



EL COLEGIO DE MÉXICO CENTRO DE ESTUDIOS ECONÓMICOS

**LICENCIATURA EN ECONOMÍA TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO
EN ECONOMÍA**

La relación del largo plazo entre el crecimiento y el medio ambiente, una perspectiva desde la seguridad energética

Asesora: Dra. Diana Terrazas Santamaría

Junio 2022

Índice

1. Introducción	4
2. Medio ambiente	7
3. Los efectos de la producción energética en el ambiente	12
4. Justificación teórica	18
5. Metodología	33
6. Resultados	35
7. Conclusión	36
A1. Anexo1 Estadística descriptiva	40
B2. Anexo2 Raíces unitarias	41
C3. Anexo3 Cointegración	42
D4. Anexo 4 Modelos	44
E5. Anexo5 Pruebas de raíces unitarias de ruptura estructural	47
Referencias	49

Índice de gráficos

Figura 1	Proporción del consumo de energía por fuente de consumo en México para 2019	30
Figura 2	Series de tiempo de las posibles variables que explican el modelo	32
Figura 3	Matriz de dispersión	40
Tabla 1	Prueba Aumentada Dickey Fuller (ADF) para LN de EF I(1)	41
Tabla 2	Prueba Aumentada Dickey Fuller (ADF) para LN de GDP I(1)	41
Tabla 3	Prueba Aumentada Dickey Fuller (ADF) para LN de RN I(1)	42
Tabla 4	Prueba de cointegración para EF	42
Tabla 5	Prueba de cointegración para GDP	43
Tabla 6	Prueba de cointegración para RN	43
Tabla 7	Prueba de causalidad de Granger	44
Tabla 8	Modelo de corto plazo para EF	44
Tabla 9	Modelo de largo plazo para EF	44
Tabla 10	Modelo ECM para EF	45
Tabla 11	Modelo de corto plazo para GDP	45
Tabla 12	Modelo de largo plazo GDP	45
Tabla 13	Modelo ECM para GDP	46
Tabla 14	Modelo de corto plazo para RN	46
Tabla 15	Modelo de largo plazo RN	46
Tabla 16	Modelo ECM para RN	46
Tabla 17	Prueba de raíz unitaria de ruptura estructural para EF	47
Tabla 18	Prueba de raíz unitaria de ruptura estructural para GDP	47
Tabla 19	Prueba de raíz unitaria de ruptura estructural para RN	48

1. Introducción

Somos adictos a los combustibles fósiles.
¿Qué sucede cuando los adictos
a las drogas se desintoxican?
Pueden ser temerarios, irritables,
incluso psicóticos y peligrosos.
Sería bueno para el medio ambiente si toda la
economía abandonara abruptamente los
combustibles fósiles, pero eso no es realista.
No me gustaría estar cerca si alguna vez sucediera.
Russell Gold¹

La frase anterior nos señala el principal dilema del problema energético en las sociedades modernas: el crecimiento económico asociado al consumo de energía y más específicamente a el uso de combustibles fósiles han probado ser el mejor camino para el desarrollo de las economías alrededor del mundo, sin embargo, es esta misma dependencia la que nos ata a la extracción de las materias primas que la generan. Esto fue verdad para el carbón en la Inglaterra de la Revolución Industrial (Fernihough y O'Rourke, 2014), así como lo fue para los Estados Unidos y la Unión Soviética durante el siglo XX (Yergin, 2011), al mismo tiempo que las sociedades y economías del mundo se desarrollaban, nos enganchemos a los combustibles fósiles. En el centro de este dilema tenemos al gas y al petróleo, el petróleo ha sido el actor principal de los conflictos y el combustible para el crecimiento del siglo pasado (Yergin, 2011) (Rühl, 2012); vale la pena concentrarnos en el papel del gas como una buena alternativa ante petróleo, en el sentido de sus beneficios ambientales y también como insumo necesario para el desarrollo de la industria. Así encontramos a México, enclavado en un contexto de dependencia con el petróleo, en términos de lo que este implica para los ingresos nacionales; con una demanda de energía que va creciendo; una red de producción, distribución y almacenamiento insuficiente de gas natural (GN) que

¹ The Boom: Cómo el fracking encendió la revolución energética estadounidense y cambió el mundo.

trae como consecuencia un potencial sin realizar en cuanto a industrialización se refiere.

Un buen punto de partida sería entender cómo es que el consumo de energía provoca el crecimiento económico desde un punto de vista teórico. Por un lado, se encuentra en la posición neoclásica en donde la energía desempeña únicamente la función de intermediario entre las actividades económicas. La contribución de la energía a la actividad económica es sólo considerada con relación a su costo dentro de la producción implicando que la disociación del crecimiento económico y el uso de energía es una posibilidad razonable, sujeto, en el caso de los dos últimos modelos, a diversas limitaciones de sostenibilidad que se conforman con respecto al consumo de los productos naturales capital (Ockwell, 2008). El trabajo de Kaufmann (2004) mostró que los cambios en los precios de la energía, y el cambio hacia economía de servicios provocó un alejamiento del carbón y particularmente hacia el uso del petróleo, esto puede explicar la mayoría de la disminución de la intensidad de la energía de los Estados Unidos desde 1929 (Rühl, 2012). Una conclusión de este hecho es que la transición a una economía de servicios puede lograr una disociación de la energía en la producción (Panayotou, 1993).

Por el otro lado, el enfoque moderno considera el papel del capital natural en forma de recursos renovables y no renovables se consideran a la energía no solo como un intermediario en el proceso productivo, sino como el insumo básico de la actividad económica. Teniendo en cuenta las leyes de la termodinámica la teoría ecologista hace hincapié en dos conceptos. El primero utilizando el principio de que la energía no se crea ni se destruye, por lo que la única fuente de energía es la solar que puede ser consumida directamente o vía combustibles fósiles; lo que implica que al ser consumidos estos combustibles regresaran en forma de desechos, lo cual genera un costo que no está considerado dentro del esquema neoclásico; así mismo es imposible de sustituir el capital natural por uno hecho por el hombre. Si la capacidad del medio ambiente para absorber los desechos de la economía se agota entonces el ecosistema, la producción, y el soporte de la vida

pueden ser también agotados irreversiblemente (Ockwell, 2008) (Stern, 2004), como se cree pudo haber sucedido con sociedades como la de la Isla de Pascua (Rolett y Diamon, 2004). El segundo utiliza la segunda ley de la termodinámica: mientras que la energía y los materiales pueden ser reutilizados, alcanzarán cada vez más un estado menos útil, es decir, su entropía aumentará. Lo que a su vez implica que, para transformar un material en otro, se requiere energía adicional, lo que impone límites a la sustitución de energía por otros insumos en el proceso productivo. Esencialmente, para poder fabricar más capital hecho por el hombre, incluso sin depender directamente de capital natural, se requiere energía para impulsar la fabricación. En pocas palabras la energía es el insumo básico de las economías modernas, por lo que el suministro, producción y consumo de esta son de una importancia estratégica, así como también lo son sus consecuencias.

Teniendo en cuenta la importancia de la energía es que surge el concepto de seguridad energética, un concepto maleable y que de no ser bien definido puede inútil. A pesar de la gran importancia de la seguridad energética en la política, varios autores han señalado que el término no está claramente definido. A falta de una definición clara, la seguridad energética se ha convertido en un término que engloba muchos objetivos diferentes a tal punto que se ha vuelto en un concepto puramente discursivo como lo sugiere Paul Joskow (2009) "Si no se puede justificar una política con un argumento económico razonable, entonces argumenta que la política es necesaria para promover la seguridad energética". Winzer (2011) encuentra que el hilo en común detrás de todas las definiciones de seguridad energética es la ausencia de protección o adaptabilidad a las amenazas en la cadena de suministro de energía. Que además puede dividirse en los conceptos de "continuidad del suministro de productos básicos", "continuidad del suministro de servicios" y los impactos resultantes en la "continuidad de la economía". Sin embargo, Winzer no termina por explorar las muchas dimensiones de la seguridad energética. Los autores que estudian el concepto suelen limitar su estudio un lugar o un periodo de tiempo específico al tiempo que eligen su área de enfoque de las dimensiones que son importantes para ellos.

En la mayoría de las dimensiones, el sistema energético se describe en tres partes: La producción, el consumo y la transferencia de la producción al consumo (Kucharsky y Unesaki, 2015). Azzuni y Breyer (2017), clasifican la literatura de la seguridad energética en las dimensiones de: disponibilidad, diversidad, coste, tecnología y eficiencia, ubicación, plazo de tiempo, resiliencia, salud, cultura, alfabetización, de empleo, política, militar, ciberseguridad y medio ambiental. El propósito de este trabajo es entonces concentrarnos en esta última dimensión para México durante los años de 1970 a 2017. Dentro de la dimensión ambiental el enfoque de este trabajo está en encontrar la relación de largo plazo entre el crecimiento económico, que como discutimos es una consecuencia del consumo energético, pues este se su insumo esencial.

La primera sección es una discusión de la dimensión ambiental de seguridad energética donde también ejemplifico los puntos de interés dentro del enfoque mostrando un poco de la pintura que es la seguridad energética ambiental en México; en la segunda sección expondré los efectos de la generación de energía en el medio ambiente. Después pasare a hacer una justificación teórica del modelo discutiendo las variables que pertenecen en él, haré esto tomando en cuenta aquellas que la literatura considera importantes y complementado ese análisis con un recorrido histórico de la producción energética en México con el fin de contextualizar la literatura en el campo mexicano. Posteriormente describiré el proceso metodológico explicar la relación de largo plazo que existe entre la huella ecológica y el crecimiento para después reportar los resultados del enfoque autorregresivo de lag distribuido (ARDL). Para finalizar hay una sección de conclusiones donde se conecta los resultados del modelo con lo descrito y observado en la sección de justificación metodológica, además se da una breve crítica a el tipo de política energética del país.

2. Medio ambiente

El medio ambiente es lo que nos rodea. Cuando se consideran los sistemas energéticos, el medio ambiente se convierte en una dimensión importante. Por lo tanto, hay que tener en cuenta una visión medioambiental de la seguridad

energética a nivel internacional (Yao y Chang, 2014). La dimensión ambiental de la seguridad energética puede ser explorada por medio de 4 puntos: la explotación, las consecuencias de los métodos de explotación, las consecuencias del uso energético y el efecto del cambio climático en la seguridad energética en general.

El primer punto es la tasa de explotación, y la distribución de la energía una vez que esta fue extraída. Dentro de este punto tenemos lo que es una preocupación en el sector energético desde que este existe, el fin de los combustibles. Ya sea en la forma de conservación maderera en Japón (Kobori y Primack, 2003) o su caso opuesto en la Isla de Nauru (Gowdy y McDaniel, 1999) en donde la sobre explotación de fosfato llevo a la pequeña isla a una catástrofe medioambiental. El reequilibrio de actividades humanas a los límites del planeta Tierra ya habían sido identificado por Meadows et al., (1972); sin embargo, no solía haber evidencia de que este fenómeno fuera posible sin reducir la población o las actividades económicas. Una explotación tan rápida de los recursos hace que la tierra sea inútil para la producción de alimentos con proyección a verse gravemente comprometida por el cambio climático (Refaat, 2009). Por último, los recursos energéticos en muchos casos son materiales peligrosos con impactos negativos en el medio ambiente y en las personas que los utilizan (Sovacool, 2011). Como punto central teniendo que la tierra como recurso no renovable tiene un punto de sobreexplotación.

Como segundo parámetro tenemos los métodos de extracción, y su potencial de ser perjudiciales para el medio ambiente; así como los efectos de su distribución. Un ejemplo obvio son los vertidos de petróleo en diferentes océanos, que han causado catástrofes enormes el medio ambiente marino. Pero no es solo el tipo de generación de combustibles fósiles i.e carbón, gas y petróleo, también el método de extracción de la energía eólica depende principalmente de aspas giratorias que pueden afectar a la mortalidad de las aves (Sovacool, 2011); de forma similar la

energía solar puede alzar la temperatura a un punto tal que causa la muerte de los animales voladores. Aunque vale la pena recalcar que, la muerte de aves por unidad de energía generada es considerablemente mayor para la producción con combustibles fósiles como el carbón debido a las emisiones de metales pesados (Sovacool, 2009).

Sin mencionar la producción nuclear que genera una gran cantidad de residuos radiactivos. La eliminación de estos residuos es un dilema inevitable cuando se trata de la seguridad energética ya que el procesamiento de estos restos es una obra de infraestructura (Wood, 2013). Recientemente, la tecnología de fracking es muy peligrosa para el medio ambiente debido a los productos químicos utilizados y la necesidad de destruir las capas de la tierra hasta llegar al esquisto, creando problemas con el suministro del agua, el aire y la salud de los individuos alrededor de esta (Meng, 2017); así como de la biodiversidad (Todd, et.al., 2016). Siendo el punto central que la biodiversidad alrededor de las operaciones de extracción energética siempre se ve afectada.

Entre muchos ejemplo, en este sentido podemos enunciar el caso de Biosfera Barranca de Metztitlán en Hidalgo en donde se analizó la concentración e impacto de los metales pesados en el cauce del Río Venados (el de mayor importancia en la reserva), se estudiaron los sedimentos, peces y plantas de interés económico y comercial para los pobladores locales. Como resultado se encontraron 31 elementos en agua del río, con una concentración por encima de lo permitido por la NOM-001 (SEMARNAT, 2003 y González-Salazar, et al., 2015).

El tercer punto es el resultado del uso de la energía. En este caso tenemos dónde se estudia el impacto del uso de los sistemas energéticos. El CO₂ y los gases de efecto invernadero del calentamiento global (Meadows, 1972), el cambio climático (Von Hippel et. al., 2011), emisiones de metales pesados y la contaminación del

agua (Sovacool y Bulan, 2011), la lluvia ácida (Von Hippel et.al., 2011) son los retos medioambientales derivados de sistemas energéticos. Un ejemplo de los impactos del uso de la energía en el medio ambiente es la producción de óxido nitroso. El óxido nitroso se difunde hasta la estratosfera, donde sus productos fotoquímicos atacan la capa de ozono permitiendo que la irradiación ultravioleta penetre en la capa de ozono. Para medir el impacto de este tipo de fenómenos surge la huella ecológica (EF) que mide el impacto del consumo humano, incluyendo la energía y los alimentos, en otras palabras, la cantidad de naturaleza que se utiliza para vivir con el consumo de energía moderno (Wackernagel, et.al., 1999).

El cuarto parámetro es el efecto de las condiciones y el cambio climático sobre la seguridad energética. Algunos acontecimientos naturales ocurren independientemente del sistema energético de energía, como los terremotos y los volcanes, mientras que algunas catástrofes se producen debido a las actividades humanas como resultado del cambio climático. El objeto de estudio de este punto son los acontecimientos producto de los sistemas energéticos en escala global, pudiendo ser un efecto positivo o negativo.

Las consecuencias de esto se pueden ver en el caso mexicano en el efecto de los cambios en la temperatura, al crear diferencias en la productividad, de distintas regiones alrededor del mundo, beneficiando a algunos y empeorando las condiciones de la fuerza laboral de países, América Central, El Caribe el Sudeste Asiático y también México (Kjellstrom, 2009), al mismo tiempo que mejora las condiciones en países cercanos al Polo Norte como Rusia. Esto no solo empeorando la productividad de la región sino, haciendo al país perder competitividad en este sentido relativo a los países menos calurosos.

En México la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales ha destacado los efectos del cambio climático en nuestro país, empezando por el aumento de la desertificación el cual se conoce como la afectación de los ecosistemas áridos, semiáridos y subhúmedas secas donde la degradación del suelo llega a tal punto que no permite la vida vegetal, la retención del agua e inclusive afecta sus características fisicoquímicas (Reynolds, et al., 2002). El cambio climático ha exacerbado este proceso, en específico en el norte de nuestro país, aumentando las tierras estériles, la disminución de la biodiversidad e impacto de los mantos acuíferos (SEMARNAT, 2016). De manera directa una de sus consecuencias ha sido el aumento de la temperatura, donde podemos destacar sus efectos en la Ciudad de México, la cual ha incrementado su temperatura promedio en casi 4 grados Celsius (SEMARNAT, 2016).

También tenemos la desaparición de glaciares, donde el aumento de temperatura, la baja incidencia de lluvias y retención de agua ha provocado que el derretimiento de los glaciares mexicanos, los cuales se van poco a poco extinguiendo, uno de los casos más relevante al respecto es del glaciar Ayoloco, se localizaba en la punta del Iztaccihuatl, volcán emblemático de México, el cual se declaró extinto en el 2018 (UNAM, 2021). De igual manera la desaparición de bosques, donde el aumento de temperatura, las afectaciones sobre la lluvias y la mayor incidencia solar ha provocado la interrupción de la sucesión ecológica, es decir, la continuación de organismos desde hongos, líquenes y plantas para poder conquistar los terrenos y suelos afectados, erosionados o caracteres de vida; por si fuera poco la baja incidencia de lluvias ha provocado épocas de sequía más largas, lo cual se ha asociado directamente con el aumento de incendios en nuestro país (SEMARNAT, 2016). Lo anterior es tan solo un pedazo de la historia del impacto ambiental de la generación y consumo de energía en el país y es sobre todo un esbozo de lo que el concepto de seguridad energética tiene dentro de su objeto de estudio.

3. Los efectos de la producción energética en el ambiente

Desde un aspecto ecológico los recursos y la demanda energéticos han provocado un deterioro ambiental desde inicios de la Revolución Industrial (Barca, 2011); la gran modificación del medio, la presencia de contaminación atmosférica, acuífera y de suelos, así como la sobreexplotación de recursos no renovables, se empezaron a denotar con la formación de fábricas, minas de carbón y el desarrollo de la industria a gran escala (Vaquiera, 2012). Su interés dentro de la ciencia y su estudio a profundidad se empezó en los años 60's donde diversas universidades y organizaciones se empezaron percatar del abuso y explotación de los recursos, sus consecuencias en el ambiente e inclusive en la calidad de vida de las personas (Vaquiera, 2012).

Hoy día existen diversas formas de producción de energía y a nivel mundial se consideran ocho principales, de las cuales cinco se denominan convencionales, las cuales se basan en recursos no renovables y tres renovables. Dentro de las convencionales contemplamos el sistema térmico de lignito, carbón, petróleo, gas natural y nuclear. En contraste en las renovables son la producción fotovoltaica, minihidráulica y eólica (IDEA, 1999).

El primer concepto para explorar es el del calentamiento global. Este término no se debe de considerar como cambio climático, ya que este es una consecuencia asociada a diversas fuentes de contaminación y fenómenos ambientales incluyendo el calentamiento global (CMMAD, 1987). El calentamiento global es resultado de una gran suma de factores antropogénicos, físicos y biológicos que tienen como consecuencia el aumento gradual de la temperatura terrestre, se define como la acumulación de gases de invernadero, de los cuales los más importantes son el vapor de agua, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso clorofluorocarbonos y ozono, estos de manera natural preservan la temperatura de la tierra y el flujo de energía térmica en la superficie de nuestro planeta, sin

embargo, la industria y en específico la quema de combustibles emiten una gran cantidad de estos gases a la atmosfera, estos se acumulan, superan las concentraciones natural y provoca un aumento en la retención de energía térmica derivada del sol, como resultado aumenta la temperatura en la corteza terrestre (CMMAD, 1987 y Vaquiera, 2012).

Como consecuencias directas del calentamiento global tenemos el cambio climático al cual se le conoce como al conjunto de alteraciones y fenómenos térmicos, de precipitación, nubosidad y atmosféricos que divergen de las condiciones predominantes de manera rápida, lo cual no permite que los ecosistemas no logren adaptarse al cambio, en especial cuando la adaptación se da por procesos evolutivos que se dan en miles e incluso millones de años (CMMAD, 1987). La segunda consecuencia directa es el derretimiento de los polos; de manera natural en verano se provoca una serie de derretimientos y en invierno la baja temperatura hace que la nieve y la precipitación se congelen creando nuevas capas de hielo, sin embargo, el calentamiento global ha provocado que las temperaturas invernales no sean lo suficientemente bajas y por ende no se formen nuevas capas y en el verano se pierde poco a poco los casquetes (CMMAD, 1987).

El segundo gran problema es la disminución de la capa de ozono. Esta capa tiene diversas funciones físicas y más que nada biológicas ya que es la que ha permitido la vida como la conocemos en nuestro planeta, de manera sintetizada brinda un escudo electromagnético ante la radiación solar y la radiación cósmica. De manera natural el ozono se acumula en la atmosfera superior de nuestro planeta entre los 15 a 50 km de altitud, donde la radiación solar emite una gran cantidad de energía sobre el oxígeno molecular el cual es disociado y forma de manera espontánea el ozono, este es una molécula altamente estable y se acumula formando la capa (Maury, 2005 y Power, 2013). Su alteración está dada por el balance existente entre el oxígeno molecular y el ozono, donde los

clorofluorocarbonos (encontrados en fungicidas, pesticidas, aerosoles y refrigerantes industriales) secuestran una molécula de oxígeno y hacen que el ozono pase a ser oxígeno molecular (Maury, 2005 y Power, 2013).

La disminución de la capa de ozono trae consigo una mayor incidencia de la radiación solar conocida comúnmente como rayos UV, estos son altamente mutagénicos, es decir que provocan una serie de mutaciones en el DNA de las células y como consecuencias se presentan mutaciones celulares, transformaciones malignas y muerte celular. En los ecosistemas todo tipo de organismos es afectado, ya que a pesar de que muchos estén adaptados para resistir la incidencia de luz, el deterioro provoca un aumento incompatible con la vida, provocando hasta en los organismos más resistentes. En el ser humano ha presentado una asociación directa con el cáncer de piel ya que es vulnerable a este tipo de radiación y en condiciones óptimas presenta un daño celular, ante una mayor incidencia es casi imposible evitarlo. Por si fuera poco, el adelgazamiento de la capa provoca una mayor incidencia y permanencia térmica, por lo cual el efecto invernadero aumenta y a su vez el calentamiento global (Maury, 2005).

Ahora entramos a problemáticas que son un tanto oscuras para el público en general con la acidificación que es un proceso completamente antropogénico y derivado de la actividad industrial y energética, en específico de la quema de combustibles fósiles. Consiste en una serie de emisiones de óxidos de azufre, nitritos y nitratos hacia la atmosfera, los cuales al entrar en contacto con vapor de agua reaccionan formando ácido nítrico y sulfúrico, estos precipitan hacia la superficie terrestre y provocan las conocidas lluvias ácidas (Vaquiera, 2012 y Power, 2013).

La lluvia ácida puede tener un gran número de consecuencias y va a depender de la concentración e incidencia en los ecosistemas; en los organismos vegetales

provoca la quema de sus hojas y todos los tejidos membranosos, lo cual detiene la actividad metabólica en árboles y provoca la muerte en herbáceas. En animales se presentan daños en pelaje, plumas, escamas y piel, aquellos organismos sin refugio o sensibles a los cambios de pH como los anfibios y algunas aves, perecen ante este fenómeno. Por si fuera poco, los suelos y cuerpos de agua acumulan estas sustancias y provoca erosión y contaminación de suelos, mantos freáticos y la muerte de anfibios, insectos, invertebrados y peces asociados a ellos. A largo plazo los ecosistemas pueden quedar completamente erosionados y contaminados los cuales pierden una gran diversidad y en casos extremos se vuelven incompatibles con la vida (Power, 2013).

Después tenemos la eutrofización se puede definir como el proceso gradual de acumulación de nutrientes en cuerpos de agua, se debe al aporte masivo, acumulativo y constante de compuestos inorgánicos ricos en nitrógeno y fósforo. La mayor fuente de eutrofización está dada por la agricultura y la ganadería donde el uso desmedido de fertilizantes y pesticidas provoca una contaminación y acumulación de compuesto en los suelos los cuales filtran a cuerpos de agua. Dentro de la producción energética las emisiones de óxidos de nitrógeno y de azufre tanto a la atmosfera o directamente a los cuerpos de agua provoca este tipo de impacto (Vaquiera, 2012).

Las consecuencias son de amplio espectro y depende de la concentración, tipo de cuerpo de agua y organismos asociados a estos cuerpos de agua; en los sistemas loticos, es decir en ríos, o cualquier cuerpo de agua con un flujo constante; los efectos son acumulativos, ya que una cuenca o un río puede presentar un gran número de industrias, actividades agropecuarios y desechos urbanos, esto provoca que conforme se desciende en el cauce del río los efectos son más notables y pueden partir desde la disminución de la biodiversidad hasta completamente generar aguas tan contaminadas que no permitan el desarrollo de animales. En los sistemas lenticos, es decir con aguas sin un flujo constante,

como lo pueden ser lagos y lagunas, el efecto es notable, ya que la acumulación es más rápida disminuyendo la diversidad de manera directa.

Finalmente el exceso de nutrientes genera un fenómeno conocido como florecimientos algales, donde una serie de microorganismos como diatomeas y cianobacterias se ven beneficiadas por el aumento de nutrientes, estos organismos son dependientes del nitrógeno y del fósforo y esto provoca un crecimiento poblacional desmedido, estos organismos proliferan en la superficie del agua por lo cual generan hipoxia en los organismos bentónicos (fijados a sustrato) y por si fuera poco tienen la capacidad de generar un gran número de toxinas que acaban con la vida de un sinnúmero de organismos; este fenómeno se presenta tanto en agua dulce como en agua salada (IDEA, 1999 y Vaquiera, 2012).

Cuando hablamos de metales pesados en realidad estamos hablando elementos metálicos de gran peso molecular y con una densidad mayor a 4.5 g/cm^3 , sin embargo, se pueden incluir otro tipo de elementos en dicha categoría inclusive aquellos que no son metales, como el arsénico; se les agrupa por una serie de características básicas: persistencia, bioacumulación, biomagnificación y toxicidad (Rodríguez-Heredia, 2017).

La persistencia se refiere a la gran dificultad de degradar naturalmente estos elementos, sus ciclos biogeoquímicos son muy tardados y complejos, lo que provoca que permanezcan en el ambiente por largos periodos de tiempo. Se entiende como bioacumulación a la cantidad de contaminantes que es absorbida y retenida por los organismos, que es su mayoría es incapaz de procesar, va de la mano con la biomagnificación donde los depredadores superiores presentan mayores concentraciones de contaminantes que las presas, debido a la constante ingesta de animales bioacumuladores (Rodríguez-Heredia, 2017). Finalmente, la

toxicidad de los metales pesados puede variar mucho de elemento a elemento, pero en general, todos presentan un peligro para su supervivencia y su presencia en el ambiente o en el organismo involucra un deterioro para la salud y calidad de vida. En el caso de los seres humanos se ha denotado su relación con enfermedades neurológicas como Alzheimer, degeneración genética y formación de tumores malignos (Rodríguez-Heredia, 2017 y Roldán-Wong, 2017).

Además, tenemos, un gran conjunto de sustancias, compuestos y elementos que tienen una relación directa con alteraciones celulares, formación de tumores y cáncer. Entre los más comunes y de los cuales existen diversas pruebas y regulaciones, encontramos a los compuestos con cadmio, cromatos, ácido sulfúrico y benceno. Todos estos al entrar en contacto con las células generan alteraciones en el código genético y en consecuencia presentan malformaciones, tumores malignos y muerte celular. Su impacto en los ecosistemas es directo y de manera rápida, donde provoca una disminución de poblaciones, diversidad y calidad de vida de los organismos afectados (Reyes, et al., 2016; Rodríguez-Heredia, 2017). Vinculado a este fenómeno está la radiactividad. todo compuesto, metal y objeto que tenga la capacidad de emitir rayos alfa, beta, gama o electrones; la quema de combustibles fósiles y en especial, de manera desproporcionada el uso de energía nuclear como fuente de energía emplea un gran número de elementos radiactivos con los cuales se bombardean los núcleos de ciertos compuestos para generar energía o bien para evaporar agua, esto genera elementos, compuesto y/u objetos con núcleos inestables que a su vez tiene la capacidad de emitir cierto tipo de energía radiactiva, dependiendo de la radiación y tiempo a que fueron expuestos (Vaquiera, 2012).

Los efectos negativos sobre los ecosistemas son conocidos como contaminación radiactiva, donde estos desechos o productos derivados, provocan deterioro celular, al poseer una gran cantidad de energía son capaces de ionizar (se le conoce como el fenómeno físico y/o químico donde un compuesto se es

proporcionado un electrón de más o de menos causando que sea altamente inestable) nuestras células y en especial nuestro DNA es susceptible a este tipo de daño, por si fuera poco provoca una gran cantidad de radicales libres de oxígeno al interior y exterior de las células, estos comúnmente conocidos como ROS, provoca una serie de reacciones no deseadas en los núcleos y orgánulos celulares con lo cual pueden provocar mutaciones, malformaciones y muerte celular (Vaquiera, 2012). En los ecosistemas tiene un gran impacto ya que la contaminación radiactiva tiene una vida media de 10,000 a 20,000 años y en todo ese tiempo la proliferación y diversidad de vida se ve reducida significativamente y en muchos casos es casi nula (IDEA, 1999 y Vaquiera, 2012).

Finalmente tenemos simplemente el agotamiento de recursos no renovables donde se han consumido por completo en un yacimiento, área o región; el impacto ecológico va a depender de las características orográficas y biológicas de los yacimientos y el área de estos, este puede estar asociado a la integridad de mantos acuíferos, de los suelos, filtración de agua, permanencia de cobertura vegetal y diversidad (IDEA, 1999).

Estos conceptos se vuelven importante sal momento que deseamos medir el impacto o la degradación del medio ambiente para esto tenemos muchas distintas formas de medir el efecto del consumo energético en el ambiente. Además de que esto nos permite hacer hincapié en la

4. Justificación teórica

En esta sección primero discutiré el universo de variables disponibles para el análisis del consumo y producción energética en la degradación ambiental, esta discusión justo con un recorrido histórico de la producción y consumo energético en México justo con su relación con los procesos políticos y su relación con el crecimiento servirá para justificar la importancia de la relación.

Es en este punto que hay que introducir y discutir el uso de la EF como la variable clave que usaré para medir la degradación ambiental. Según Wackernagel y Loh (2002), la huella ecológica es "una medida de la cantidad de tierra y agua productiva que necesita un individuo, una ciudad, un país o la humanidad para producir los recursos que consume y absorber los residuos que genera, utilizando la tecnología actual". La huella ecológica es una estimación estandarizada de la capacidad de carga biológica de la Tierra necesaria para soportar el uso de recursos y la producción de residuos de la humanidad. Esencialmente la EF es una medida que captura las distintas formas en la que la tierra es explotada y es esta la razón por la que si bien existen otra serie de indicadores que pueden usarse como proxy del deterioro ambiental es la huella ecológica la que usaré en el modelo.

En la literatura sobre energía y medio ambiente han utilizado varios proxis y metodologías para medir la calidad ambiental a continuación enlistaré brevemente los estudios y los proxis utilizados para esto: Danish y Baloch (2018) y Ferris et al., (2014) emplearon dióxido de azufre; mientras que Cole et al., (1997) y Yahaya et al., (2016) óxido nitroso; por su parte Arshad Ansari et al., (2020) midieron la calidad ambiental utilizando la EF. Estudios como los de Ahmad et al., (2016), Cai et al., (2020), Li et al., (2020), y Mrabet et al., (2017) utilizaron las emisiones de CO₂, mientras que Al-Mulali et al., (2015) y Dogan et al., (2020) utilizaron EF como indicador para medir la degradación del medio ambiente.

Ahmed et al., (2020) investigan la asociación entre la urbanización y EF y señalan que la urbanización contribuye a la EF en los países del G7, mientras que el capital humano contribuye negativamente, adicionalmente sostienen que la literatura sobre urbanización es insuficiente. Al-Mulali et al., (2015) señalan que la urbanización junto con el comercio y el uso de la energía impulsan la EF en los

países MENA². De forma similar Charfeddine, (2017) ilustra que la urbanización, junto con el comercio, aumenta la CE en Qatar. Por el contrario Charfeddine y Mrabet (2017), indican que la urbanización es favorable a la calidad ambiental, ya que reduce la CE en los países MENA. Saleem y Shujah-ur-Rahman (2019) investigaron el impacto del capital humano y la biocapacidad encontrando que el capital humano contribuía significativamente al deterioro medioambiental y que el consumo de energía estimulaba EF.

Sharif et al., (2020) afirmaron que el consumo de energías renovables mejora la calidad del medio ambiente a largo plazo, mientras que Alola et al., (2019) encontraron que el consumo de energías no renovables (ENR) disminuye la calidad del medio ambiente; Tran et al., (2019) y Destek y Sinha (2020) señalan que el consumo de energías renovables reducen la EF y que el consumo de energías no renovables degrada el medio ambiente; Balsalobre-Lorente et al., (2018) confirmaron que las ER mejoran la calidad del medio ambiente mientras exploraban la relación entre ingreso y emisiones. Danish et al. (2020) y Joshua y Bekun (2020) descubrieron que el alquiler de recursos naturales (como una política regulatoria de emisiones) contribuye a disminuir la EF y las emisiones nocivas para el ambiente. Los recursos naturales tienen una relación positiva con la calidad ambiental, según Marhmond et al., (2019) y Begum et al., (2015) el crecimiento poblacional no tiene efectos significativos efectos sobre las emisiones de CO₂ per cápita en el corto plazo, pero encontraron que puede afectar negativamente a las emisiones de CO₂ en el largo plazo como es en el caso de Malasia. La revisión de la literatura nos lleva a concluir que los recursos naturales y el consumo de energía renovable son impulsores de la calidad ambiental mientras que el consumo de energías no renovables, y el crecimiento poblacional son los principales motores de la degradación ambiental justo con otros indicadores como el capital humano la urbanización y el producto.

² El término MENA es un acrónimo del inglés refiriéndose al Medio Oriente y el norte de África (Middle East and North Africa, Medio Oriente y norte de África).

En el caso de los países de América Latina, Perevochtchikova (2013) rescata la primera parte de la literatura realizada, en la cuáles se evalúa el estado ambiental en algunos países de la región. Entre los temas tratados se detectan los siguientes: población (crecimiento, urbanización); económico (ingreso, pobreza); social (educación, salud); ambiental (disponibilidad, uso y contaminación de agua, residuos, calidad de aire, biodiversidad, suelo), y el tema de cambio climático (en relación con emisiones de contaminantes, producción y consumo de energía, desastres naturales, agricultura y cambio de uso del suelo).

Lee y Yoo (2016) encuentran una causalidad unidireccional va del crecimiento económico al consumo de energía para México. Lo que significa que un crecimiento de la renta real es responsable de un alto nivel de consumo de energía. Galindo (2005) encuentra que el consumo de energía tiene una relación positiva con la renta y una relación negativa con el precio relativo. Por lo tanto, se podría esperar razonablemente que el crecimiento económico aumente el consumo de energía. En el mismo trabajo encuentran una relación causal bidireccional entre el consumo de energía y las emisiones de CO₂. En su estudio declaran que el sector industrial es el que consume más energía en México y a pesar de que la eficiencia energética en el sector industrial ha mejorado continuamente todavía hay un gran potencial para el ahorro de energía.

Al momento de querer definir las variables y en un modelo que mejor nos permita hablar de la relación entre el consumo de energía y la degradación ambiental en México es necesario entender el tipo de producción y políticas que observamos en las series de tiempo. Con esto en mente haré un recorrido de la historia de la producción energética en el país desde la mitad del siglo XX para establecer la importancia de la producción de combustibles fósiles.

Entre 1959 y 1973 la expansión de PEMEX sufrió una desaceleración importante que culminó en una crisis productiva. Las razones de este rezago obedecieron, en primer lugar, a cambios en las políticas de exploración que llevaron a una caída de las reservas probadas. Durante 1959-1964 se dio preferencia a las perforaciones de desarrollo abandonando las exploratorias. El siguiente director general, Jesús Reyes Heróles (1964-1970), corrigió esta situación dando un mayor impulso a la perforación exploratoria y dejando en un segundo término la del desarrollo. Su administración heredó al final la localización de los ricos yacimientos en el sureste de México, pero no inició la explotación de estos depósitos. El retraso de las actividades de exploración se debió también a limitaciones financieras (Álvarez, 2006).

De forma similar el GN no pudo enfrentar el incremento del consumo interno. Éste tuvo, entre 1960 y 1972, una tasa de crecimiento anual de casi 10% mientras que el de la producción fue de sólo 4.1% (Álvarez, 2006). La elevación del consumo de hidrocarburos respondía a la irrupción definitiva de la industria gasera en México durante los años sesenta, impulsada por la capacidad de comercialización por parte de PEMEX. En 1959 el consumo de gas dentro de la República era de un poco más de 2 mil 800 millones de metros cúbicos, en 1970 el volumen había aumentado a 12 mil 206 millones. Por su parte, el combustóleo dejó de ser el producto de mayor consumo y su lugar fue ocupado por la gasolina (Álvarez, 2006).

Para 1970 la participación relativa del GN en la producción de energía era de 32.6 por ciento, participación que superaba con mucho lo que sucedía en el resto de Latino América (Márquez, 1988). La importancia creciente que el GN adquirió era tanto reflejo de la producción como de la disponibilidad. Sin embargo, las perspectivas a corto plazo para la industria del GN eran preocupantes. Las prioridades y metas fijadas para la industria petrolera hacían que las actividades ligadas al GN estuvieran subordinadas al petróleo. Dicho en otras palabras, el desarrollo de la industria estaba sujeto a la existencia de excedentes de la

industria petrolera. Circunstancia en la que no era posible crear una política que resolviera los problemas de la industria del gas natural (Márquez, 1988).

Por otro lado, el periodo fue de suma importancia para el sector eléctrico, en 1960 el 54% de la capacidad instalada en el país correspondía a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), 25% a Mexican Light and Power (MLP), el 15% a Impulsora de Electricidad y el 9% estaba repartido en diferentes empresas. En ese año CFE adquiere el 100% de la compañía MLP (posteriormente Luz y Fuerza del Centro) y el 95% de Impulsora (MEMAC, 2019). El gobierno cambió la Constitución, ahora solo el Estado tenía derecho a la generación, transmisión y distribución de electricidad, lo que cerró la posibilidad de concesiones a privados. De esta manera CFE y LyFC se vuelven las únicas empresas permitidas para la producción de electricidad. En este periodo empezamos a ver lo que serán las constantes como problemas en tema de seguridad energética. El concentrarse en el petróleo a un punto que el resto de los proyectos no reciben financiamiento y la falta de capacidad de prever la demanda de energía.

Como un síntoma de la mala situación financiera por la que atravesaba, en 1973 PEMEX incrementó por primera vez los precios de sus productos para complementar sus ingresos, durante los años del “petróleo difícil”. PEMEX comenzó a recobrar el camino hacia la autosuficiencia productiva a mediados de la administración de Antonio Dovalí Jaime (1970-1976). En esos años la empresa echó a andar un nuevo y ambicioso programa de perforaciones de desarrollo. En 1974 y como consecuencia de las nuevas 42 exploraciones ocurrió un repunte en la producción nacional, que en ese año alcanzó 209.8 millones de barriles. El incremento sin precedente de la producción permitió la reanudación de las exportaciones suspendidas ocho años atrás. En ese año 2.8% del crudo producido se destinó al comercio exterior. En los años subsiguientes las exportaciones crecerían hasta alcanzar, en 1983, la inusitada proporción de 58% (Álvarez, 2006).

El gran auge petrolero de estos años llevó al gobierno a replantear el papel de PEMEX, ahora la exportación masiva sería el eje fundamental de su expansión. En un principio los mercados foráneos acapararon gran parte de los esfuerzos de expansión de PEMEX. Con el éxito en las operaciones de producción México logro la autosuficiencia productiva primaria. Sin embargo, la demanda continuaba al alza por lo que PEMEX amplió sus capacidades de refinación utilizando los recursos financieros conseguidos con las exportaciones y los incrementos de precios. El conjunto de las transformaciones aumentó la capacidad de refinación a 1.52 millones de barriles diarios y un nivel de autosuficiencia del 99.1%.³⁹ (Álvarez, 2006). La certidumbre creó las condiciones para que el gobierno de López Portillo impulsara una reorganización económica. Dicho en otras palabras, el gobierno convirtió al petróleo en la piedra angular de la estrategia de crecimiento económico. El Plan Sexenal de PEMEX 1977-1982 ni siquiera contemplaba la exportación del gas natural, sosteniéndose que su lugar estaba en la petroquímica y como combustible industrial y doméstico. Junto con la ola de ingresos por el petróleo el GN consiguió avances considerables en producción, capacidad de extracción y procesamiento (Álvarez, 2006). Sin embargo, los resultados distaban de ser favorables al considerar parámetros como son: producción versus consumo, eficiencia, evolución de las reservas probadas de gas y exportaciones.

Desde inicios del sexenio se sabía no solo que la demanda potencial de GN era inmensa. Predicción que se vio cumplida con una tasa de crecimiento promedio anual del consumo del 11.6 por ciento; con un aumento en participación de gas asociado y con ello mejorando los problemas relativos al aprovechamiento de este. En términos absolutos, los volúmenes de gas quemados al final del periodo prácticamente se duplicaron con respecto a 1976 (Márquez, 1988). A pesar de que esto no se notaba con claridad en la proporción y consumo energético del país, donde el petróleo mantuvo su supremacía

Mientras tanto, en el sector eléctrico la CFE no solamente aumento la capacidad instalada de generación en el país, también estandarizo los criterios técnicos del sistema eléctrico. Y en 1976, después de años de investigación se llegó a la decisión de unificar la frecuencia nacional a los 60hz. Se comenzó a subsidiar el precio de la electricidad, volviendo costeable para la población nacional el uso de electrodomésticos y la atracción de inversión extranjera (MEMAC, 2019). Debido a la capacidad de producción de petróleo con la que contaba el país, las plantas eléctricas funcionaban a base de petróleo. La ventaja de estas plantas era que podían ser construidas con materiales locales, a diferencia de las grandes plantas de carbón y gas donde la tecnología tenía que ser importada. PEMEX, vendía el combustible 30% más barato que el precio marginal para la producción de energía significando que la producción de energía le costaba a PEMEX 1,000 millones de dólares (MEMAC, 2019).

Es muy claro que para este periodo de generación de ingresos petrolíferos generó una relación insana con el petróleo. Se descuido el desarrollo de fuentes de ingreso y energía alternativas a tal punto que no solo se era ineficiente si no que el país operaba en una situación insostenible. En este periodo simplemente consiste en una serie de decisiones lamentables, el centrarse en el petróleo no solo como fuente de energía sino como ingreso primario llevo a México a depender del precio de este. Finalmente, los vicios adquiridos en esta época pasarían la cuenta al caer el precio del petróleo

A partir de 1981 la sobreoferta petrolera mundial y la liberación de los precios que regulaban la industria petrolera norteamericana trajeron como consecuencia una caída generalizada de los precios que afectó gravemente a los países productores independientes, entre ellos México. La Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) intentó contrarrestar los efectos de la depresión estableciendo precios fijos y topes de producción, pero no todos los países miembros se ajustaron a estas acciones coordinadas. Arabia Saudita, Irán e Irak siguieron

produciendo y saturaron aún más el mercado. El periodo recesivo de la industria petrolera mundial culminó con un desplome de precios a principios de 1986 que constituyó un golpe muy duro para la industria petrolera mexicana (Álvarez, 2006). La situación del mercado internacional provocó que México cambiara sus políticas de producción a partir de 1983. Se aplicaron planes más restrictivos y cautelosos con el fin de lograr ahorros y hacer más eficiente su desempeño al mismo tiempo que en materia de producción primaria se redujo el número de pozos perforados. Si durante el periodo 1980 a 1982 se habían perforado 187 pozos de exploración y 842 pozos de desarrollo, para 1986 las nuevas políticas limitaron las perforaciones a 68 y 178 (Álvarez, 2006).

Aún con la pérdida de dinamismo, se logró cubrir casi la totalidad del consumo interno. En esta coyuntura la industria petrolera experimentó una reorientación que consistió básicamente en la reducción de los programas de inversión y el incremento de la productividad, la rentabilidad y la eficiencia. En el caso particular del gas el viraje de la administración de Miguel de la Madrid implicaba un mejor aprovechamiento de la capacidad productiva y de la infraestructura disponible; la solución de los problemas ligados a la quema de gas asociado; el mejoramiento en el uso de las instalaciones y la eliminación de las deficiencias operativas. Sin embargo, y pese a las intenciones, la producción de GN había ya iniciado un paulatino pero sostenido descenso desde 1982 (Márquez, 1988).

En 1992 PEMEX realizó otra gran transformación corporativa con la Ley Orgánica de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios dispuso la creación de cuatro organismos descentralizados de carácter técnico, industrial y comercial, con personalidad jurídica y patrimonio propios, los cuales serían coordinados por un corporativo. La nueva organización de la empresa quedó de la siguiente manera: Pemex Exploración y Producción, que es el organismo encargado de la exploración y explotación de los yacimientos de petróleo y gas natural, así como de su transporte y almacenamiento en terminales. Después de la crisis del

petróleo y sumados la crisis del 94, el Banco Mundial en sus condiciones para el rescate a México impone condiciones para que las empresas del gobierno tengan mayores candados en la adquisición de deuda. De esta manera CFE ya no tiene capacidad del crédito necesario para satisfacer la demanda creciente. Por este motivo para 1994 el mercado eléctrico nacional se abre a la industria privada bajo el esquema de Productor Independiente de Energía (PIE), los cuales son empresas privadas que producen energía para venderla exclusivamente a CFE (MEMAC, 2019). Esta incorporación de los PIE al sistema eléctrico nacional permito la primera apertura al libre comercio, estas empresas han sido en su mayoría extranjeras que incorporan tecnologías modernas de generación de electricidad con una producción más barata y limpia.

Para el año 2013 se empezaba a cocinar la reforma energética la liberalizaba el mercado eléctrico nacional. Esto significa que el gobierno deja de tener la exclusiva en la producción de energía o que compañías eléctricas o inversionistas tanto nacionales como internacionales podrán invertir en el sector eléctrico mexicano de manera competitiva (MEMAC, 2019). En cuanto a las tendencias internacionales por sector se vislumbran tres sectores de interés: el sector eléctrico donde se espera la demanda aumente un 24.4 %, entre 2015 y 2040; el sector industrial el cual se ha proyectado crecerá aproximadamente 27.6 por cien; y el sector residencial del cual se espera una disminución de 7.7 % (Petroquimex, 2018). En México se espera que, en 2030, la demanda de GN se incremente 20.3 por ciento respecto a 2015 con una tasa crecimiento anual de 1.2 por ciento. Este incremento se explica por el aumento de este combustible en la demanda del sector eléctrico e industrial (Petroquimex, 2018).

Por lo que en México las reservas probadas de petróleo han disminuido considerablemente como resultado de un cambio en la forma de evaluación en los años noventa. PEMEX fue muy agresivo en el cálculo de sus reservas, e incluía las probadas más “probables”, una definición mucho más amplia que la utilizada

en otros países (Lynch, 2019). Es posible que puedan descubrirse otros grandes campos en los próximos años con el trabajo conjunto de Pemex y las empresas privadas. Haciendo el mismo ejercicio para el gas, con los pronósticos de producción futura de la Energy Information Administration se observan retornos más bajos que para el petróleo, pues este se vende a un precio mucho más baratos (Lynch, 2019). En esencia de este periodo podemos entender que el fantasma del petróleo aún asecha a México y que de seguir cayendo en esa trampa la seguridad energética del país estará perpetuamente inestable.

En lo que respecta a el tipo de apertura del mercado mexicano durante los 80s el país se unió a la tendencia mundial de liberación del sector; pero la electricidad, junto con los hidrocarburos, permaneció firmemente en manos del sector público. En 1992, el gobierno permitió la introducción de productores independientes de energía con la reforma de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, así como los esquemas de cogeneración y autoabastecimiento. México ha tratado de impulsar su industria del GN a través de diferentes esfuerzos en las últimas dos décadas. Mucho antes de la reforma de 2013, el sector del GN de México había experimentado una apertura inicial en 1995, que, por primera vez desde la nacionalización del sector permitió las inversiones extranjeras en la transmisión y distribución de gas (IEA, 1996). Y si bien el cambio en la proporción de energía no empieza a cambiar hasta casi una década después de la incorporación de los PIE si se distingue el punto en donde el GN empezó a tener un rol de cada vez mayor relevancia en México, esto en la Figura1. En esta misma grafica es evidente la dependencia del petróleo como fuente de energía, a tal punto que la consistencia se asemeja a la de Irán durante su periodo de mayor inestabilidad política, es decir en el periodo donde no podía transformar su sistema energético.

De igual forma es preocupante el pequeño pero evidente regreso del carbón en el consumo nacional que ha desplazado la proporción que antes provenía de la generación hidroeléctrica. En lo que al GN respecta México se enfrenta varios

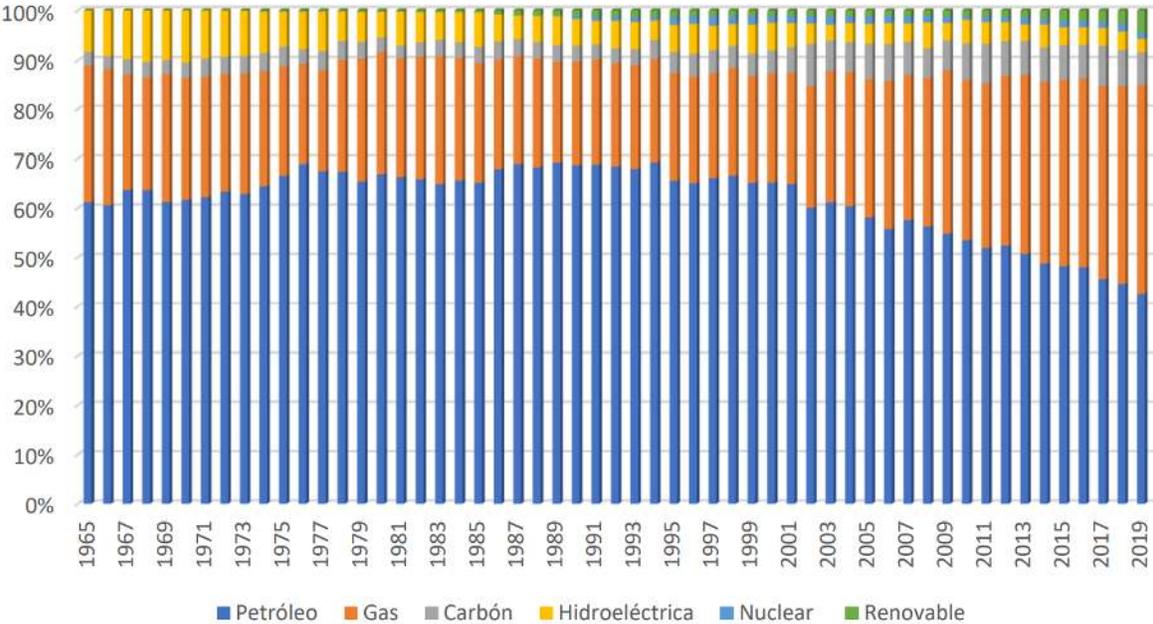
problemas, el primero de ellos es a la caída de sus reservas probadas. Reservas que descendieron a 9 285 mmpc a consecuencia de las actividades de producción y las pruebas de inyección de agua para la recuperación secundaria implementadas en los campos en el Golfo de México. Además, la producción de gas ha disminuido en los últimos años, pasando de 7,357 mmpc diarios en diciembre del 2010 (pico de producción en los últimos años) a 4,836 mmpc en diciembre del 2020, lo que implica una caída del 34%. El segundo problema es la resiliencia para crear una producción propia de GN. México cuenta con importantes yacimientos de gas no convencional, parte de los cuales están en continuidad con los depósitos al sur de Estados Unidos. Desarrollar estos recursos aprovechando la experiencia y los conocimientos estadounidenses permitiría ampliar aún su uso en el sector industrial y reducir la dependencia de las importaciones. Después de la caída en la demanda de GN, ocurrida en la recesión de 2008 y 2009, la tecnología de fracking se consolidó en el sector petrolero y su uso en yacimientos no convencionales desencadenó la caída en los precios y su estabilidad en ese nivel bajo (Carrillo, 2021).

Lo que esta historia nos cuenta a grandes rasgos es que la generación de energía en México esta y siempre ha estado dominada por la producción y consumo de combustibles fósiles, particularmente el petróleo. También es evidente al analizar las series en la Figura 2 que los efectos de las crisis en el sector energético se traducen una crisis para el resto de la economía. De tal forma que si bien en la literatura hay ciertas variables que han sido utilizadas, en el contexto del caso mexicano no son necesariamente relevantes.

Si bien el modelo que es propuesto por Khan y Le (2020) incorpora y encuentra una relación entre los indicadores de la degradación del ambiente y el consumo de energía renovable, al momento de analizar los datos para México no está tan claro que exista una explicación causal sólida para hacer una inferencia en este sentido. Si observamos la Figura 1 podemos ver que la proporción de consumo de

ER como proporción total del consumo de energía no para el periodo es insignificante. Más aún, al observar la gráfica de dispersión en la Figura 3 (Anexo1) esta parece indicar que la relación es positiva lo que indicaría que el consumo de energías renovables tiene un efecto positivo en la degradación ambiental, lo cual en primera instancia no parece tener mucho sentido.

Figura 1 Proporción del consumo de energía por fuente de consumo en México para 2019



Fuente: Elaboración propia con datos de BP Statistical review of world energy 2019.

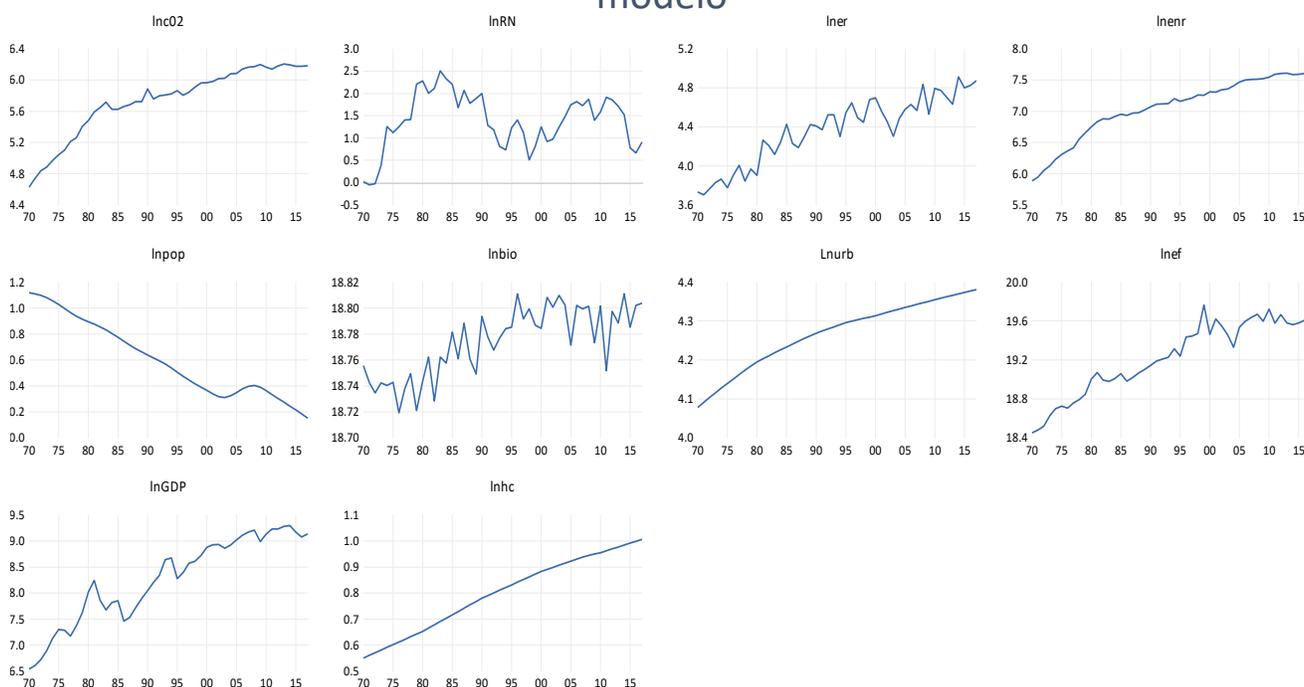
También tenemos a variables como urbanización y el capital humano de que aparentemente podrían estar en el modelo pues su tendencia, la literatura y las historias que podemos contar para explicar el modelo nos harían pensar que pueden efectivamente explicar parte de la relación. Sin embargo, a mi parecer estas variables lo que están haciendo es capturar otros aspectos de la dinámica ambiental y no necesariamente el capital humano es problemático pues es un indicador que dependiendo del contexto puede ser tanto positivo como negativo.

Dependiendo del tipo de formación profesional, así como también parece tener un componente cultural, donde entre mayor sea el capital humano de una región hay un a cambio de preferencias a energías limpias. La asociación negativa entre la huella ambiental y el capital humano puede justificarse porque el capital humano puede ser un factor importante en el desarrollo como en el caso de China (World Bank, 2010). En contraste la presencia capital humano también puede aumentar la demanda de un mejor medio ambiente, e influye positivamente en el uso eficiente de los recursos, el ahorro de energía, la conservación de los recursos naturales y la adopción de tecnología innovadora a nivel individual y colectivo. Esta idea se ve respaldada en cierta medida por Xu et al., (2012), que revelan que las personas con formación en China gastan más dinero en productos del mar de primera calidad con etiqueta ecológica. Lan et al., (2012), consideran que el capital humano es un factor positivo en la adopción de tecnología respetuosa con el medio ambiente en China. Lo que si bien genera unas líneas de estudio bastante rica también introduce dinámicas que el enfoque utilizado no aprovecha.

La urbanización como indicador de la intensidad de consumo que hay en las ciudades, así como de la industrialización de un país. Si bien estos indicadores tienen algo que decirnos para el caso mexicano parece más importante establecer claramente la relación entre el crecimiento que viene tradicionalmente impulsado por el sector energético. Y desde la perspectiva que entiende el consumo energético como la unidad básica de la producción moderna y por ende también la fuente del crecimiento económico la variable central a entender es el crecimiento que en el modelo será capturado por el PIB per cápita. Además de que la urbanización también tiene el potencial de ser una variable problemática por un lado tenemos los resultados de Ahmed et al., (2020) o de Charfeddine (2017), Jorgenson y Clark (2009) quienes encuentran que la urbanización tiene un efecto positivo en la degradación ambiental. Sin embargo, va en contra de los resultados

de Danish et al., (2019), que indican que la urbanización mitiga la huella ecológica en los BRICS3.

Figura 2 Series de tiempo de las posibles variables que explican el modelo



Fuente: Datos de CO2 Oxford Our world in data EF y BIO : Footprint network; RN, URB, GDP, POP, ER y ENR: Worldbank data; HC Penn Worl table, 1970-2017

En lo que a el GDP respecta podemos observar como el producto interno percapita nos cuenta tambien parte de la historia donde al caer el producto en las crisis en los 80s y 90s en la pendiente y tendencia del resto de series se elucida. Como sugieren los resultados de Kilian (2009) los efectos de la oferta en el precio de el petróleo no es el verdadero motor de los cambios en el precio y consumo de

³ En economía internacional, se emplea la sigla BRICS para referirse conjuntamente a Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica,

el petróleo, lo que este resultado implica en este contexto para las series de México es que al haber una caída en el producto nacional per capita el gasto de energía también cae. Lo que es consistente con los resultados de Lee y Yoo (2016) y Galindo (2005).

El modelo por utilizar es:

$$\Delta EF = \beta_0 + \sum_{k=1}^p \beta_{1k} \Delta EF_{t-k} + \sum_{k=1}^p \beta_{2k} \Delta GDP_{t-k} + \sum_{k=1}^p \beta_{3k} \Delta RN_{t-k} + \delta_1 EF_{t-1} + \delta_2 GDP_{t-1} + \delta_3 RN_{t-1} + \mu_t$$

Donde, por un lado tenemos a la variable pendiente que es EF (con datos obtenidos del Footprint network) a la cual pretenderé explicar con el PIB per cápita (GDP) y los recursos naturales (RN) ambas series conseguidas del Banco Mundial. Los datos serán utilizados con una transformación logarítmica y ya que las series son únicamente son estacionarias en su primera diferencia el resto de los cálculos serán realizados con I(1) (Anexo 2).

5. Metodología

El primer paso en el análisis ARDL, es el análisis de raíz unitaria. Que informa sobre el grado de integración de cada variable. Para satisfacer el supuesto de la prueba de límites de los modelos ARDL, cada variable debe ser I(0) o I(1). En ningún caso debe ser I(2). De Vita et al., (2006), también señalaron que la variable dependiente debe ser I(1). Sin embargo, esto no se afirma ampliamente en la literatura actual. El análisis de la raíz unitaria se realiza con una larga serie de pruebas como, por ejemplo, la Dickey Fuller aumentada (ADF) que será la utilizada en este caso. Sin embargo, cabe destacar que los investigadores deberían aplicar tanto las pruebas de raíz unitaria tradicionales como las de

pruebas de raíz unitaria de ruptura estructural. Para este propósito se le aplico a las series el test de Perron (1989) y la prueba Chow (1960) en el modelo, pues la raíz unitaria tradicional podría estar sesgada cuando hay una ruptura estructural en una serie temporal.

El modelo ARDL puede aplicarse a diferentes órdenes de integración de las variables. La variable dependiente debe ser $I(1)$; sin embargo, las demás variables pueden ser $I(0)$ e $I(1)$ o un orden de integración mixto. Para la especificación de los lags utilizamos el criterio de información de Akaike (AIC). En la prueba de límites ARDL de cointegración, se utiliza el estadístico F. En la prueba de límites ARDL, el valor estimado de la estadística F se compara con los dos conjuntos de valores críticos de los límites superior e inferior. Si el valor de la Si el valor de la estadística F estimada es superior a los valores críticos de los límites superior e inferior, se rechaza la hipótesis nula de ausencia de cointegración de no cointegración se rechaza. Si se encuentra entre los dos valores críticos, la conclusión es indecisa. Si el valor del estadístico F es inferior a los valores críticos, se acepta la hipótesis nula de no cointegración.

Después de confirmar la relación a largo plazo entre los precios de las acciones y los tipos de cambio reales mediante la aplicación de la prueba de límites ARDL y las técnicas de cointegración combinadas, se puede aplicar la causalidad de Granger para investigar la dirección de la causalidad entre las variables. La prueba de causalidad de Granger basada en el Modelo de Corrección de Errores (MCE) se aplica para investigar la dirección de la causalidad entre las variables.

El ECM es un modelo importante que distingue las causalidades de Granger a corto y largo plazo. El retardo de los coeficientes individuales se utiliza para comprobar la importancia de la relación a corto plazo. Además, el coeficiente de ECT_{t-1} es estadísticamente significativo e indica la causalidad a largo plazo. Los coeficientes rezagados conjuntamente y la ECT se utilizan para verificar la

causalidad conjunta entre las variables además el ECTt-1 informa de la velocidad del ajuste para converger de nuevo a su equilibrio a largo plazo.

6. Resultados

El primer punto de importancia es remarcar el uso de las series en su forma logarítmica y en $I(1)$ para todos los test realizados. Esto se debe a que al utilizar la prueba ADF (Anexo2) pudimos determinar que las series son estacionarias en su primera diferencia, así mismo el test de raíz unitaria estructural de Perron nos indica que para ninguna de las tres variables tenemos un cambio estructural (Anexo5).

Ahora al discutir los resultados del modelo, lo que podemos observar es la relación que tienen los parámetros en el modelo a corto plazo, como se observa el parámetro para el ingreso per cápita tiene una relación significativa y positiva con la degradación ambiental. Relación que se confirma también en el largo plazo este resultado es significativo pues al rechazarse la hipótesis nula en el Bound test entonces sabemos que si existe una relación entre las variables del modelo. En el ECM se observa que el signo negativo y significativo del modelo corregido nos permite decir que la relación entre el GDP y EF existe en el equilibrio de largo plazo con una velocidad de ajuste de 140 %. Sin embargo, los resultados de la prueba de causalidad de Granger no nos permiten establecer causalidad en esta relación. Con cada aumento de 1 por ciento en el crecimiento esto se refleja en un aumento en la huella ambiental aumente de un 0.25 por ciento en el corto plazo mientras que en el largo plazo esperaríamos un aumento menor del 0.17 por ciento (Anexo 4).

Para el ingreso per cápita tenemos una relación entre el deterioro ambiental, aquí encontramos que la relación entre el deterioro ambiental también existe cuando la variable dependiente es GDP. Lo que del mismo modo se confirma para el largo plazo lo que una vez más nos permite hablar de una fuerte relación entre las variables. Así mismo en la regresión de ECM podemos ver que en el largo plazo la velocidad de ajuste al equilibrio es 112 %. Con cada aumento de 1 por ciento en la

huella ambiental esto se refleja en un aumento en la huella ambiental aumente de un 0.82 por ciento en el corto plazo mientras que en el largo plazo esperaríamos un aumento de mayor magnitud con 1.07 por ciento (Anexo 4).

Los signos de las variables sobre el GDP es lo que podríamos esperar donde la EF tiene un efecto positivo al estar relacionado con el crecimiento urbano e industrial. De misma forma la relación con los RN es lo que uno esperaría pues entre más recursos. La evidencia en otros trabajos muestra que la relación entre tener una gran riqueza natural y el crecimiento es positiva. Relación que se mantiene incluso en países que dependen de sus recursos naturales (James, 2015) como puede argumentarse es el caso mexicano.

Para el caso de los recursos naturales tanto la prueba de Bounds y el modelo ECM nos sugieren que existe la relación de largo plazo con el resto de las variables sin embargo en el modelo como tal no parece ser significativa. EN lo que respecta a los efectos en el corto plazo sobre los RN el signo es lo que esperaríamos en el caso de la EF, aunque dado la relación que sabemos existe entre el GDP y EF su signo es atípica. Aunque como ya se indicó los parámetros no son estadísticamente significativos. Si bien estos resultados no son extraños pues confirman lo mostrado por Hassan et al. (2019)

7. Conclusión

El estudio de la seguridad energética en un campo extremadamente amplio en el cual de no concentrarse en una dimensión específica se corre el riesgo de no decir nada en absoluto. Para el caso concreto de México el tema tiene un gran número de campos de estudio que son relevantes para la vida energética y económica del país. En este trabajo el enfoque está en la dimensión ambiental de la seguridad energética. Para explicar el efecto del crecimiento del ingreso o precipita en la EF.

México como muchos otros países se caracterizan por un consumo de combustibles fósiles. Esto es no solo porque el consumo energético del país

siempre ha dependido de estos combustibles para satisfacer su demanda, sino que además ha definido el crecimiento del país a lo largo del siglo XX. En este sentido es el propósito de este trabajo el analizar la relación de largo plazo entre estas dos variables, para junto con lo que la literatura de seguridad ambiental nos dice sea posible el vislumbrar políticas que atiendan a esta relación.

El resultado central de este trabajo es el análisis de la literatura pertinente a la seguridad energética y complementa el resultado del modelo ARDL, y el análisis histórico en México. Para el periodo de 1971 a 2017 se encuentra una relación en el corto y en el largo plazo entre el crecimiento y el impacto ambiental. Lo que además viene acompañado de una serie de tendencias que intensifican los efectos del crecimiento y el daño ambiental.

Como ya se planteó con anterioridad la degradación del medio ambiente tiene como explicación una distinta serie de indicadores que como los son: el consumo de energías limpias (aunque para el caso de México el efecto de estas podría ser insignificante debido a la dominancia de los combustibles fósiles); el capital humano como un indicador que puede ser positivo y negativo dependiendo del tipo de formación profesional, así como también parece tener un componente cultural, donde entre mayor sea el capital humano de una región hay un a cambio de preferencias a energías limpias; la urbanización como indicador de la intensidad de consumo que hay en las ciudades así como de la industrialización de un país . Si bien estos indicadores tienen algo que decirnos para el caso mexicano parece primero importante establecer claramente la relación entre el crecimiento que viene tradicionalmente impulsado por el sector energético.

Desde el punto de vista que entiende el consumo energético como la unidad básica de la producción moderna y por ende también la fuente del crecimiento económico lo que encontramos es una problemática donde el enfoque de México ha estado en la producción de energía por medio de combustibles fósiles que han impactado el medio ambiente mexicano por lo menos desde hace cincuenta años.

Por este motivo se vuelve una conclusión elemental de este trabajo el pensar en adoptar un cambio de enfoque energético.

Como parte de las políticas que sería posible implementar que vale la pena considerar tenemos impedir el uso de la energía como instrumento de chantaje político, garantizar la previsibilidad y la estabilidad de los mercados energéticos (Chiemchaisri et al., 2012) (Gardner et al., 1993). Con instituciones más fuertes y confiables sería razonable pensar que las regulaciones ambientales tendrían una mayor incidencia. Un país que atravesó por un camino similar al mexicano el Corea donde tras un periodo de nacionalización del sector hubo una transición a liberar el sector, si bien esto sería seguir con un enfoque petrolero es un punto vital para la conservación del ambiente en el país. Finalmente, esta también la posibilidad de cambiar la composición de las fuentes de energía, donde un cambio a energías más eficientes o un cambio a energías limpias permitan contrarrestar parte del efecto que tiene el crecimiento y el consumo de energía sobre la degradación del medio ambiente. Con el matiz que sería necesario tener un compromiso con el cambio de perspectiva pues, como fue encontrado por Sharif et al., (2020) una baja introducción de las energías renovables no mitiga la huella ecológica.

Es crucial que las políticas no afecten el crecimiento económico y que al mismo tiempo tengan algún efecto sobre la degradación ambiental. Por lo tanto, es crucial que estos países den prioridad a la eficiencia energética. Esto con la idea de que no solo se mejore la calidad ambiental, sino que también generará importantes ingresos y conservará la energía convencional para las generaciones futuras.

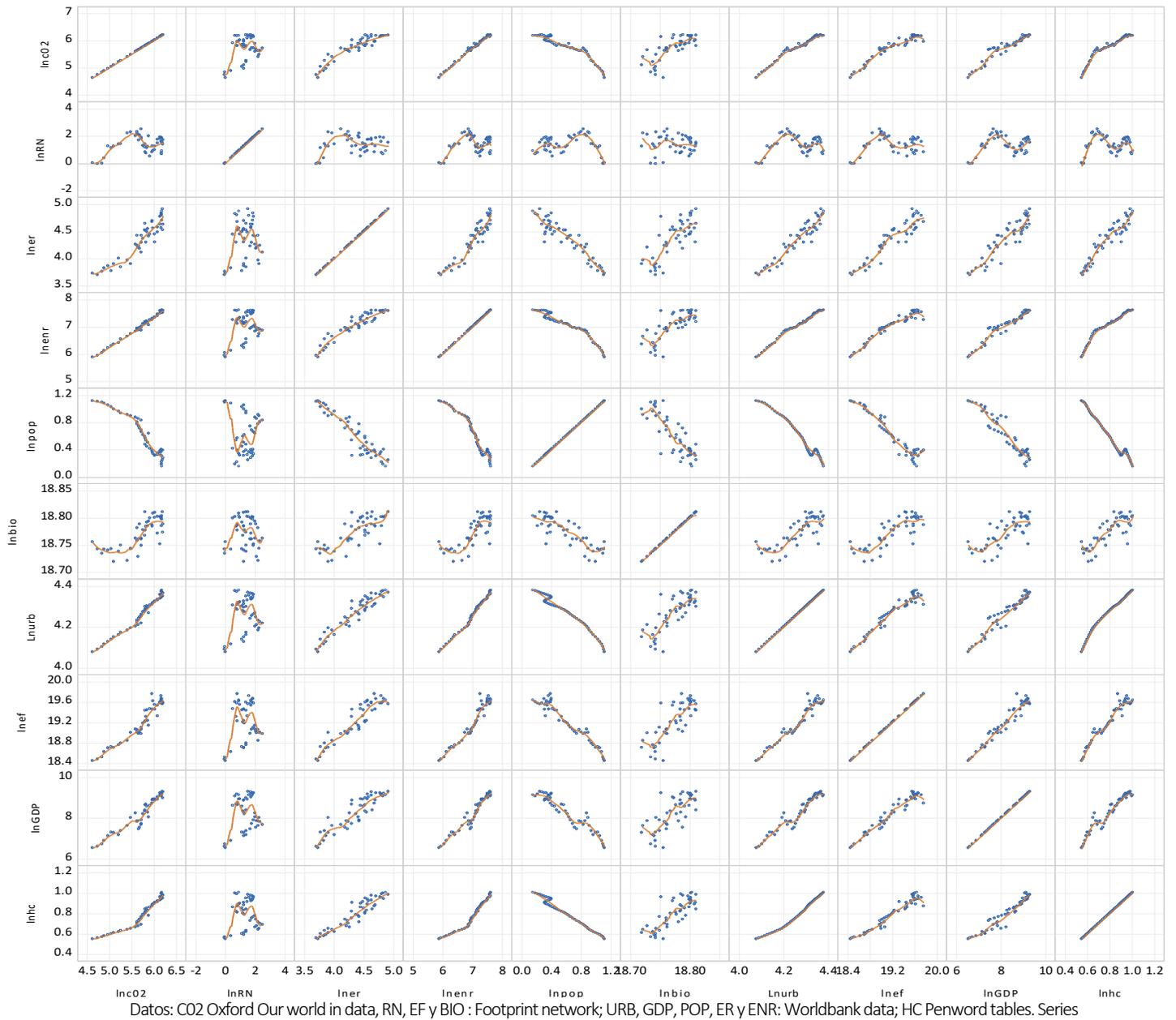
Además, considerando el estatus de México como un país exportador de petróleo y a su alta dependencia de la energía de los combustibles fósiles es recomendable para esta formular y poner en políticas de protección del medio ambiente con un compromiso real por parte de los responsables políticos para controlar estas acciones. Además, el uso

de otras acciones que demuestren su eficacia en países similares constituye una opción para que los responsables políticos aborden los problemas medioambientales. Teniendo en cuenta que la seguridad energética esta vinculada necesariamente a los conceptos de conservación ambiental, de la tasa de recuperación de la tierra y en general de las externalidades que genera el sector energético.

A1. Anexo1 Estadística descriptiva

Figura 3

Matriz de dispersión



B2. Anexo2 Raices unitarias

Tabla 1 Prueba Aumentada Dickey Fuller (ADF) para LN de EF I(1)

Null Hypothesis: D(LNEF) has a unit root
 Exogenous: Constant, Linear Trend
 Lag Length: 0 (Automatic - based on AIC, maxlag=9)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-10.77255	0.0000
Test critical values: 1% level	-4.170583	
5% level	-3.510740	
10% level	-3.185512	

Tabla 2 Prueba Aumentada Dickey Fuller (ADF) para LN de GDP I(1)

Null Hypothesis: D(LNGDP) has a unit root
 Exogenous: Constant, Linear Trend
 Lag Length: 1 (Automatic - based on AIC, maxlag=9)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-6.428092	0.0000
Test critical values: 1% level	-4.175640	
5% level	-3.513075	
10% level	-3.186854	

Tabla 3 Prueba Aumentada Dickey Fuller (ADF) para LN de RN I(1)

Null Hypothesis: D(LNRN) has a unit root
 Exogenous: Constant, Linear Trend
 Lag Length: 1 (Automatic - based on AIC, maxlag=9)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-5.740408	0.0001
Test critical values: 1% level	-4.175640	
5% level	-3.513075	
10% level	-3.186854	

C3. Anexo3 Cointegracion

Tabla 4 Prueba de cointegración para EF

F-Bounds Test		Null Hypothesis: No levels relationship		
Test Statistic	Value	Signif.	I(0)	I(1)
Asymptotic: n=1000				
F-statistic	37.19601	10%	2.63	3.35
k	2	5%	3.1	3.87
		2.5%	3.55	4.38
		1%	4.13	5
Finite Sample: n=50				
Actual Sample Size	46	10%	2.788	3.513
		5%	3.368	4.178
		1%	4.695	5.758
Finite Sample: n=45				
		10%	2.788	3.54
		5%	3.368	4.203
		1%	4.8	5.725

Tabla 5

Prueba de cointegración para GDP

F-Bounds Test		Null Hypothesis: No levels relationship		
Test Statistic	Value	Signif.	I(0)	I(1)
Asymptotic: n=1000				
F-statistic	19.67211	10%	3.17	4.14
k	2	5%	3.79	4.85
		2.5%	4.41	5.52
		1%	5.15	6.36
Finite Sample: n=45				
Actual Sample Size	45	10%	3.33	4.347
		5%	4.083	5.207
		1%	5.92	7.197

Tabla 6

Prueba de cointegración para RN

F-Bounds Test		Null Hypothesis: No levels relationship		
Test Statistic	Value	Signif.	I(0)	I(1)
Asymptotic: n=1000				
F-statistic	13.99491	10%	3.17	4.14
k	2	5%	3.79	4.85
		2.5%	4.41	5.52
		1%	5.15	6.36
Finite Sample: n=50				
Actual Sample Size	46	10%	3.333	4.313
		5%	4.07	5.19
		1%	5.817	7.303
Finite Sample: n=45				
		10%	3.33	4.347
		5%	4.083	5.207
		1%	5.92	7.197

Tabla 7 Prueba de causalidad de Granger

Pairwise Granger Causality Tests
 Date: 06/23/21 Time: 03:47
 Sample: 1970 2017
 Lags: 2

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
LNGDP1 does not Granger Cause LNEF1	45	0.50779	0.6057
LNEF1 does not Granger Cause LNGDP1		0.00686	0.9932
LNRN1 does not Granger Cause LNEF1	45	1.22118	0.3056
LNEF1 does not Granger Cause LNRN1		0.16215	0.8509
LNRN1 does not Granger Cause LNGDP1	45	1.34217	0.2728
LNGDP1 does not Granger Cause LNRN1		0.65113	0.5269

D4. Anexo 4 Modelos

Tabla 8 Modelo de corto plazo para EF

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.*
LNEF1(-1)	-0.485296	0.123795	-3.920168	0.0003
LNGDP1	0.255711	0.072895	3.507930	0.0011
LNRN1	-0.003399	0.035045	-0.096986	0.9232
C	0.023422	0.012934	1.810841	0.0773

Tabla 9 Modelo de largo plazo para EF

Levels Equation				
Case 2: Restricted Constant and No Trend				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LNGDP1	0.172161	0.049442	3.482058	0.0012
LNRN1	-0.002288	0.023609	-0.096926	0.9232
C	0.015769	0.008544	1.845571	0.0720

EC = LNEF1 - (0.1722*LNGDP1 - 0.0023*LNRN1 + 0.0158)

Tabla 10

Modelo ECM para EF

ECM Regression				
Case 2: Restricted Constant and No Trend				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
CointEq(-1)*	-1.485296	0.117640	-12.62582	0.0000

Tabla 11

Modelo de corto plazo para GDP

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.*
LNGDP1(-1)	0.214265	0.142852	1.499904	0.1419
LNGDP1(-2)	-0.343689	0.129721	-2.649446	0.0117
LNRN1	0.067949	0.060980	1.114276	0.2722
LNRN1(-1)	0.100921	0.060732	1.661744	0.1048
LNEF1	0.822361	0.230968	3.560497	0.0010
LNEF1(-1)	0.393859	0.255923	1.538975	0.1321
C	0.028754	0.023963	1.199943	0.2376

Tabla 12

Modelo de largo plazo GDP

Levels Equation				
Case 3: Unrestricted Constant and No Trend				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LNRN1	0.149518	0.077395	1.931891	0.0609
LNEF1	1.076850	0.367192	2.932660	0.0057

EC = LNGDP1 - (0.1495*LNRN1 + 1.0768*LNEF1)

Tabla 13

Modelo ECM para GDP

ECM Regression				
Case 3: Unrestricted Constant and No Trend				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.028754	0.020303	1.416301	0.1648
D(LNGDP1(-1))	0.343689	0.115122	2.985431	0.0049
D(LNRN1)	0.067949	0.043748	1.553178	0.1287
D(LNEF1)	0.822361	0.135234	6.081030	0.0000
CointEq(-1)*	-1.129425	0.143296	-7.881780	0.0000

Tabla 14

Modelo de corto plazo para RN

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.*
LNRN1(-1)	0.014132	0.160253	0.088189	0.9302
LNGDP1	0.390037	0.364116	1.071189	0.2903
LNGDP1(-1)	-0.463912	0.323037	-1.436097	0.1586
LNEF1	-0.294053	0.582722	-0.504620	0.6165
C	0.032227	0.057805	0.557513	0.5802

Tabla 15

Modelo de largo plazo RN

Levels Equation				
Case 3: Unrestricted Constant and No Trend				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LNGDP1	-0.074934	0.441111	-0.169877	0.8659
LNEF1	-0.298268	0.587853	-0.507386	0.6146

EC = LNRN1 - (-0.0749*LNGDP1 - 0.2983*LNEF1)

Tabla 16

Modelo ECM para RN

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.032227	0.051329	0.627855	0.5336
D(LNGDP1)	0.390037	0.245331	1.589838	0.1196
CointEq(-1)*	-0.985868	0.148570	-6.635719	0.0000

E5. Anexo5 Pruebas de raíces unitarias de ruptura estructural

Tabla 17 Prueba de raíz unitaria de ruptura estructural para EF

Null Hypothesis: LNEF1 has a unit root
Trend Specification: Intercept only
Break Specification: Intercept only
Break Type: Innovational outlier

Break Date: 2003
Break Selection: Minimize Dickey-Fuller t-statistic
Lag Length: 0 (Automatic - based on Akaike information criterion, maxlag=9)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-11.13230	< 0.01
Test critical values:		
1% level	-4.949133	
5% level	-4.443649	
10% level	-4.193627	

Tabla 18 Prueba de raíz unitaria de ruptura estructural para GDP

Null Hypothesis: LNGDP1 has a unit root
Trend Specification: Intercept only
Break Specification: Intercept only
Break Type: Innovational outlier

Break Date: 1993
Break Selection: Minimize Dickey-Fuller t-statistic
Lag Length: 1 (Automatic - based on Akaike information criterion, maxlag=9)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-6.653172	< 0.01
Test critical values:		
1% level	-4.949133	
5% level	-4.443649	
10% level	-4.193627	

Tabla 19 Prueba de raíz unitaria de ruptura estructural para RN

Null Hypothesis: LNRN1 has a unit root
Trend Specification: Intercept only
Break Specification: Intercept only
Break Type: Innovational outlier

Break Date: 1974
Break Selection: Minimize Dickey-Fuller t-statistic
Lag Length: 0 (Automatic - based on Akaike information criterion,
maxlag=9)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-7.022580	< 0.01
Test critical values:		
1% level	-4.949133	
5% level	-4.443649	
10% level	-4.193627	

Referencias

- Ahmed, Z., Wang, Z., 2019. Investigating the impact of human capital on the ecological footprint in India : an empirical analysis. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 26, 26782–26796.
- Ahmed, Z., Wang, Z., Ali, S., 2019a. Investigating the non-linear relationship between urbanization and CO2 emissions : an empirical analysis. *Air Qual. Atmos. Heal.* 12, 945–953. <https://doi.org/10.1007/s11869-019-00711-x>.
- Ahmed, Z., Wang, Z., Mahmood, F., Hafeez, M., Ali, N., 2019b. Does globalization increase the ecological footprint ? Empirical evidence from Malaysia. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 26, 18565–18582.
- Ahmed, Z., Zafar, M.W., Ali, S., Danish, 2020. Linking urbanization, human capital, and the ecological footprint in G7 countries: an empirical analysis. *Sustain. Cities Soc.* 55, 102064
- Al-Mulali, U., & Ozturk, I. (2015). The effect of energy consumption, urbanization, trade openness, industrial output, and the political stability on the environmental degradation in the MENA (Middle East and North African) region. *Energy*, 84, 382-389.
- Alola, A. A., Bekun, F. V., & Sarkodie, S. A. (2019). Dynamic impact of trade policy, economic growth, fertility rate, renewable and non-renewable energy consumption on ecological footprint in Europe. *Science of the Total Environment*, 685, 702-709.
- Alvarez RA, Pacalab SW, Winebrakec JJ, Chameidesd WL, Hamburg SP. Greater focus needed on methane leakage from natural gas infrastructure. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2012;109(17):6435–6440.
- American Geoscience Institute, (2018) Health and Safety in Oil and Gas Extraction Reducing the exposure of oil and gas workers to health and safety hazards https://www.americangeosciences.org/sites/default/files/AGI_PE_HealthSafety_web_final.pdf
- Ansari, M. A., Haider, S., & Khan, N. A. (2020). Environmental Kuznets curve revisited: An analysis using ecological and material footprint. *Ecological Indicators*, 115, 106416.
- Arora, V., & Cai, Y. (2014). U.S. natural gas exports and their global impacts. *Applied Energy*, 120, 95– 103. doi:10.1016/j.apenergy.2014.01.054
- Balsalobre-Lorente, D., Shahbaz, M., Roubaud, D., & Farhani, S. (2018). How economic growth, renewable electricity and natural resources contribute to CO2 emissions?. *Energy Policy*, 113, 356-367.

- Barboza Lizano, O. (2013). Calentamiento Global : “La Máxima Expresión De La Civilización Petrofósil ”Revista Del Cesla, Núm. 16, , Pp. 35-68
- Barca, S. (2011). Energy, property, and the industrial revolution narrative. *Ecological Economics*, 70(7), 1309-1315
- Bardhan, Ronita & Debnath, Ramit & Jana, Arnab. (2019). Evolution of sustainable energy policies in India since 1947: A review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*. 340. 1-16. 10.1002/wene.340.
- Begum, R. A., Sohag, K., Abdullah, S. M. S., & Jaafar, M. (2015). CO2 emissions, energy consumption, economic and population growth in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 594-601
- Bocse, A. M., & Gegenbauer, M. (2017). UK's Dash for Gas: Implications for the Role of Natural Gas in European Power Generation. London: EUCERS, 24.
- Brandt AR, Heath GA, Kort EA, et al. Methane leaks from North American natural gas systems. *Science*. 2014;343(6172):733–735. 27Brown S, Krupnick AJ, Walls MA. Natural gas: a bridge to a low-carbon future? *Resour Future*. 2009. Issue Brief 9–11.
- Busch C, Gimon E. Natural gas versus coal: is natural gas better for the climate? *The Electricity Journal*. 2014;27(7):97–111.
- Carrillo Castillo J (2021) Apagones y GN. La discusión en México. Gatopardo Apagones y GN. La discusión en México - Gatopardo
- Cabalu, H. (2010). Indicators of security of natural gas supply in Asia. *Energy Policy*, 38(1), 218-225.
- Charfeddine, L., Mrabet, Z., 2017. The impact of economic development and socialpolitical factors on ecological footprint : a panel data analysis for 15 MENA countries. *Renew. Sustain. Energy Rev*. 76, 138–154
- Charfeddine, L. (2017). The impact of energy consumption and economic development on ecological footprint and CO2 emissions: evidence from a Markov switching equilibrium correction model. *Energy Economics*, 65, 355-374.
- Cai, W., Wang, C., Chen, J., Wang, K., Zhang, Y., & Lu, X. (2008). Comparison of CO2 emission scenarios and mitigation opportunities in China's five sectors in 2020. *Energy Policy*, 36(3), 1181-1194.
- Caldeira K. Climate benefits of natural gas as a bridge fuel and potential delay of near-zero energy systems. *Energy Pol*. 2016;167:317–322.
- CEA. Growth of Electricity Sector in India from 1947-2017. New Delhi: Ministry of Power, Gol; 2017

- Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., Kumar, S., Wicramarachchi, P.N. (2012), Reduction of methane emission from landfill through microbial activities in cover soil: A brief review. *Journal Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42(4), 412-434.
- Chow, G. C. (1960). Tests of equality between sets of coefficients in two linear regressions. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 591-605.
- Cicala, S. (2015). When does regulation distort costs? lessons from fuel procurement in us electricity generation. *American Economic Review*, 105(1), 411-44.
- CMMAD, 1987. *Nuestro Futuro Común. Comisión Mundial Del Medio Ambiente Y El Desarrollo*. Madrid: Alianza 1987. 460 P
- Cole, M. A., Rayner, A. J., & Bates, J. M. (1997). The environmental Kuznets curve: an empirical analysis. *Environment and development economics*, 401-416.
- Costantini, V., Gracceva, F., Markandya, A., Vicini, G., 2007. Security of energy supply: comparing scenarios from a European perspective. *Energy Policy* 35, 210–226
- Corrella, Joaquin, (2018) *Historia de la electricidad en México*, Centro de Inteligencia de Ahorro de Energía.
<http://ciae.teachable.com/blog/20042/electricidad-en-mexico>
- Danish, Ulucak, R., Khan, S.U., 2019b. Determinants of the ecological footprint: role of renewable energy, natural resources, and urbanization. *Sustain. Cities Soc.*, 101996
- Danish, Wang, Z., 2019. Investigation of the ecological footprints driving factors: what we learn from the experience of emerging economies. *Sustain. Cities Soc.* 49, 101626
- Department for Business, Energy & Industrial Strategy, (2019) *UK ENERGY IN BRIEF 2019*. Open Government Licence
- Destek, M. A., & Sinha, A. (2020). Renewable, non-renewable energy consumption, economic growth, trade openness and ecological footprint: Evidence from organisation for economic Co-operation and development countries. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118537.
- Didier, T., Scholtz, Christa, & Schultz, Richard. (2011). *Timing and Institutions: Determinants of the Ownership Structure in the Oil and Gas Industry in Canada and Norway*, ProQuest Dissertations and Theses.
- Dogan, E., & Inglesi-Lotz, R. (2020). The impact of economic structure to the environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis: evidence from European

- countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(11), 12717-12724.
- Dolader, J. (2003). *Gas security of supply in a liberalised market*. Paris: IEA.56
- Dooyum, U. D., Mikhaylov, A., & Varyash, I. (2020). Energy security concept in Russia and South Korea. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(4), 102.
- Ekholm, T., Krey, V., Pachauri, S., & Riahi, K. (2010). Determinants of household energy consumption in India. *Energy Policy*, 38(10), 5696-5707.
- Esfahani, H. S., & Pesaran, M. H. (2009). The Iranian economy in the twentieth century: A global perspective. *Iranian Studies*, 42(2), 177-211.
- Ervand, Abrahamian(1982) *Iran Between Two Revolutions* by Ervand Abrahamian, (Princeton University Press, 1982), p. 280
- Ferris, A. E., Shadbegian, R. J., & Wolverson, A. (2014). The effect of environmental regulation on power sector employment: Phase I of the title IV SO₂ trading program. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 1(4), 521-553.
- Fernihough, A., & O'Rourke, K. H. (2014). *Coal and the European industrial revolution* (No. w19802). National Bureau of Economic Research.
- Fouquet, R., & Pearson, P. (1998). A Thousand Years of Energy Use in the United Kingdom. *The Energy Journal*, 19(4), 1-41. Retrieved March 27, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/41322802>
- Gabrielsen, R. H., & Grue, J. (Eds.). (2012). *Norwegian Energy policy in context of the global energy situation*. Novus forlag.
- Gardner, N., Manley, B.J.W., Pearson, J.M. (1993), Gas emissions from landfills and their contributions to global warming. *Applied Energy*, 44(2), 166-174.
- González-Salazar, I.G., López-Herrera, M., Monks, S., & Pulido-Flores, G. (2015). "Presencia de metales pesados en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán, Hidalgo, México" . *Estudios en Biodiversidad*. 13.
- Gowdy, J., & McDaniel, C. (1999). The Physical Destruction of Nauru: An Example of Weak Sustainability. *Land Economics*, 75(2), 333-338. doi:10.2307/3147015
- Hassan, S. T., Baloch, M. A., Mahmood, N., & Zhang, J. (2019). Linking economic growth and ecological footprint through human capital and biocapacity. *Sustainable Cities and Society*, 47, 101516.
- Hausfather Z. Bounding the Bclimate viability of natural gas as a bridge fuel to displace coal. *Energy Pol.* 2015;86:286–294

- Hanson D, Schmalzer D, Nichols C, Balash P. The impacts of meeting a tight CO2 performance standard on the electric power sector. *Energy Economics*. 2016;60:476–485.
- Heltberg, R., 2005. Factors determining household fuel choice in Guatemala. *Environment and Development Economics* 10, 337–361.
- Howarth RW. (2014) A bridge to nowhere: methane emissions and the greenhouse gas footprint of natural gas. *Energy Sci Eng.* :47-60.
- Hultman, N., Rebois, D., Scholten, M., & Ramig, C. (2011). The greenhouse impact of unconventional gas for electricity generation. *Environmental Research Letters*, 6(4), 044008. I
- International Energy Agency, (2019) Gas Market Liberalisation Reform Key insights from international experiences and the implications for ChinaFuel report
- International Energy Agency, (2017) Norway review
- International Energy Agency, (2018) Energy efficiency 2018 Mexico report
International Energy Agency, (2021),
- India Energy Outlook 2021 World Energy Outlook Special Report Flagship report — February 2021
- International Gas Union. IGU World LNG Report; International Gas Union: Barcelona, Spain, 2017.
- IPPC. Grupo Intergubernamental De Expertos Sobre El Cambio Climático; Wmo; Pnuma. Segunda Evaluación: Cambio Climático 1995 : Informe Del Grupo Intergubernamental De Expertos Sobre El Cambio Climático. -- Ippc; Wmo; Pnuma. -- 71 P
- IPCC. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014.
- Instituto Para La Diversificación Y Ahorro De Energía (Idae). (1999). Impactos Ambientales De La Producción Eléctrica: Análisis De Ciclo De Vida De Ocho Tecnologías De Generación Eléctrica. Madrid
- IUSS. (2007). Grupo de Trabajo WRB. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO.
- James, A. (2015). The resource curse: A statistical mirage?. *Journal of Development Economics*, 114, 55-63.

- Jiang, L.W., O'Neill, B.C., 2004. The energy transition in rural China. *International Journal of Global Energy* 21, 2–2657
- Joshua, U., Bekun, F. V., & Sarkodie, S. A. (2020). New insight into the causal linkage between economic expansion, FDI, coal consumption, pollutant emissions and urbanization in South Africa. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-12.
- Jorgenson, A.K., Clark, B., 2009. The economy, military, and ecologically unequal exchange relationships in comparative perspective: a panel study of the ecological footprints of nations, 1975–2000. *Society* 56. <https://doi.org/10.1525/sp.2009.56.4.621.622>, 1975–2000.
- Kahrl, F., Hu, J., Kwok, G., & Williams, J. H. (2013). Strategies for expanding natural gas-fired electricity generation in China: Economics and policy. *Energy Strategy Reviews*, 2(2), 182– 189. doi:10.1016/j.esr.2013.04.006
- Kaufmann, R.K., 2004. The mechanisms of autonomous energy efficiency increases: a cointegration analysis of the US energy/GDP ratio. *The Energy Journal* 25, 63–86. Kim, T.Y.; Lee, J.D. Cost analysis of gas distribution industry with spatial variables. *J. Energy Dev.* 1995, 20, 247–267.
- Khan, I., Hou, F., & Le, H. P. (2021). The impact of natural resources, energy consumption, and population growth on environmental quality: Fresh evidence from the United States of America. *Science of the Total Environment*, 754, 142222.
- Kinzer, Stephen (2003). *All the Shah's Men: An American Coup and the Roots of Middle East Terror*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. ISBN 978-0-471-26517-7.
- Kjellstrom, T., Kovats, R. S., Lloyd, S. J., Holt, T., & Tol, R. S. (2009). The direct impact of climate change on regional labor productivity. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 64(4), 217-227.
- Kilian, L. (2009). Not all oil price shocks are alike: Disentangling demand and supply shocks in the crude oil market. *American Economic Review*, 99(3), 1053-69.
- Kobori, H., & Primack, R. B. (2003). Participatory conservation approaches for satoyama, the traditional forest and agricultural landscape of Japan. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 32(4), 307-311.
- Kowsari, R., Zerriffi, H., 2011. Three dimensional energy profile: A conceptual framework for assessing household energy use. *Energy Policy* 39, 7505–7517

- Lan, J., Kakinaka, M., Huang, X., 2012. Foreign direct investment, human capital and environmental pollution in China. *Environ. Resour. Econ.* 51, 255–275
- Lee, S.-J., & Yoo, S.-H. (2016). Energy consumption, CO₂emission, and economic growth: Evidence from Mexico. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 11(8), 711–717.
- Lenox C, Ozge Kaplan P. Role of natural gas in meeting an electric sector emissions reduction strategy and effects on greenhouse gas emissions. *Energy Econ.* 2016;60:460–468.
- Liu, W., Spaargaren, G., Heerink, N., Mol, A. P. J., & Wang, C. (2013). Energy consumption practices of rural households in north China: Basic characteristics and potential for low carbon development. *Energy Policy*, 55, 128–138. doi:10.1016/j.enpol.2012.11.031
- Lynch, Michael. (2019). *El Futuro del petróleo en México*. Energy Policy Research Foundation, Inc.
- Maury Cabrera, E. D.; Brossard González, C. (2005). IMPACTO AMBIENTAL DE SUSTANCIAS AGOTADORAS DE OZONO. *Tecnología Química*, vol. XXV, núm. 2, mayo-agosto, pp. 21-25
- Mahmood, N., Wang, Z., & Hassan, S. T. (2019). Renewable energy, economic growth, human capital, and CO₂ emission: an empirical analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(20), 20619-20630.
- MEMAC (2019) *Sistema Eléctrico Nacional a través del tiempo*. Sistema Eléctrico Nacional a través del tiempo - México Energía que Mueve A.C. (memacmx.com)
- Miguel Perea, Giulia (2015), *Gas Advocacy Logbook of IGU's task force* <http://members.igu.org/old/IGU%20Events/wgc/wgc-2015/committee-reports-with-thematic-sessions/tf2-paper.pdf>
- Meadows, D. H., Meadows, D. H., Randers, J., & Behrens III, W. W. (1972). *The limits to growth: a report to the club of Rome* (1972). Google Scholar, 91. New York State Department of Environmental Conservation Division of Mineral Resources (NY State), (2009) *Supplemental Generic Environmental Impact Statement On The Oil, Gas and Solution Mining Regulatory Program*
- Mrabet, Z., & Alsamara, M. (2017). Testing the Kuznets Curve hypothesis for Qatar: A comparison between carbon dioxide and ecological footprint. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 1366-1375.

- Norton Rose Fulbrogh, (2021) The impact of Brexit on the energy sector, United Kingdom.
<https://www.nortonrosefulbright.com/en/knowledge/publications/de27d8b1/the-impact-of-brexit-on-the-energysector#section14>
- O & G, (2010). Norway: A Local Content Success Story
<https://www.oilandgasiq.com/strategy-management-and-information/articles/norway-a-local-content-success-story>
- Ockwell, D. G. (2008). Energy and economic growth: Grounding our understanding in physical reality. *Energy Policy*, 36(12), 4600–4604.
 doi:10.1016/j.enpol.2008.09.005
- OLADE, (2013) ROL DEL GN EN EL DESARROLLO ECONÓMICO Y SOCIAL DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE <http://www.olade.org/wp-content/uploads/2015/08/Rol-gas-natural-desarrollo-ec-soc.pdf>
- Okpe, F. O. (2015). Economic Development and the Utility of Local Content Legislation in the Oil and Gas Industry: Conflicts and Effects of Nigeria's Local Content Act in the Context of International Investment Law. *Pacific McGeorge Global Business & Development Law Journal*, 28(2), 255–302.
- Ovadia, J. (2012). The dual nature of local content in Angola's oil and gas industry: Development vs. elite accumulation. *Journal of Contemporary African Studies*, 30(3), 395-41758
- Oxford University Press, (1993), *The East Asian Miracle Economic Growth and Public Policy* Pub hed by Oxfrd UniAnityPrs, fINC. 200 MAdiwrAvemd4 New York N. Y 10016
- Panayotou, T., 1993. Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development. Working Paper WP238, Technology and Employment Programme. International Labour Office, Geneva.
- Paul, K.I., Booth, T.H., Elliott, A., Kirschbaum, M.U.F., Jovanovic, T., Polglase, P.J., (2006). Net carbon dioxide emissions from alternative firewood-production systems in Australia. *Biomass and Bioenergy* 30, 638–647
- Petroquimex, (2018) Presente y Futuro del GN en México *Planete Energies* (2015) Search results about the "Saga of energies" |
- Perevochtchikova, María. (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y política pública*, 22(2), 283-312. Recuperado en 20 de junio de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792013000200001&lng=es&tlng=es.

- Perron, P. (1989). The great crash, the oil price shock, and the unit root hypothesis. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 1361-1401.
- Planète Énergies (planete-energies.com). Rack, V. (2017). Business Model Innovation in the Oil and Gas Supply Industry
- Power Porto, G. (2009). El Calentamiento Global Y Las Emisiones De Carbono Ingeniería Industrial, Universidad De Lima, Lima, Perú Núm. 27, Pp. 101-122
- Refaat A. The imperative need for an integrated energy and climate policy for Africa. *Int J Energy Environ* 2009, 3:29–43.
- Rodríguez-Heredía, D. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *MEDISAN*. 21(12). 1-14 pp. En línea: <http://scielo.sld.cu/pdf/san/v21n12/san122112.pdf>
- Roldán-Wong, N.T. (2017). Bioacumulación Y Biomagnificación De Elementos Potencialmente Tóxicos En El Pulpo Octopus hubbsorum Del Puerto Minero De Santa Rosalía, Golfo De California. Tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos. Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario De Ciencias Marinas. 1-10 pp.
- Rolett, B., & Diamond, J. (2004). Environmental predictors of pre-European deforestation on Pacific islands. *Nature*, 431(7007), 443–446. doi:10.1038/nature02801
- Rühl, C., Appleby, P., Fennema, J., Naumov, A., & Schaffer, M. (2012). Economic development and the demand for energy: A historical perspective on the next 20 years. *Energy Policy*, 50, 109–116. doi:10.1016/j.enpol.2012.07.039
- Reynolds, J. F. & Stafford Smith, D. M. (2002). Workshop Report 88 Desertificación Global: ¿Los seres humanos provocan los desiertos? Dahlem Univ. Press.
- Saleem, N., & Shujah-ur-Rahman, J. Z. (2019). The impact of human capital and biocapacity on environment: environmental quality measure through ecological footprint and greenhouse gases. *J Pollut Eff Cont*, 7, 237.
- Safari, A., Das, N., Langhelle, O., Roy, J., & Assadi, M. (2019). Natural gas: A transition fuel for sustainable energy system transformation?. *Energy Science & Engineering*, 7(4), 1075-1094.
- Safari A, Das N, Jafari S, Langhelle O, Roy J, Assadi M. (2018) Role of gas-fueled solutions in support of future sustainable energy world; Part II: case studies. *Sustain Energy Technol Policies*. 2018;2:35–86

- Sakmar, Susan (2013). "Global gas markets: the role of LNG in the golden age of gas and the globalization of LNG trade." *Houston Journal of International Law*, vol. 35, no. 3, Summer 2013, p. 655+. G
- Semarnat. (2003). Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México
- SEMARNAT. (2003). NOM: Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. . Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes de las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales, Diario Oficial 23 de abril de 2003, Distrito Federal, México.
- Sharif, A., Baris-Tuzemen, O., Uzuner, G., Ozturk, I., & Sinha, A. (2020). Revisiting the role of renewable and non-renewable energy consumption on Turkey's ecological footprint: Evidence from Quantile ARDL approach. *Sustainable Cities and Society*, 57, 102138.
- Shell (2020), GN: MÁS ENERGÍA, MÁS LIMPIA
https://www.shell.com/energy-and-innovation/natural-gas/providing-more-and-cleaner-energy/_jcr_content/par/toptasks.stream/1547802037560/14ae145c9ea0962e725f377d367f41f50536d8b56e80863c533d5cd8aa4122ec/natural-gas-providing-more-and-cleaner-energy-spanish.pdf
- Stern, D. I. (2004). Economic growth and energy. *Encyclopedia of Energy*, 2(00147), 35-51.
- Sovacool BK. *The Routledge Handbook of Energy Security*. Oxford; New York: Routledge; 2011.
- Sovacool BK. Contextualizing avian mortality: a preliminary appraisal of bird and bat fatalities from wind, fossil-fuel, and nuclear electricity. *Energy Policy* 2009, 37:2241–2248.
- Tiewsoh, L. S., Sivek, M., & Jirásek, J. (2017). Traditional energy resources in India (coal, crude oil, natural gas): A review. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 12(2), 110-118.
- Todd, S. W., Hoffman, M. T., Henschel, J. R., Cardoso, A. W., Brooks, M. I. C. H. A. E. L., & Underhill, L. G. (2016). The potential impacts of fracking on biodiversity of the Karoo Basin, South Africa. *Hydraulic fracturing in the Karoo: critical legal and environmental perspectives*, 190-213.
- natural gas): A review. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 12(2), 110– 118. doi:10.1080/15567249.2015.1042172

- Torbat, A. E. (2010). Industrialization and dependency: The case of Iran. *ECO Economic Journal*, 2, 3.
- Tran, T. T., & Smith, A. D. (2019). Stochastic optimization for integration of renewable energy technologies in district energy systems for cost-effective use. *Energies*, 12(3), 533.
- UNAM. (2021). Equipo de la UNAM colocará placa que declara extinto al Glaciar de Ayoloco. *Gaceta UNAM*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Vahtra, P. (2009). Energy security in Europe in the aftermath of 2009 Russia-Ukraine gas crisis. *EU-Russia gas connection: Pipes, politics and problems*, 158.
- Viqueira Landa, J. (2012). *Energía E Impacto Ambiental*. 2ª Edición, México, Universidad Nacional Autónoma De México, Facultad De Ingeniería. 406 Pp
- Von Hippel D, Suzuki T, Williams J, Hayes P. Evaluating the energy security impacts of energy policies. In: Sovacool BK, ed. *The Routledge Handbook of Energy Security*. Oxford; New York: Routledge; 2011.
- Wackernagel, M., Schulz, N. B., Deumling, D., Linares, A. C., Jenkins, M., Kapos, V., ... & Randers, J. (2002). Tracking the ecological overshoot of the human economy. *Proceedings of the national Academy of Sciences*, 99(14), 9266-9271.
- Wackernagel M, Onisto L, Bello P, Linares AC, Falfán ISL, Garcia JM, Guerrero AIS, Guerrero MGS. National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecol Econ* 1999, 29:375–390
- Winzer, C. (2012). Conceptualizing energy security. *Energy Policy*, 46, 36–48. doi:10.1016/j.enpol.2012.02.067
- Wood, S. (2013). Energy security and liberal democracy: ideals, imperatives and balancing acts. In *International Handbook of Energy Security*. Edward Elgar Publishing.
- Meng, Q. (2017). The impacts of fracking on the environment: A total environmental study paradigm. *Science of the Total Environment*, 580, 953-957.
- Woollacott, J. (2020). A bridge too far? The role of natural gas electricity generation in US climate policy. *Energy Policy*, 147, 111867. doi:10.1016/j.enpol.2020.111867
- World Bank. (2010). *The changing wealth of nations: measuring sustainable development in the new millennium*. The World Bank.
- Xu, P., Zeng, Y., Fong, Q., Lone, T., Liu, Y., 2012. Chinese consumers' willingness to pay for green- and eco-labeled seafood. *Food Contr.* 28, 74–82.

- Yahaya, A., Nor, N. M., Habibullah, M. S., Ghani, J. A., & Noor, Z. M. (2016). How relevant is environmental quality to per capita health expenditures? Empirical evidence from panel of developing countries. *SpringerPlus*, 5(1), 1-14.
- Yao L, Chang Y. Energy security in China: a quantitative analysis and policy implications. *Energy Policy* 2014, 67:595–604.
- Yergin, D. (2011). *The prize: The epic quest for oil, money & power*. Simon and Schuster.
- Yu J-J, Yoo S-H, Baek C. Economies of Scale in the South Korean Natural Gas Industry. *Energies*. 2019; 12(8):1557. <https://doi.org/10.3390/en1208155759>
- Zhang X, Myhrvold NP, Hausfather Z, Zafar, M.W., Zaidi, S.A.H., Khan, N.R., Mirza, F.M., Hou, F., Kirmani, S.A.A., 2019. The impact of natural resources, human capital, and foreign direct investment on the ecological footprint: the case of the United States. *Resour. Pol.* 63, 101428