor se debe aplicar la siguiente orden:

pooltest(Modelo de Efectos Conjunto, Modelo de Efectos Fijo) # este comando permite hacer la comparación entre los modelos, para elegir cual es el mejor se contrasta el valor del "F-estadístico" calculado con este comando y el "F-estadístico" critico de tablas.

Ejemplo: pooltest (m.pX, m.fX)

Prueba de Hausman

Esta prueba compara a los Modelos de Efectos Fijos y Modelos de Efectos Aleatorios, para elegir el entre "witnin" y el modelo "random", se contrasta con los valores de "Chi-cuadrada".

De los Modelo de Efectos Fijos y Modelos de Efectos Aleatorios generados con las mismas variables para probar cual es el mejor se debe aplicar la siguiente orden:

`phtest (Modelo de Efectos Conjunto, Modelo de Efectos Fijo) #` Este comando permite hacer la comparación entre los modelos, para elegir cual es el mejor se contrasta con el estadístico “Chi-cuadrada” calculado con este comando y el “Chi-cuadrada” critico de tablas.

Ejemplo: `phtest(m.fX, m.aX)`

Una vez elegido el modelo para reafirmar el resultado que ofrece la prueba “Hausman” es opcional aplicar la Prueba Multiplicadores de Lagrange de Breusch-Pagan.

Prueba Multiplicadores de Lagrange de Breusch-Pagan.

Para desarrollar esta prueba es necesario aplicar la siguiente secuencia de instrucciones:

`plmtest(modelo elegido con la prueba Hausman, effect = "Efecto que se quiere analizar, este tiene que ser idéntico con el que se desarrollan los modelos", type = "este comando indica que se aplica la prueba de los multiplicadores de Breusch y Pagan") #` Este proceso corrobora que el modelo elegido es adecuado.

Ejemplo: `plmtest(m.fX, effect = "time", type = "bp")`

Para contrastar esta prueba se hace uso del estadístico “Chi-cuadrada”.

Dado que ya se puede tener certeza de cuál es el mejor modelo que representa eficientemente la relación analizada se procede a implementar pruebas de Correlación Serial y Cointegracion, que aseguran la confianza del modelo y sus estimadores. Aplicar las pruebas requiere hacer uso del estadístico “Chi-cuadrada”.

Prueba General de Correlación Serial Breusch-Godfrey/Wooldridge en Modelos de Panel.

Para poder implementar esta prueba es necesario, haber ya identificado cuál de los modelos es el que ha pasado las pruebas “Poolability” y “Hausman”, la instrucción que permite llevar a cabo la prueba es la siguiente:

`pbgttest(Nombre del modelo que mejor estimación de la regresión realiza, order = por lo general el orden es 2, pero se puede ajustar para observar el comportamiento de los errores)`

Ejemplo: `pbgttest(m.fX, order = 2)`

Prueba de Cointegración en Datos de Panel o Prueba de Cointegración Basado en los Residuos.

Para aplicar la prueba de cointegración se necesita descargar y cargar la paquetería “tseries”.

Ejemplo para descargar la serie:

`install.packages("tseries")`

Ejemplo para cargar la paquetería:

`require(tseries)` # Este comando carga la paquetería para aplicar la prueba Phillips-Ouliaris de cointegración.

Prueba Phillips-Ouliaris de Cointegración

Antes de implementar la prueba se tiene que generar una matriz, que contenga a la variable dependiente, la variable independiente y una variable que represente al tiempo, para generar lo antes mencionado se requiere aplicar la siguiente orden:

Nombre que identifique la unión de las variables a las que se les aplicara la prueba de cointegración `<-data.frame(Nombre de la variable dependiente, Nombre de la variable independiente, nombre de la variable que identifica al tiempo)`

Ejemplo: R1<-data.frame(dX4, dX1, t)

NOTA: Si no se tiene la variable tiempo hay que construirla “puede armarla en Excel, esta debe de representar el mismo tiempo que la muestra maneja” y cargarla.

*Ejemplo: t<-read.csv("D:\\Users\\MD\\Downloads\\ Tiempo.csv")***

***Como es una sola variable no hay que desagregar o agregar características.*

Para aplicar la prueba Phillips-Ouliaris de cointegración es necesario utilizar el siguiente orden de comandos:

El comando “po.test” indica que se aplica únicamente la prueba Phillips-Ouliaris de cointegración.

po.test(Nombre que identifique la unión de las variables a las que se les aplicara la prueba Phillips-Ouliaris de cointegración, demean = TRUE, lshort = TRUE) # Este comando aplica la prueba de cointegración, con la hipótesis nula: la variable múltiple es no cointegrada. Lo que se busca es rechazar la hipótesis nula para ello el p-valor debe ser mayor a 0.05, lo que indica que a 95% de confianza, la variable múltiple esta cointegrada. Por default a los comandos (demean = TRUE, lshort = TRUE) se les anota “TRUE” ya que estos comandos son lógicos e identifican el intercepto si existe en la prueba y la longitud de rezago (corto o largo).

Ejemplo: po.test(R1, demean = TRUE, lshort = TRUE).

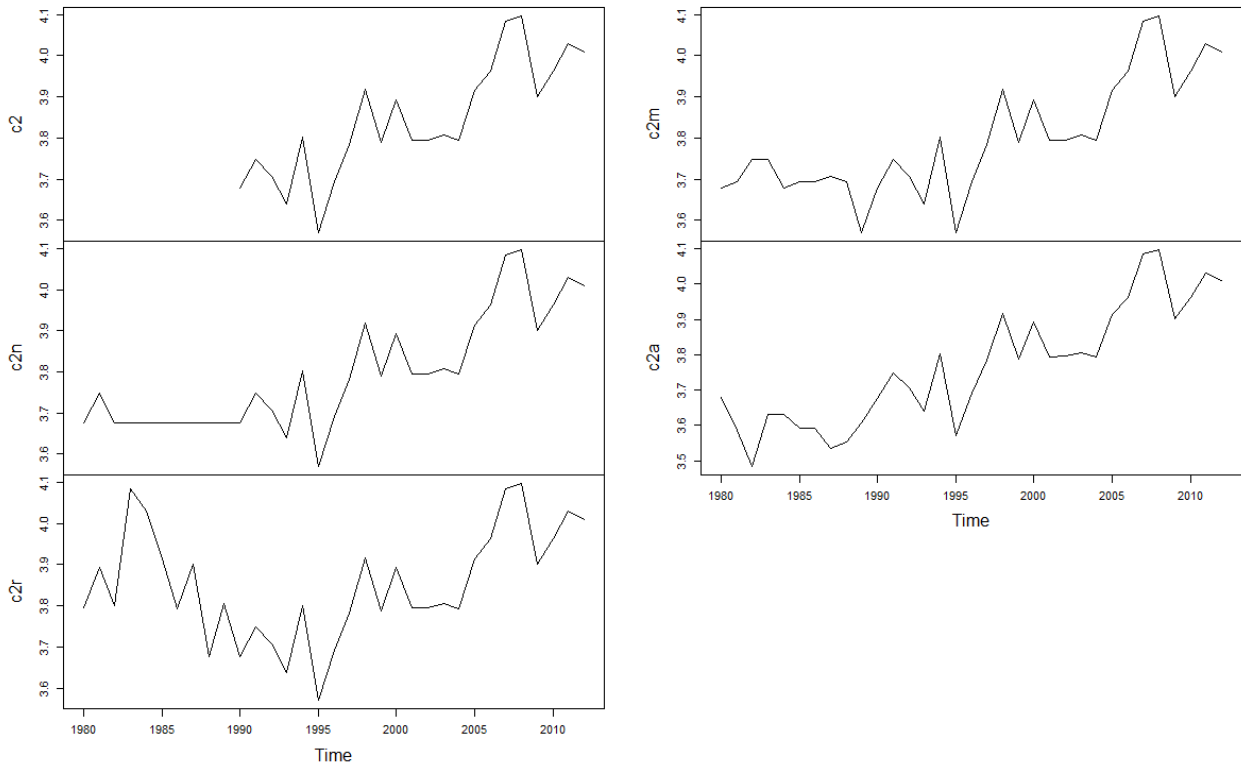
Con esto concluye el desarrollo de modelos de Datos de Panel, la aplicación de pruebas de Modelos de Datos de Panel en busca del mejor modelo que represente las características de las variables en la regresión, pruebas que permiten implementar análisis de correlación serial y cointegración para reafirmar que el modelo seleccionado es el que brinda mayor confianza sobre regresión.

Como se ha observado, es posible, con esta introducción implementar algunos códigos para realizar análisis estadísticos sobre algunas variables, que cuentan con datos no disponibles, haciendo de ellas construcciones estadísticas con datos completos

a través de la imputación ya sea, simple o múltiple, implementar análisis comparativos y elegir un método de imputación eficiente, para poder hacer uso de técnicas con datos completos, pero antes de ello verificar que las series a utilizar son estacionarias para evitar que las distintas regresiones sean espurias, comprobado por el análisis gráfico, las pruebas de Autocorrelacion, Autocorrelacion parcial y la prueba Dickey Fuller que se implementa específicamente para probar la existencia de raíz unitaria, sino se pasan estas pruebas puede aplicar alguna transformación que vuelva estacionarias las variables, ya que se ha satisfecho lo anterior, en definitiva es posible aplicar métodos clásicos para variables completas, el método elegido para este proyecto ha sido la implementación de Modelos de Datos de Panel, de los cuales se han utilizado los Modelos de Efectos Conjuntos, Modelos de Efectos Fijos y Modelos de Efectos Aleatorios, para probar cuál de ellos es el que más confianza genera se han aplicado las pruebas “Poolability”, “Hausman” y opcionalmente “Multiplicadores de Lagrange de Breusch-Pagan” ya tomada una decisión en cuanto a que modelo es el más eficiente para corroborar que este no presenta problemas de correlación serial y que es cointegrado se aplica la “Prueba General de Correlación Serial Breusch-Godfrey/Wooldridge en Modelos de Panel” y la “Prueba Phillips-Ouliaris de Cointegracion” lo que corrobora que el modelo elegido es eficiente, junto con sus estimadores. *Para finalizar, ahora se ha descrito, paso a paso la evolución de un tratamiento estadístico con datos faltantes y una regresión de Datos de Panel haciendo uso del programa R y su lenguaje.*

Anexo D.1. Imputación, comportamiento grafico

Comparacion de la Imputacion de Dioxido de Carbono



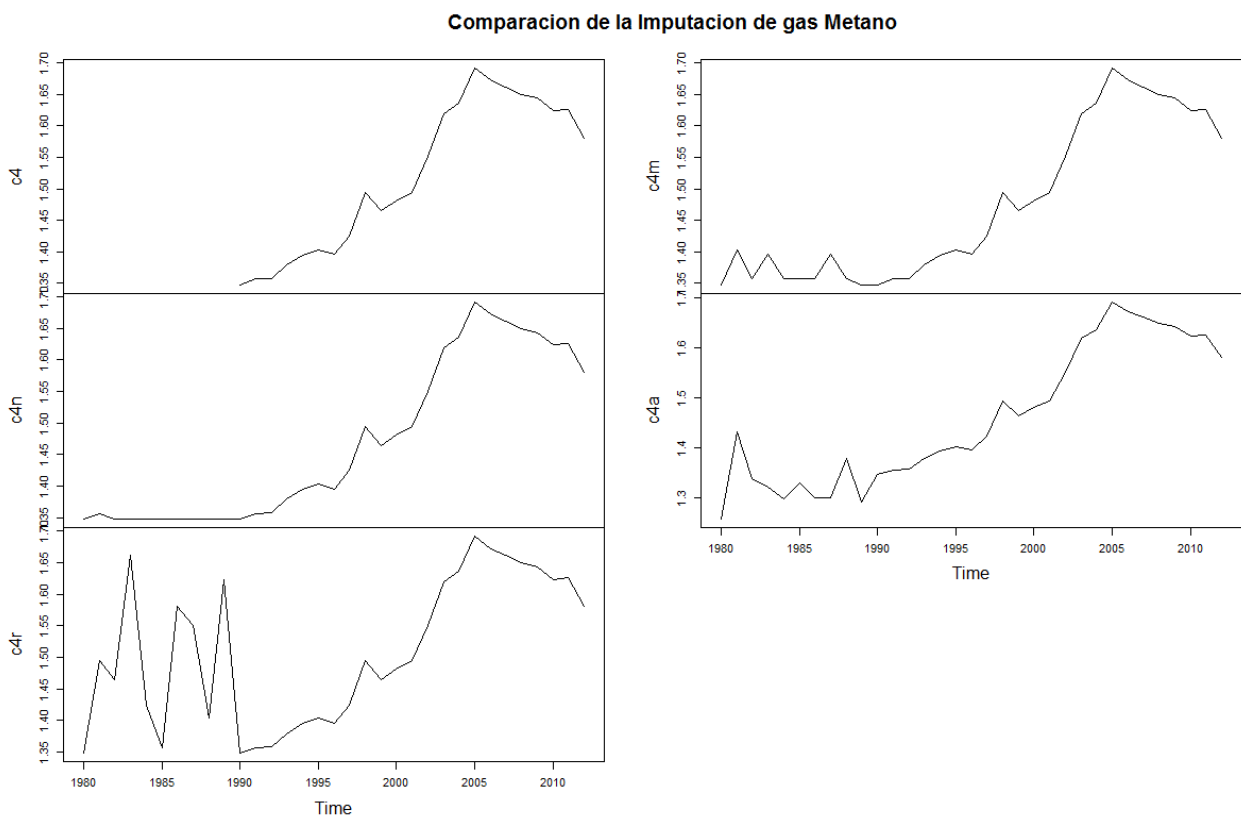
Fuente: Elaboración propia

El método NNI dio como resultado la variable "c2n", muestra un comportamiento lineal de 1990 a 1980 debido a que los datos imputados son consecutivos, el método toma los valores del vecino más próximo, no reflejan el comportamiento de la variable ancla. Por lo tanto, se desecha esta variable.

El método RHD arrojó la variable "c2r", presenta movimientos bruscos, el método considera la aleatoriedad como parte fundamental, no mantiene el comportamiento de la variable ancla, se rechaza utilizar la variable "c2r".

Basado en el método "mice" se obtuvo la variable "c2m", tiene un comportamiento aceptable respecto a la evolución registrada por el PIB per cápita y los sucesos históricos registrados de 1980 a 1990, es una de las variables posibles a utilizar

Con el método "Amelia" se extrajo la variable "c2a", sigue el comportamiento de la evolución del PIB per cápita, teniendo en cuenta las crisis ocurridas en el periodo de 1980 a 1990, eso la vuelve una de las candidatas para representar el comportamiento de la variable original de 1980 a 2012.



Fuente: Elaboración propia

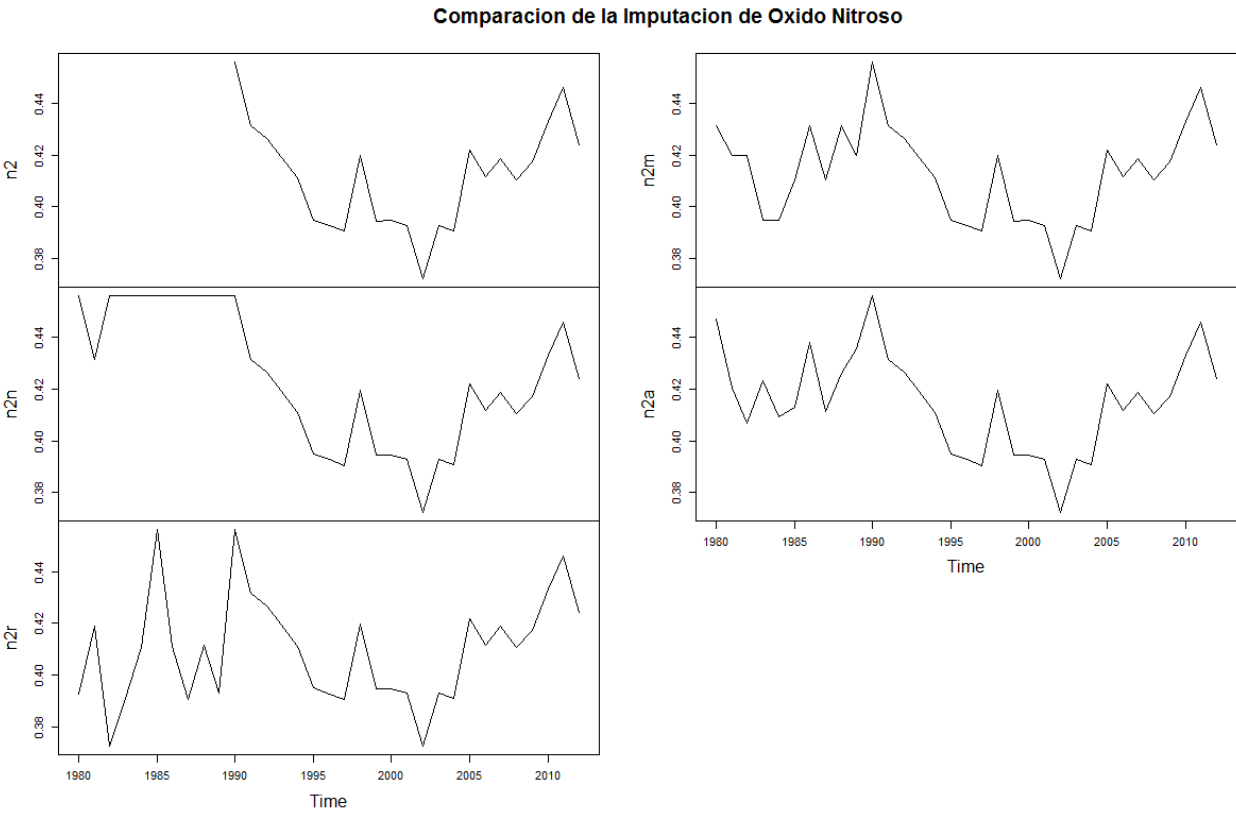
Con el método NNI se obtuvo la variable "c4n", presenta una imputación lineal de 1990 a 1980, toma valores del vecino más cercano, sucede que la imputación es consecutiva y no refleja el comportamiento de la variable ancla. Por lo tanto, esta variable se descarta.

El método RHD dio como resultado la variable "c4r", presenta un comportamiento a normal respecto al que se observa en la serie de 1990 a 2012, tiene expansiones y

contracciones frecuentes y no congruentes de 1990 a 1980, se descarta el uso de la variable, e. método permitió que los datos imputados fuesen aleatorios, provoco el comportamiento atípico.

Bajo el método "mice", "c4m" es la variable que se obtuvo, muestra un comportamiento congruente de 1990-1980 si se comparación con el registrado de 1990-2012. Por tanto, es una de las variables que pueden ser usada para la siguiente etapa de análisis, su comportamiento es muy parecido al registrado por el PIB per cápita durante el periodo de imputación.

Del método "Amelia" se extrajo la variable "c4a", mantiene un comportamiento similar a la variable original, su trayectoria no refleja completamente la evolución histórica registrada por el PIB per cápita en el periodo de 1980-1990, sus propiedades la convierten en candidata útil para la siguiente etapa de análisis.



Fuente: Elaboración propia

Bajo el método NNI se obtuvo la variable "n2n", durante el periodo imputado presenta el problema de la imputación de datos consecutivos, los datos imputados son demasiado altos, su comportamiento es atípico, esta variable se desecha.

Con el método RHD se recopiló la variable "n2r", su comportamiento no representa apropiadamente el observado de 1990 a 2012, de 1990 a 1980 la variable sigue un comportamiento con contracciones y expansiones bruscas, la variable es descartada.

Utilizando el Método "mice" se logró obtener la variable "n2m", permite observar un comportamiento muy similar a la variable original y no se altera de forma inesperada, presenta un comportamiento aceptable, la variable será considerada para poder continuar con el análisis.

Por el Método "Amelia" se extrajo la variable "n2a", manifiesta un comportamiento acorde con el mostrado por la variable PIB per cápita durante el periodo 1980-2012, la variable mantiene el comportamiento congruente de la variable original, ello la hace candidata para seguir con el análisis de los datos.

Anexo D.2. Imputación, análisis estadístico

Análisis estadístico de la variable imputada Dioxido de Carbono

Estadísticos Básicos V. original V. imputadas

	c2	c2m	c2a
Min.	3.570	3.570	3.484
1st Qu.	3.776	3.692	3.631
Median	3.801	3.783	3.783
Mean	3.842	3.796	3.765
3rd Qu.	3.940	3.901	3.901
Max	4.096	4.096	4.096

	c2 vs c2m	c2 vs c2a	
Min.	0.000	0.086	La imputación que se desvía más del original es c2a
1st Qu.	0.084	0.145	La imputación que se desvía más del original es c2a
Median	0.018	0.018	Se descartan debido a que tiene la misma variación
Mean	0.046	0.077	La imputación que se desvía más del original es c2a
3rd Qu.	0.039	0.039	Se descartan debido a que tiene la misma variación
Max	0	0	Se descartan debido a que no varían de la observación original
	4 desvíos	5 desvíos	Si se restan los desvíos que son iguales
	2 desvíos	3 desvíos	

Por tanto la mejor opción es la variable c2m, que se obtuvo con el método de imputación múltiple llamado "mice"

Fuente: Elaboración propia

Análisis estadístico de la variable imputada gas Metano

Estadísticos Básicos V. Original V. imputadas

	c4	c4m	c4a
Min.	1.347	1.347	1.258
1st Qu.	1.400	1.403	1.347
Median	1.495	1.494	1.425
Mean	1.520	1.511	1.461
3rd Qu.	1.631	1.624	1.619
Max	1.691	1.691	1.691

	C4 vs c4m	c4 vs c4a	
Min.	0.000	0.089	La imputación que se desvía más del original es c4a
1st Qu.	-0.003	0.053	La imputación que se desvía más del original es c4a
Median	0.001	0.07	La imputación que se desvía más del original es c4a
Mean	0.009	0.059	La imputación que se desvía más del original es c4a
3rd Qu.	0.007	0.012	La imputación que se desvía más del original es c4a
Max	0.000	0.000	Se descartan debido a que no varían de la observación original
	4 desvíos	5 desvíos	

Por tanto la variable a utilizar debido a que se desvía menos es "c4m" que se obtuvo con el método "mice"

Fuente: Elaboración propia

Analisis estadistico de la variable Oxido Nitroso

Estadisticos Basicos	V. Original		V. imputadas	
	n2	n2m	n2a	n2a
Min.	0.3723	0.3723	0.3723	0.3723
1st Qu.	0.3938	0.3946	0.3950	0.3950
Median	0.4116	0.4173	0.4173	0.4173
Mean	0.4115	0.4130	0.4150	0.4150
3rd Qu.	0.4230	0.4241	0.4262	0.4262
Max	0.4561	0.4561	0.4561	0.4561

	n2 vs n2m	n2 vs n2a	
Min.	0	0	Se descartan debido a que no varian de la observacion original
1st Qu.	-0.0008	-0.0012	La imputacion que se desvia mas del original es n2a
Median	-0.0057	-0.0057	Se descartan debido a que tiene la misma variacion
Mean	-0.0015	-0.0035	La imputacion que se desvia mas del original es n2a
3rd Qu.	-0.0011	-0.0032	La imputacion que se desvia mas del original es n2a
Max	0	0	Se descartan debido a que no varian de la observacion original

4 desvios 4 desvios

3 desvios 3 desvios Si se restan las desvios que son iguales

La variable a utilizar es "n2m" debido a que se desvia en menor medida que la otra variable de la original, esta se obtuvo con el metodo "mice"

Fuente: Elaboración propia.

Anexo E. Prueba de cointegración Phillips-Ouliaris

Las pruebas de cointegración basadas en los residuos recomendadas por Engle y Granger (1987) son flexibles y fáciles de aplicar. Este tipo de pruebas considera una regresión lineal para obtener los residuos y probar que las series están cointegradas.

Para aplicar la prueba se necesita armar una matriz (x), debe contener las variables de interés, incluida una variable que sea representante del tiempo. La potencia de la prueba reside en usar 6 variables dentro de la matriz, mejora su eficiencia al probar cointegración, (Phillips & Ouliaris, 1990).

Aplicación en **R**: `po.test(x, demean = TRUE, lshort = TRUE)`

Dónde: “ x ” es la matriz de variables a analizar, “*demean*” es un código lógico que indica si existe un intercepto en la regresión o no, “*lshort*” es un código lógico que indica si se utiliza la versión corta o larga del parámetro de retardo (de truncamiento).

Debido a que esta prueba se basa en los errores, se hace uso de límites, señalados en la tabla construida por Phillips-Ouliaris (1990), se usan como referencia para mejorar la comprobación de cointegración.

La prueba implementa las siguientes hipótesis:

H_0 : X no está cointegrada

H_1 : X está cointegrada

Para probar que las series están cointegradas, se debe rechazar la hipótesis nula para ello el p-valor debe ser mayor a 0.05, confirmando que las series son cointegradas y la estimación de los modelos haciendo uso de estas variables será eficiente y no una regresión espuria.

La cointegración indicando que la regresión entre las variables guarda relación a largo plazo (o de equilibrio), (Furman University, 2016), (Phillips & Ouliaris, 1990).

Aplicación de la prueba de cointegración Phillips-Ouliaris.

1. *Dióxido de Carbono per cápita y Producto Interno Bruto per cápita.*

La variable múltiple “r1” contiene a las variables Dióxido de Carbono per cápita, Producto Interno Bruto per cápita y Tiempo. A esta variable se le aplica la prueba de cointegración.

Prueba de cointegración Phillips-Ouliaris

```
data: r1
Phillips-Ouliaris demeaned = -21.6791, Truncation
lag parameter = 0, p-value = 0.1111
```

2. Metano per cápita y Producto Interno Bruto per cápita.

La prueba de cointegración se aplicará a la variable múltiple “r2” esta contiene a las variables Metano per cápita, Producto Interno Bruto per cápita y Tiempo.

Prueba de cointegración Phillips-Ouliaris

```
data: r2
Phillips-Ouliaris demeaned = -7.7395, Truncation lag
parameter = 0, p-value = 0.15
```

3. Óxido Nitroso per cápita y Producto Interno Bruto per cápita.

Para aplicar la prueba de cointegración se armó la variable múltiple “r3”, esta contiene las variables, Óxido de Nitrógeno per cápita, Producto Interno Bruto per cápita y Tiempo.

Prueba de cointegración Phillips-Ouliaris

```
data: r3
Phillips-Ouliaris demeaned = -13.9885, Truncation
lag parameter = 0, p-value = 0.15
```

En las tres pruebas el p-valor es mayor a 0.05 se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, al 95% de confianza las series están cointegradas, de tal forma que los modelos implementados con ellas no generan estimaciones espurias. La prueba verifica que los residuos de las regresiones son integrados de orden cero “I(0)” son estacionarios.

Las series son cointegradas, es decir, guardan relación de equilibrio de largo plazo. En el corto plazo pueden existir desequilibrios, por ello el término de error de la regresión se conoce como “error de equilibrio”.