

**INSTITUTO TECNOLÓGICO AUTÓNOMO DE MÉXICO**



**El rol de las instituciones en el uso de energías limpias**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**  
**LICENCIADO EN CIENCIA POLÍTICA**  
**PRESENTA**  
**ALONSO LÓPEZ NIÑO DE RIVERA**

**ASESOR: DR. CARLOS MUÑOZ PIÑA**

**MÉXICO D.F.**

**2017**

"Con fundamento en el artículo 21 y 27 de la Ley Federal del Derecho de Autor y como titular de los derechos moral y patrimonial de la obra titulada **"El rol de las instituciones en el uso de energías limpias"**, otorgo de manera gratuita y permanente al Instituto Tecnológico Autónomo de México y a la Biblioteca Raúl Baillères Jr. autorización para que fijen la obra en cualquier medio, incluido el electrónico y la divulguen entre sus usuarios, profesores, estudiantes o terceras personas, sin que pueda percibir por la divulgación una contraprestación"

**ALONSO LÓPEZ NIÑO DE RIVERA**

---

FECHA

---

FIRMA



## **El rol de las instituciones en el uso de energías limpias**

## Contenido

<b>I.</b>	<b>Introducción</b> .....	<b>6</b>
<b>II.</b>	<b>Cambio climático y energías limpias</b> .....	<b>8</b>
2.1.	Introducción al cambio climático y sus principales problemáticas.....	8
2.2.	Soluciones para combatir el cambio climático .....	14
2.3.	Compromisos de México para combatir el cambio climático: la Ley de Transición Energética.....	19
2.4.	Energías <i>limpias</i> : características y beneficios principales .....	22
2.5.	El mercado de energía .....	25
2.6.	El caso de Estados Unidos: la política de Barack Obama vs. Donald Trump .....	29
2.7.	Hipótesis para explicar el uso de energías “limpias” en un país.....	33
<b>III.</b>	<b>Teoría para explicar el uso de energías <i>limpias</i></b> .....	<b>38</b>
3.1	Componente económico.....	38
3.2	Componente institucional y social .....	48
3.3	Energías renovables vs. Energía nuclear .....	59
<b>IV.</b>	<b>Análisis estadístico y econométrico</b> .....	<b>64</b>
4.1	Modelo econométrico .....	64
4.2	Modelo empírico.....	65
<b>V.</b>	<b>Conclusiones e implicaciones</b> .....	<b>91</b>
<b>Apéndice</b>	.....	<b>99</b>
A.1	Resolución del modelo teórico.....	99
A.2	Pruebas de Hausman, Wald y Wooldridge .....	103
A.3	Modelos de regresión.....	104
<b>Bibliografía</b>	.....	<b>107</b>

## I. Introducción

Uno de los más importantes temas globales, donde se unen el análisis de las ciencias sociales con las ciencias naturales, es el del Cambio Climático. Éste puede definirse como una importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado. El cambio climático se puede deber a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras<sup>1</sup>. El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el gas más importante en materia del fenómeno descrito y se relaciona directamente a procesos de deforestación y emisiones generadas por el uso de combustibles fósiles tales como el petróleo y el gas natural. De acuerdo a datos de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés), el 57% de las emisiones de gases de efecto invernadero se atribuyen a combustibles fósiles. A su vez, al descomponer las emisiones por propósito, se ve que el 26% de las emisiones (la de mayor tamaño) tiene como finalidad la de generación energética<sup>2</sup>.

La acumulación de los gases de efecto invernadero puede tener una serie de consecuencias ambientales graves, siendo el calentamiento global uno de los primeros efectos en hacerse evidente. Con el calentamiento global, vendrían una serie de repercusiones climáticas, por ejemplo, el número de tormentas, inundaciones, nivel de los mares y huracanes se darían con mayor frecuencia e intensidad. Si así fuera, hacia la mitad del siglo habría ya fuertes repercusiones en materia económica, política y social: problemas en la producción, nivel de riqueza, insumos, migración y violencia se podrían presentar, y de ahí nace la preocupación que atañe a las ciencias sociales para estudiar un fenómeno climático.

---

<sup>1</sup> Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), 2015.

<sup>2</sup> Estimaciones a septiembre 2015. EPA.

Se han realizado distintas cumbres internacionales y reuniones científicas para encontrar soluciones a esta problemática ambiental que el mundo entero está enfrentando. La gran mayoría de ellas han concluido pidiendo una intervención directa por parte de los gobiernos, intervención que, por su escala, enfrenta una serie de problemas de acción colectiva e incentivos en el tiempo. Es por esto que el presente trabajo de investigación tiene como objetivo entender los determinantes de la acción observada sobre una de las principales políticas planteadas: la sustitución por fuentes de energía que no generen gases de efecto invernadero. En concreto este estudio busca entender qué tipo de factores e instituciones hacen que los países utilicen más o menos fuentes de energía “limpia” para generar electricidad, donde estas fueran definidas como aquellas que no emiten gases de efecto invernadero, siendo sustitutos factibles a los combustibles fósiles.

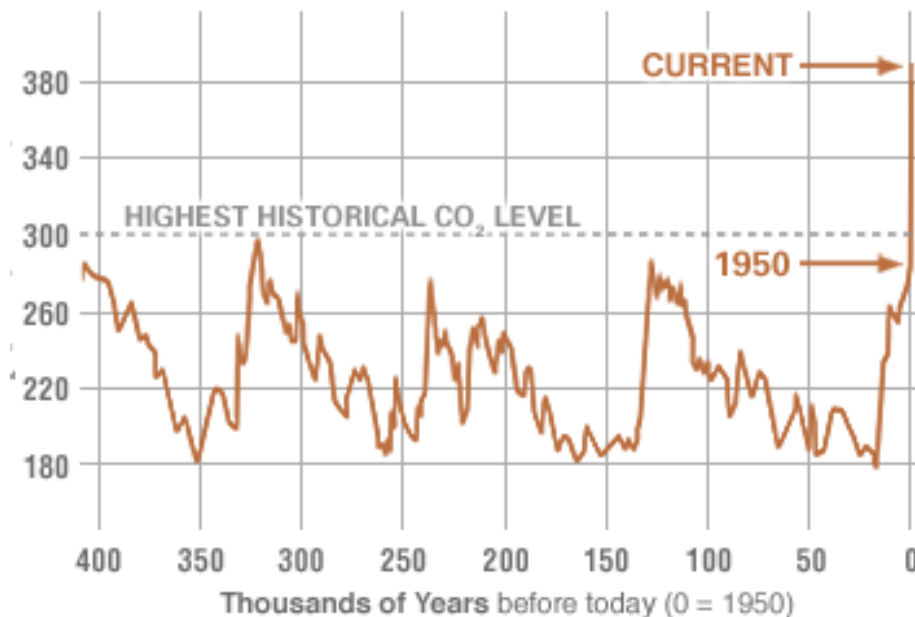
Con una amplia revisión de literatura y el desarrollo de modelos econométricos, el presente trabajo de investigación encuentra una relación entre diversas variables económicas, políticas y sociales, tales como la democracia, derechos de propiedad, recepción de flujos internacionales y educación, con el uso de energías limpias. Dichos hallazgos darán pauta a una serie de políticas públicas que los gobiernos podrán implementar con el fin de combatir el cambio climático.

## II. Cambio climático y energías limpias

### 2.1. Introducción al cambio climático y sus principales problemáticas

El cambio climático es un fenómeno que ha venido experimentando el mundo en los últimos años debido a un aumento en los gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre. Las principales causas, son el aumento en la deforestación de los bosques a nivel mundial y un aumento en las emisiones de los combustibles fósiles, mismos que son utilizados para la producción de energía y otros bienes de consumo. La siguiente gráfica muestra el volumen de emisiones de CO<sub>2</sub> a través de los años.

Gráfica 1.1: Volumen de CO<sub>2</sub> (partes por millón) a través de los años (miles)



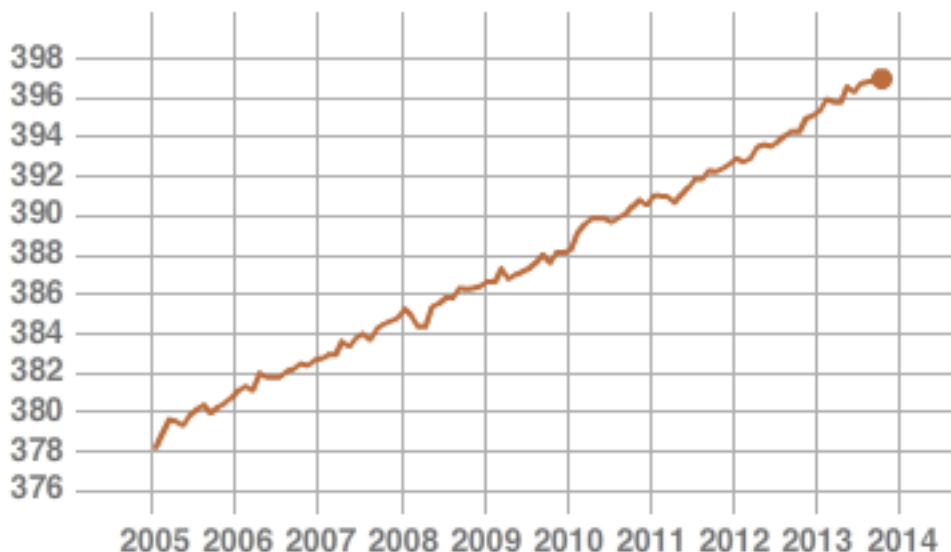
Fuente: National Aeronautics and Space Administration (NASA)

Como puede observarse en el gráfico anterior, a partir del año 1950 el número de emisiones de CO<sub>2</sub> rebasó el límite histórico de hace más de 400,000 años. Esto supone una gran problemática y



más cuando en los últimos años las emisiones siguen en aumento, tal como lo muestra la gráfica 1.2 en donde se ve el volumen de emisiones de CO<sub>2</sub> para los últimos diez años.

*Gráfica 1.2: Volumen de CO<sub>2</sub>(partes por millón) de 2005 a la fecha*

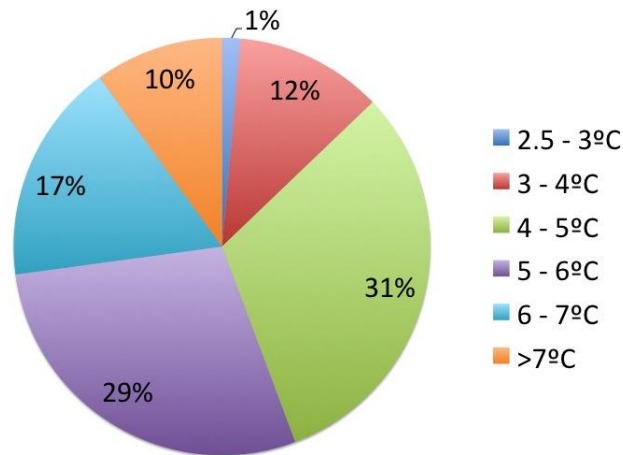


*Fuente: National Aeronautics and Space Administration (NASA)*

Según lo que se detalla en el *Informe Stern: La economía del cambio climático* (2006) de no adoptarse medidas para reducir las emisiones, principales causantes del cambio climático, la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero podría ocasionar un aumento en la temperatura media del planeta de más de 2°C para el año 2035. A su vez, se detalla que, de seguir así, el largo plazo hacia principios del próximo siglo podría caracterizarse, con más del 50% de probabilidad, por un aumento de más de 5°C en la temperatura media global. En términos económicos el cambio climático puede tener un efecto significativo debido a un severo impacto en la producción mundial en sectores como la pesca, la agricultura y la ganadería, por mencionar un ejemplo, pueden verse seriamente afectadas por el cambio climático.

El cambio climático, y todos los elementos que lo componen, tienen una serie de características que hacen que su estudio, y posibles soluciones, se compliquen de manera importante. Para empezar, existe un factor de incertidumbre (aunque en los últimos años este elemento ha ido mejorando) sobre el cambio climático en sí mismo. Aún a pesar de que ha habido muchos esfuerzos para determinar las consecuencias del problema ambiental, tal como el *Informe Stern: La economía del cambio climático (2006)*, los científicos ambientales no han podido determinar con precisión la relación entre emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero que resultarían de ello. A su vez, existe cierto grado de incertidumbre sobre los grados de calentamiento global que esas concentraciones generarán (nuevamente, en los últimos años se ha ido brindando una mayor precisión a estos efectos). Es decir, todos los modelos que predicen este tipo de factores tienen un factor de incertidumbre, modelable con una realización probabilística, pero aun con ignorancia sobre sus parámetros. Un ejemplo de ello es el trabajo que un panel de científicos del Instituto Tecnológico de Massachusetts (Sokolov, et al. 2009) hicieron acerca de los diferentes escenarios que existen en materia de calentamiento global en caso de que ninguna política para combatirlo se implemente. La gráfica 1.3 muestra la probabilidad aproximada del aumento de temperatura para el año 2100, descompuesta por rangos de incremento, que (Sokolov, et al. 2009) pronostican.

Gráfica 1.3:  
Calentamiento global previsto para el año 2100  
(Probabilidad aproximada)



FUENTE: Sokolov et al. 2009

Otro de los grandes problemas que están inmersos en la problemática bajo análisis es que lo que está en cuestión es algo que sucederá en un horizonte futuro de muy largo plazo. Es decir, no estamos hablando de un problema actual, como lo serían la pobreza y las hambrunas, aun cuando algunos efectos climáticos comenzarían a verse de manera más rápida. Es algo que ocurriría principalmente en la segunda mitad de este siglo y sólo hasta entonces serán los costos verdaderamente altos. Por lo tanto, la elección de la tasa de descuento hace que los incentivos, y la manera en la que evaluamos las decisiones, sean más complicadas que para otros problemas de corto plazo (Weitzman 2012).

Entrando a detalle, existen dos complicaciones importantes que se relacionan con el descuento en el tiempo, una de economía y la otra de economía política. La primera es la forma en la que se trata el análisis ambiental ya que involucra la inclusión de una *tasa de descuento* para valorar los costos y beneficios futuros. Esto supone un problema debido a la estructura misma de la tasa, ya que existen distintas formas de determinar cuál es la correcta, lo cual genera una variación

importante en la toma de decisión ambiental. La segunda es un tema de incentivos políticos; dado que lo que está en juego es una problemática que impactará en un horizonte futuro, los políticos tendrán pocos incentivos a combatirla debido a que las ganancias concretas de ello podrían nunca verse aprovechadas por ellos directamente, quizá sólo por sus partidos, o de tan largo plazo que ni ellos.

El cambio climático es un asunto tanto local como global, así que los verdaderos beneficios del combate al mismo sólo se lograrán cuando los países logren una coordinación para abordar el tema de manera conjunta. Ante eso podemos ver que el combate al cambio climático supone un problema de *acción colectiva* en donde no existe un ente regulador que corrija las fallas en el funcionamiento de los mercados. En éste sentido, uno de los principales problemas que podemos pensar es que viendo la problemática desde una óptica unilateral, los países no contarán con suficientes incentivos debido a su baja contribución ambiental - a excepción de que las consecuencias locales empujen a tomar acciones al respecto - y por ende tendrán incentivos a actuar como un *free-rider* en la materia analizada. Es por ello que es necesario entender cuáles son las instituciones políticas y sociales y los mecanismos económicos que generan los incentivos suficientes para que los países actúen de manera unilateral.

Recapitulando, el cambio climático tiene cuatro grandes problemas desde el punto de vista económico y político: 1) es un problema que tendrá consecuencias en un periodo futuro (aunque ya se empiezan a ver en algunas regiones del mundo), 2) tiene una incertidumbre asociada acerca de sus consecuencias, 3) existe un problema de acción colectiva y 4) hay una falta de un ente

internacional que regule y corrija las fallas que se mencionan<sup>3</sup>. Es por lo anterior que muchas políticas y acciones gubernamentales dedicadas a combatir el cambio climático de manera directa se complican en gran medida. Ante ello, hay que establecer un marco teórico y empírico que nos permita entender qué tipo de instituciones políticas y mecanismos económicos pueden fomentar que los países utilicen más energías limpias, mismas que tienen de manera indirecta un interés en disminuir el alza en la temperatura global. Esto nos permitirá entender cuáles pueden ser las políticas públicas que se deben de implementar para fomentar que los países desarrollen y utilicen energías limpias.

Además de combatir el cambio climático, motivación central del presente trabajo de investigación, las energías limpias pueden traer un beneficio adicional a los países: mitigar problemas de seguridad energética. Diversos países a nivel mundial muestran una fuerte dependencia a una fuente para la generación de energía. Por ejemplo, en México el ~80% de la generación eléctrica viene de fuentes de energía fósil<sup>4</sup>. Determinar qué mecanismos promueven el uso de energías limpias puede mitigar los problemas mencionados y brindar alternativas de generación para los países.

Comprender lo que anteriormente se dijo marca un paso de gran importancia hacia el combate al cambio climático, problema principal que se plantea en el presente trabajo de investigación, así como a los problemas de seguridad energética. Lo primero se vuelve más relevante en una situación en donde distintas políticas que se han sugerido no han tenido los efectos deseados y se

---

<sup>3</sup> Aunque ya existen algunos esfuerzos, tales como el Protocolo de Kyoto o la Cumbre Ambiental de París (Dic 2015), no se ha logrado establecer un organismo internacional que logre regular de manera eficiente a todos los países con el fin de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.

<sup>4</sup> *The World Bank, Database of Economics Indicators, 2015*

necesita hacer un cambio importante a nivel mundial para evitar una posible catástrofe ambiental, económica y social.

## **2.2. Soluciones para combatir el cambio climático**

Ésta sección tiene como intención detallar los tipos de políticas públicas que se han implementado para combatir el problema ambiental que tenemos delante de nosotros. A su vez, se pretende recapitular algunas ideas que existen alrededor del análisis de las soluciones al cambio climático. Lo anterior dará pauta a la pregunta de investigación que se plantea en éste trabajo de investigación.

A grandes rasgos, y como marco de referencia para este trabajo de investigación, los gobiernos han implementado dos políticas<sup>5</sup> para incentivar la disminución de los gases de efecto invernadero. La primera de ellas es un mecanismo enfocado a establecer cuotas, impuestos, o permisos comerciables para las emisiones que realizan las empresas de un país, con el fin de disminuirlas. Dichos mecanismos están enfocados al comportamiento y regulación de los mercados e industrias con mayores emisiones, principalmente en determinar en dónde se tienen dichos instrumentos para que no se rebase el límite de emisiones permitidas.

El mecanismo de cuotas se aplica a aquellos mercados en donde la empresa genera algún tipo de externalidad negativa, que en este caso puede verse como emisiones de CO<sub>2</sub>. El objetivo es fijar el nivel de generación de contaminación máximo tal que lleve al óptimo social<sup>6</sup>. Esto supone que el gobierno conoce la estructura de costos de la empresa y la demanda por el bien que se está produciendo, lo cual en muchas situaciones enfrenta problemas de información que derivan en una cuota sub óptima.

---

<sup>5</sup> Clasificación realizada y propuesta para éste trabajo de investigación

<sup>6</sup> Donde el CMG Social = BMG Social

En materia de los impuestos, la idea es similar a la de las cuotas, con la diferencia de que con este mecanismo el gobierno impone un impuesto de tal forma que se llegue a la producción en donde el costo marginal privado más el impuesto (costo marginal social) sea igual al beneficio. Esta política, a diferencia de las cuotas, implica una recaudación para el gobierno. Las dificultades e ineficiencias nacen de la misma problemática que las cuotas: la información necesaria y decisión política para definir un óptimo, principalmente guiada por el desconocimiento de la curva de beneficios y costos marginales del cambio climático.

Un ejemplo de los mecanismos de cantidad, de cuotas, son los permisos comerciables, uno de los mecanismos más utilizados hoy en día. Éste mercado tiene como característica que se reparte a la empresa, de forma gratuita o mediante una subasta, un permiso para emitir cierto número de emisiones de gases contaminantes. Dichos permisos pueden ser comerciables en el mercado, hecho que, tal como lo menciona Stavins (Stavins 2009), hace que las empresas enfrenten un costo de oportunidad para sus emisiones de carbono independientemente de cómo lo recibió de manera inicial. Eso se debe a que si se queda con un permiso, aunque no tenga costo explícito, si tiene un costo de oportunidad pues podría estar ganando por su venta. Una de las grandes ventajas de éste sistema es que la distribución de los permisos no afecta su eficiencia en materia ambiental, lo cual hace que aún con presiones o intereses políticos el mecanismo del precio que emerge no se vea distorsionado. Lo anterior solo se cumple cuando no hay efectos ingreso, es decir, cuando el precio mínimo de los permisos no discrimina algunas empresas a acceder a este debido a lo costoso que podría representar para ellas.

La segunda gran perspectiva es desarrollar tecnologías que permitan tener métodos para obtener energía de manera “limpia” y evitar que los combustibles fósiles sigan siendo causante del cambio climático. Lo anterior se debe a que podemos ver que el desarrollo de nuevas tecnologías

funciona como un sustituto a las existentes fuentes basadas en combustibles fósiles. Es importante mencionar que, tal como lo mencionan Stavins et al. (2005), estas dos perspectivas, la de corrección de los mercados y la de impulso tecnológico, no deben verse como sustitutos sino como complementos para atacar el tema del cambio climático.

En materia de desarrollo tecnológico existen distintas subcategorías. Se puede hablar de tecnologías que ayudan a hacer más eficientes los procesos de producción y que por ende necesiten una menor cantidad de combustibles fósiles. Por otra parte existen tecnologías para fomentar el transporte limpio, tales como los coches híbridos y los eléctricos, entre muchas otras más.

Uno de los grandes componentes en materia de tecnologías limpias son aquellas que buscan utilizar los recursos naturales (energías renovables) y los procesos químicos y físicos (nuclear) para la generación de energía. Este tipo de tecnología es en el que se centra ésta investigación ya que es una de las opciones para hacer una transformación productiva de combustibles fósiles hacia aquellos que estén libres de emisiones. La sección 2.4 detalla con mayor precisión los beneficios y principales características de las mismas.

En la siguiente tabla se muestran las principales políticas implementadas por ciertos países, tanto de aquellas enfocadas a mecanismos de mercados como la del corte de desarrollo tecnológico. En ella se puede ver que existe una gran variación, lo cual genera aún mayores incentivos para responder la pregunta de investigación que se ha planteado.



Tabla 1.4: Principales políticas de mitigación realizadas

País	Políticas realizadas
<b>Australia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comercio de emisiones que cubre el 60% de las emisiones nacionales</li> <li>• Regulación para generación eléctrica mediante fuentes renovables</li> </ul>
<b>Arabia Saudita</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Subsidios al desarrollo de tecnologías renovables</li> </ul>
<b>Argentina</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fomento a la energía hidroeléctrica</li> <li>• Cuotas a los biocombustibles</li> </ul>
<b>Brasil</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución en la deforestación</li> <li>• Uso de energías hidroeléctricas</li> </ul>
<b>Canadá</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento en la eficiencia del combustible</li> </ul>
<b>China</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fomento al uso de energías renovables</li> </ul>
<b>Corea del Sur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuotas sobre emisiones</li> <li>• Desarrollo de energías renovables</li> </ul>
<b>Estados Unidos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permisos comerciables (California)</li> <li>• Estándares para la eficiencia de combustibles</li> <li>• Metas estatales para desarrollo de energías renovables</li> </ul>
<b>India</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación eléctrica mediante fuentes renovables</li> <li>• Comercio de emisiones</li> </ul>
<b>Indonesia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuotas a los biocombustibles</li> <li>• Desarrollo de energías renovables</li> </ul>
<b>Rusia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de la intensidad en energía</li> <li>• Cuotas sobre las emisiones de gas</li> </ul>
<b>Turquía</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fomento a energías renovables</li> </ul>
<b>Ucrania</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impuestos a la electricidad</li> </ul>
<b>Unión Europea</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comercio de emisiones</li> <li>• Desarrollo de energías renovables</li> </ul>

FUENTE: Greenhouse gas emission reduction proposals and national climate policies of major economies. Netherlands Environmental Assessment Agency. 2012

En términos del mecanismo enfocado a la regulación de los mercados que generan más emisiones, existen diversos análisis y estudios de economía política. Hay modelos para analizar la eficiencia y los impactos de los impuestos, cuotas o permisos comerciables, se han discutido ampliamente en la literatura económica e institucional. En términos de la perspectiva de desarrollo de tecnologías, se ha estudiado desde diversos puntos pero no existe una similarmente amplia literatura que conjugue los efectos económicos, políticos y sociales que determinan que una nación

desarrolle y utilice fuentes de energía limpias. Los principales estudios son a nivel nacional, como el de Vachon y Menz (2006) donde encuentran que hay una serie de variables políticas, económicas y sociales que tienen una influencia en el uso de energías eléctricas. Dichos autores llegan a la conclusión que en materia social, el nivel de educación y la tasa de participación política de grupos ambientalistas fomentan el uso de energías alternativas. En materia política, la posición del congreso en cuanto a materia ambiental es uno de los factores políticos más influyentes para determinar las fuentes de energía de un país. Por último, la existencia de intereses económico a favor de la industria del carbón inhibe el uso de energías limpias.

Matutinóvic (2009), y Bernauer y Kuobi (2009) recomiendan que los temas que involucran a la industria energética no deben de ser abordados de manera unilateral, para entenderlos bien hay que aproximar los problemas con una óptica multidimensional en donde se incluyan variables políticas, económicas e institucionales. La economía se ha enfocado en los efectos de variables como el nivel de ingreso, el comercio y la actividad económica para entender los problemas ambientales. Por otra parte, la ciencia política se ha enfocado en ver como la democracia o las instituciones políticas fomentan o no la calidad del medio ambiente. Ante eso, resulta importante establecer un marco en donde el análisis se haga de manera multidimensional, considerando y entiendo los efectos que ambas ciencias tratan de explicar. El presente trabajo de investigación pretende establecer un marco teórico y empírico que permita entender, desde una óptica económica, política y social los determinantes para el uso y desarrollo de energías limpias en cada país, misma que se toma como pregunta de investigación central.

### 2.3. Compromisos de México para combatir el cambio climático: la Ley de Transición Energética

Muchos países alrededor del mundo han buscado diferentes esfuerzos para combatir el cambio climático, tal como se mostró en el capítulo anterior, y México no ha sido la excepción. Durante el 2013, el Gobierno Federal delineó la Estrategia Nacional de Cambio Climático: Visión 10-20-40 con el fin de enfrentar el cambio climático. Como parte del contenido de ésta estrategia, se delinearon una serie de metas en materia de energía y emisiones las cuáles se ven resumidas en la tabla 1.5

*Tabla 1.5: Principales objetivos de la Estrategia Nacional de Cambio Climático*

Rubro	10 años	20 años	40 años
<b>Energía</b>	Alcanzar el 35% de generación eléctrica proveniente de energías limpias	Tener, el menos el 40% de la generación eléctrica proveniente de energías limpias	Alcanzar el 50% de generación eléctrica de energías limpias
<b>Emisiones</b>	Reducción del 30% con respecto a la línea base	Crecimiento económico desacoplado de la dependencia a combustibles fósiles y sus impacto ambientales	Reducción al 50% de las emisiones con respecto al año 2000
<b>Sector privado / industria</b>	Incorporar a las empresas criterios de cambio climático en sus proyectos productivos	Manejo integral de residuos por parte de las empresas	Empresas con ciclos sustentables de producción

Para cumplir con las ambiciosas metas establecidas en la Estrategia Nacional de Cambio Climático, sobre todo en materia de energía y de emisiones, en diciembre de 2015 se publicó la Ley de Transición Energética cuyo principal objetivo es el de “regular el aprovechamiento de la energía así como las obligaciones en materia de Energías Limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la Industria eléctrica, manteniendo la competitividad de los sectores productivos.” En dicha Ley se establecen las metas, políticas y organismos para cumplir no sólo con el objetivo

de producir 35% de la energía eléctrica para el año 2024, sino también con los objetivos de participación mínima de energías limpias de 25% para el 2018 y 30% para el 2021.

Analizando las metas que se establecen en la Ley, se pueden englobar en dos categorías, mismas que están muy relacionadas a los diferentes tipos de soluciones que se plantearon en capítulos anteriores. La primera se relaciona a promover la eficiencia y mejora en la capacidad eléctrica ya instalada. Esto se puede ver con la creación de programas como el de Redes Eléctricas Inteligentes que busca la modernización de la Red Nacional de Transmisión y de las Redes Generales de Distribución a través de la ampliación de las zonas de creación de energías renovables. Asimismo, la Ley propone la creación de Certificados de Energías Limpias (CELs). Estos son certificados que acreditan el cumplimiento de las metas establecidas por el regulador en materia de generación y distribución de energías a través de fuentes limpias. Dichos certificados son comerciables y pueden ser adquiridos por aquellos generadores o distribuidores de energía que no cumplan con las metas con el fin de evitar multas (fijadas al precio máximo de mercado de los CELs). Este mecanismo es uno de permisos comerciables, tal como el analizado en capítulos anteriores, en donde la ventaja del mecanismo es que el mercado rige el costo de dichos permisos, promoviendo su eficiencia económica. A su vez, los CELs generan un incentivo para que los generadores y distribuidores de energía inviertan en incrementar el uso de energías limpias ya que no sólo obtendrán ganancias por sus servicios, sino que también podrían vender sus certificados en el mercado y con ellos generar ganancias extras.

La segunda gran categoría que se puede encontrar en la Ley es la búsqueda de inversión para el desarrollo de nuevas tecnologías relacionadas a las energías limpias. Esto último se ve con mandatos específicos para la Secretaría de Hacienda y Crédito Público en donde se busquen estímulos fiscales y financieros para promover inversiones en nueva tecnología para la generación

de electricidad limpia. A su vez, la propia Ley abre la posibilidad de hacer inversiones con aportaciones privadas, hecho que abre la puerta a distintos proyectos para la promoción de tecnologías y eficiencias energéticas. Por último, otro elemento altamente relacionado a esta categoría es la participación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) en la creación y promoción de investigación relacionada al desarrollo de tecnologías para el cumplimiento de las metas. Se plantea la creación del Centro Mexicano de Innovación en Energías Limpias, mismo que estará formado por un consorcio de distintos Institutos de Educación Superior y será fondeado con recursos públicos y privados.

Para cumplir con las metas estipuladas, la Ley propone la creación de diversos organismos. Entre ellos se encuentra el Instituto Nacional de Electricidad y Energía Limpia, entidad pública descentralizada de la Administración Pública Federal, que tiene como objetivo delinear recomendaciones de políticas públicas, realizar proyectos de investigación, brindar asesoría en materia energética, entre otros. A su vez, se formó el Consejo Consultivo para la Transición Energética que es un órgano de participación ciudadana que se encargará de brindar asesoría a la Secretaría de Energía con el fin de cumplir con las metas establecidas. Por otro lado, se constituyó el Sistema de Información de Transición Energética el cual busca “registrar, organizar, actualizar y difundir la información en materia de aprovechamiento sustentable de la energía”.

La Ley de Transición Energética representa un paso muy importante hacia un mayor uso de energías limpias en el país. La Ley contempla la promoción de eficiencias energéticas a través de mecanismos de mercado (CELS) así como la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías. A su vez, se plantea la creación de organismos autónomos que busquen la promoción de políticas públicas relacionadas al tema, así como su supervisión y cumplimiento. Por último, la Ley da pauta a que diferentes fuentes de financiamiento sean utilizadas en proyectos que promuevan el uso de

energías limpias, incluyendo la posibilidad de que cualquier particular pueda generar y vender su propia electricidad.

El éxito de la Ley dependerá de diversos factores. Entre ellos, se puede ver la correcta implementación y funcionamiento de los CELs. Garantizar los derechos de propiedad de éstos, bajos costos de administración y transparencia en el mercado comerciable son elementos que deben estar presentes para garantizar su éxito. Por otro lado, el diseño de estímulos fiscales y financieros que promuevan la inversión privada en proyectos resulta clave, esto sin abandonar el destinar recursos públicos para disminuir el riesgo y aumentar la certidumbre ante el mercado. Por último, garantizar los derechos de propiedad de privados que generen y distribuyan electricidad será crucial. De ser cumplirse estos factores, entre otros, la Ley puede generar diversos efectos que promuevan el uso de energías limpias y que con ello se cumplan con las metas de generación establecidas.

#### **2.4. Energías *limpias*: características y beneficios principales**

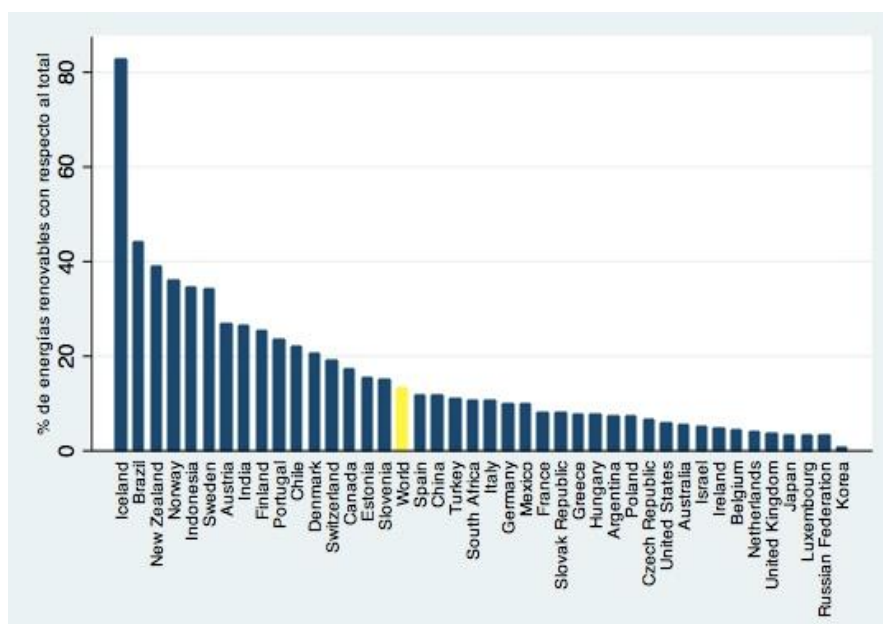
Antes de entrar a las hipótesis que se plantean en el presente trabajo de investigación es importante resaltar la importancia y características de las energías *limpias*. Para la legislación mexicana, las energías limpias son “...todas aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad cuyas emisiones o residuos, cuando los haya, no rebasen los umbrales establecidos en las disposiciones reglamentarias que para tal efecto se expidan. Dentro de ellas se encuentra aquellas generadas por el viento, radiación solar, océanos, calor de los yacimientos geotérmicos, bioenergía, hidrógeno, nucleoelectrica, entre otras.”<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Ley de la Industria Eléctrica. Diario Oficial de la Federación. Lunes 11 de agosto de 2014.

Las energías renovables han crecido de manera importante en los últimos años. Según datos del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) se calcula que la mitad de la nueva capacidad eléctrica instalada alrededor del mundo en 2008 y 2009 provino de energías renovables, principalmente hidroeléctricas. Aún a pesar de lo anterior, el mundo sigue dependiendo de manera sustancial de las energías fósiles ya que hasta el año 2010, el 80% de la generación energía en el mundo provenía de éstas fuentes no renovables (Edenhofer, et al. 2013).

Gráfica 1.7: Uso de energías renovables por país<sup>8</sup>



Fuente: OECD

La gráfica anterior muestra el porcentaje de uso de energías renovables con respecto al total de energías usadas por país. En ella se puede ver lo anteriormente mencionado, los países a nivel mundial todavía usan, en promedio, menos del ~15% de energías renovables con respecto al total.

<sup>8</sup> Datos para el año 2010

Las energías renovables se describen como aquellas que provienen de fuentes naturales de flujos periódicos estables. Entre ellas se encuentra, tal como se mencionó anteriormente, la energía eólica, geotérmica, hidroeléctrica, maremotriz, solar, undimotriz, la biomasa y los biocombustibles. Los beneficios que éstas pueden tener, más allá de proveer una fuente alternativa de energía ante el agotamiento de los combustibles fósiles, son diversas. Para empezar, éste tipo de energías alternativas no emite gases de efecto invernadero, mismos que son causantes del calentamiento global por su característica de permanecer en la atmósfera. Lo anterior resulta muy importante ya que postulan una solución a las emisiones generadas por el los combustibles fósiles.

Hay condiciones en que la promoción de tecnologías a favor de la energía solar y eólica pueden ser una solución para brindar energía eléctrica a áreas remotas de países en vías de desarrollo (Sawin 2004). Además, el desarrollo de éstas nuevas tecnologías puede representar seguridad en materia energética y la mitigación de ciertas externalidades, como afectaciones a la salud y daños ambientales, aparte del calentamiento global, que son generadas por las fuentes de energía fósiles (Odenhofer, et al. 2013).

Existen también temas controversiales en la definición de energías *limpias*. Por ejemplo, la energía nuclear es aquella que se produce por las reacciones en los núcleos de algunos isótopos de ciertos elementos químicos, siendo el uranio el más conocido. Este tipo de energía se puede utilizar para diversos fines, entre ellos la generación de electricidad. Dado las características de este tipo de energía, no se generan emisiones de gases de efecto invernadero y es por ello que se considera, dentro del discurso político y dentro de algunas organizaciones, como energía “limpia” cuando se habla del combate al cambio climático. No todos coinciden en la etiqueta de lo “limpio” pues hay residuos radiactivos de alto peligro que se deben almacenar de manera muy segura por periodos de muchas décadas.



Recapitulando, las energías *limpias* pueden representar una opción viable, debido a que no emiten gases de efecto invernadero, para enfrentar el cambio climático. Permitirían aumentar la oferta de energía eléctrica reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero por cada mega watt generado. A su vez, se argumenta, éste tipo de energías podrían brindar seguridad ambiental y energética, ser una fuente de empleos, y una opción para mejorar el bienestar de poblaciones de zonas marginadas alrededor de todo el mundo. Algunos países ya han comenzado a actuar a lo largo de estas líneas.

## **2.5. El mercado de energía**

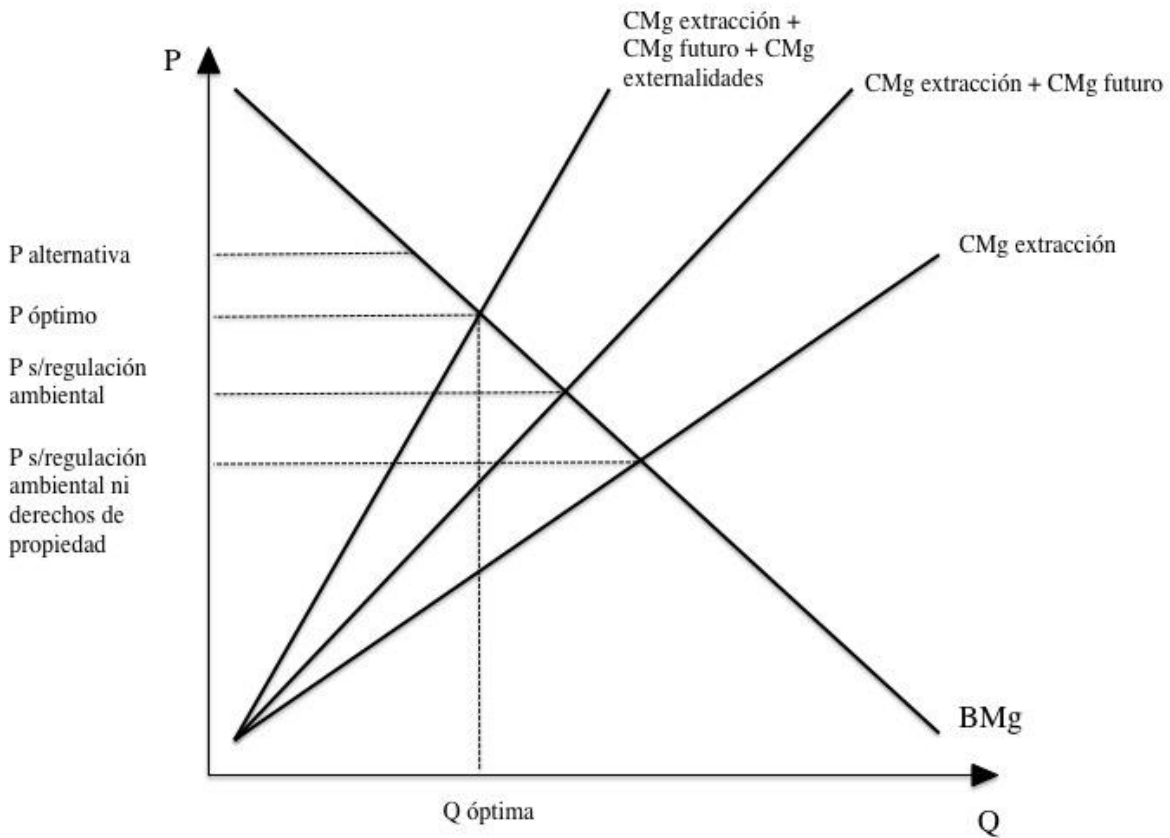
Para Jaffe, Newell y Stavins (2005), el cambio climático puede ser abordado con una combinación de instrumentos de política, tales como impuestos Pigouvianos (impuestos que buscan corregir una externalidad negativa) y permisos comerciables, e instrumentos que impulsen el desarrollo y uso de nuevas tecnologías. El presente trabajo de investigación se enfoca en el desarrollo y adopción de tecnologías, y para explicarlo es necesario detallar el mercado de energías con el fin de tomarlo como punto de partida.

### **Energía para maximizar el bienestar**

La energía es un bien, así que entre más se consuma, mayor es la utilidad total. Sin embargo, como la utilidad marginal que provee la energía es decreciente y los costos marginales de provisión son crecientes, existe un nivel óptimo de energía a producir y consumir. A su vez, el uso de energías tiene una externalidad negativa debido, principalmente, a los efectos ambientales que tiene.

La gráfica 1.8 muestra una situación simplificada de la decisión a tomar para maximizar el bienestar.

Gráfica 1.8: Mercado de energía



Fuente: Elaboración propia

Esta gráfica muestra la dinámica del mercado de energía. Por un lado tenemos que a un mayor precio, una menor cantidad demandada (pendiente negativa), mismo que está ejemplificada por el beneficio marginal. El lado de la oferta está caracterizado por lo siguiente: de manera inicial, las empresas extractoras de combustibles fósiles incurren en un costo marginal creciente. El mercado de las energías fósiles está caracterizado por ser finito ya que el acervo es limitado. Ante ello, las empresas deberían de internalizar los costos futuros a los que la sociedad se enfrentará para tomar una decisión que cumpla con el primer teorema de bienestar. Como las energías fósiles tienen un impacto en el medio ambiente, es decir, causan una externalidad, es necesario internalizar estos

costos por igual. Ante todo lo anterior, podemos ver que el punto óptimo donde se considera el costo de extracción, la externalidad generada y considera el horizonte futuro lo definiríamos como la Q óptima y P óptimo. Se llegaría a precios y cantidades de energía consumida diferentes a los óptimos si no se consideran los costos futuros y las externalidades.

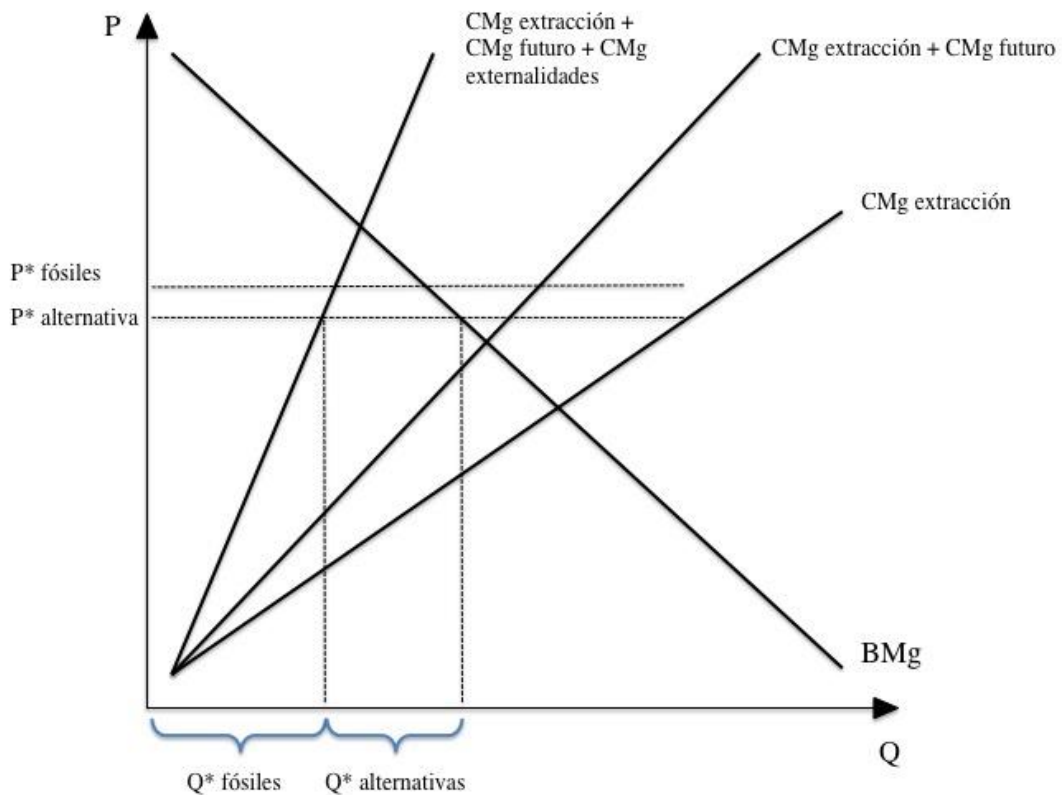
Para lo primero, si no se estuvieran considerando los costos futuros de uso del recurso no-renovable se está en un problema de *derechos de propiedad*. Las empresas presentes, al no internalizar los costos a los que se enfrentarán los productores futuros por contar con menos recursos fósiles, niegan los derechos de las generaciones futuras a usar estos recursos naturales, incluyendo la capacidad de la atmósfera de recibir gases de efecto invernadero. En el mercado actual generalmente se resuelve lo primero (precios futuros), aunque en algunas ocasiones resulta complicado debido a altas tasas de descuento de los costos futuros (más altas que *benchmarks* internacionales).

Por otro lado del análisis, también hay una falla de mercado cuando el precio final no está captando la **externalidad** presente producida por las energías fósiles utilizadas. Lo anterior nos diría que hay un marco institucional con fallas, que no puede reflejar el costo completo de los combustibles fósiles, y esto que hace que no se esté en el nivel óptimo.

Otro factor que puede verse en la gráfica 1.8 es el del precio de una energía alternativa. Tal como está ilustrado, en caso de que el precio de la energía alternativa sea mayor al del mercado de fósiles (óptimo) este mercado no existirá ya que no será económicamente viable consumir éste tipo de energía. Lo anterior nos hace ver que otro determinante muy importante en el mercado de las energías fósiles es el precio de mercado de sus alternativas. Con esto, podemos ver que la única manera en la que sea viable adoptar una tecnología alternativa es cuando su costo marginal

disminuye para que éste sea menor o igual al precio de mercado. Esto se logrará mediante la disminución del costo de la alternativa y la internalización de los costos ambientales vía derechos de propiedad o regulación. Mediante estos dos efectos la distancia entre los dos precios será menor y se podrá lograr que suceda la situación expresada en la gráfica 1.9, es decir, a diferencia de la situación de la gráfica 1.8 el precio de equilibrio de la energía alternativa sería menor y por ende esta resultaría viable en el mercado.

Gráfica 1.9: Mercado de energía con consumo de fósiles y alternativa



Fuente: Elaboración propia

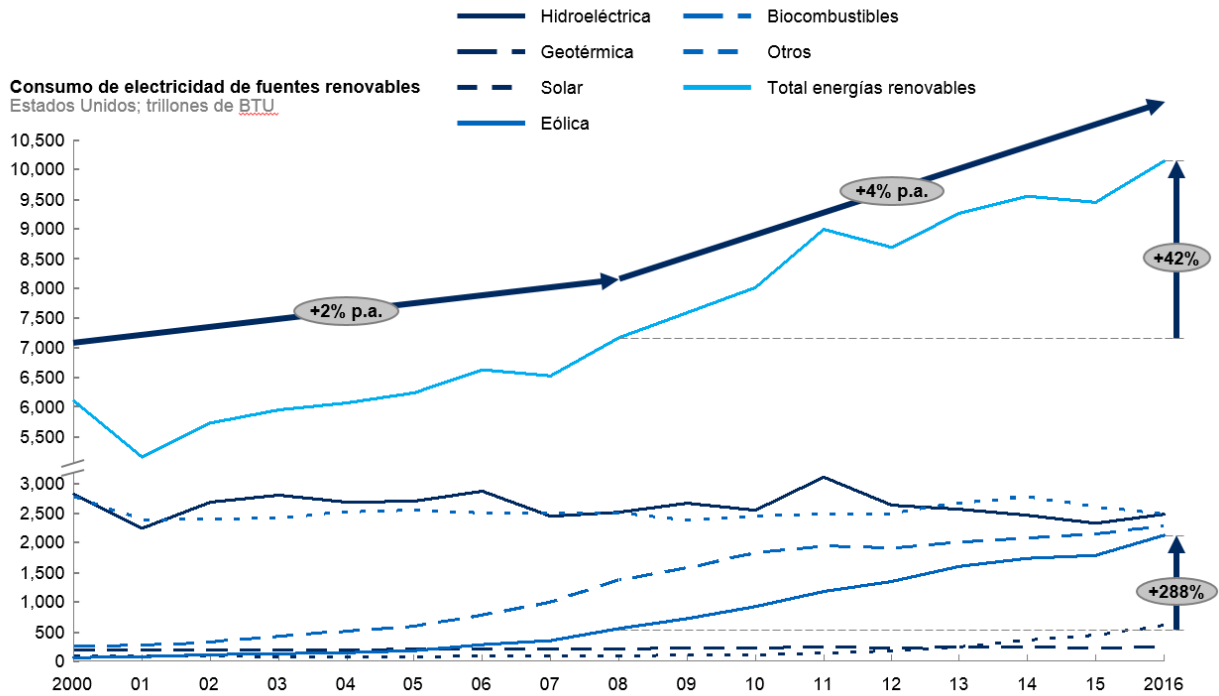
La situación expresada anteriormente da a luz el caso en donde se establecen derechos de propiedad sobre la atmósfera como receptora de contaminantes, se eliminó la falla de mercado y se disminuyó el costo de las energías alternativas. En el caso ilustrado, el país consumiría un porcentaje menor de energías fósiles y un porcentaje mayor de energías alternativas. Lograr que el consumo de energías alternativas sea mayor se dará cuando se corrijan las externalidades causadas aunado a una disminución cada vez mayor del costo de las energías alternativas. Esto, de manera esquemática es lo que hace México al decir que quiere un cierto porcentaje de energías no-fósiles o *limpias*, cuando este número es diferente al que genera el mercado.

## **2.6. El caso de Estados Unidos: la política de Barack Obama vs. Donald Trump**

Una vez entendiendo el comportamiento del mercado de energía, resulta interesante analizar el caso de las políticas implementadas en Estados Unidos para combatir el cambio climático, incluyendo los cambios propuestos por la nueva administración encabezada por Donald Trump.

Durante los últimos casi diez años, el uso de energías renovables ha ido en aumento en Estados Unidos. Como se puede observar en la gráfica 1.10, el consumo eléctrico de fuentes renovables aumentó en un 42% de 2008 a 2016, creciendo a una tasa 100% mayor que la observada en el periodo 2000 – 2008. En la gráfica resalta el incremento sustancial del consumo de energía proveniente de fuentes eólicas. Del 2008 al 2016, el consumo de éste tipo de electricidad creció en un casi 300%.

Gráfica 1.10: Mercado de energía con consumo de fósiles y alternativa



Fuente: Elaboración propia, datos de la U.S. Energy Information Administration (EIA)

Desde que el presidente Barack Obama asumió el cargo mostró una disposición para fomentar mecanismos para combatir el cambio climático. Un ejemplo de ello es que en 2009 decretó que para el año 2020, Estados Unidos tendría una disminución de sus emisiones en 17% (comparado con los niveles del año 2005). Al analizar el gráfico 1.10 se puede ver una clara correlación entre el inicio de la administración de Barack Obama con el aumento en el uso de energías renovables. Si bien es cierto el gobierno entrante a Estados Unidos en el 2008 mostró desde sus inicios una intención de combatir el cambio climático, el aumento en el uso de energías renovables no puede ser atribuido directa y únicamente a esto.

Existen dos factores importantes que contribuyeron a un mayor consumo de energía proveniente de fuentes renovables, mismo que pueden ser explicados utilizando el modelo del capítulo anterior. El primero es un decremento en el precio del gas natural en Estados Unidos. De acuerdo a datos de la *U.S. Energy Information Administration* el precio cayó de 9.18 dólares/miles de metros cúbicos a 3.72 dólares/miles de metros cúbicos en el periodo 2008 a 2016. La caída generó que plantas que utilizaban combustibles fósiles se volvieran poco competitivas, y por ende aumentara el uso de gas natural, o bien, otras fuentes como las renovables.

El segundo efecto que se observó en el periodo es la caída del costo de la instalación de plantas generadoras de energía a través de fuentes renovables. Por ejemplo, según datos del departamento de Energía de Estados Unidos (U.S. Department of Energy August 2016) el costo de una turbina de viento pasó de \$1,500 K/W a ~\$1,000 K/W del periodo 2008 a 2015. Esto, como es explicado por el modelo del mercado de energía, generó que el costo de las energías renovables disminuyera y por ende incrementara el consumo de este tipo de energía.

Aun cuando existieron efectos macroeconómicos que promovieron que en Estados Unidos se adoptara un mayor porcentaje de energías limpias, no elimina la importancia de la promoción de las políticas públicas impulsadas por Barack Obama. Una de las que más resalta es el Plan de Acción Climática (*Climate Action Plan*) promulgado en 2013. Dicha política tenía tres ejes rectores, cortar la contaminación por energías fósiles en Estados Unidos, preparar a Estados Unidos en materia de infraestructura para los impactos del cambio climático, y ser un líder internacional en materia del combate contra la problemática presentada.

El primer eje buscaba implementar estándares de emisión de carbono en plantas de generación eléctrica, inversión pública en proyectos que buscaran eficiencias energéticas, promover el

desarrollo de proyectos de tecnología en materia de energías renovables, medidas de eficiencia en el manejo de basura en hogares y empresas, y eficiencias en el uso de gasolinas para vehículos de alto tonelaje. El segundo se caracterizaba por realizar estudios, proyectos y planes para disminuir el impacto del incremento en fenómenos meteorológicos (p.ej. huracanes) en comunidades del país. Por último, el tercero contenía compromisos conjuntos con países como China e India para combatir el cambio climático; así como la promesa de inversión en otros países para el desarrollo de plantas de generación eléctrica a través de energías limpias.

Junto con el Plan de Acción Climática, Barack Obama promulgó en 2015<sup>9</sup> un Plan de Plantas Generadoras Limpias (*Clean Power Plan*) que buscaba limitar las emisiones de las plantas que utilizaban combustibles fósiles, fijar las metas de reducción de emisiones en un 32% (comparado con los niveles de 2005) para el año 2030 y ofrecer incentivos para el uso de energías renovables. Ambos planes representaban un serio compromiso por parte de Estados Unidos, uno de los países con mayores emisiones a nivel mundial, de combatir el cambio climático.

En marzo de 2017, dos meses después de que Donald Trump asumió la presidencia de Estados Unidos, emitió una orden ejecutiva para eliminar las políticas y decretos emitidos en la administración anterior con respecto al combate al cambio climático. Junto con el decreto, Donald Trump le urgió al Departamento de Energía que permitiera la explotación de carbono en tierras federales, con el argumento de que pondría en marcha un plan para incrementar el trabajo en las minas de carbón. A su vez, les pidió a los trabajadores del gobierno que no consideraran el problema de cambio climático a la hora de tomar decisiones de política pública.

---

<sup>9</sup> La ley se encontraba en revisión en la Suprema Corte



El decreto de Donald Trump va en contra del Acuerdo de París, celebrado en diciembre de 2015, en el cual Estados Unidos se comprometió a disminuir sus emisiones en 26% para el año 2025. A su vez, va en contra de la tendencia de las políticas implementadas en México, así como en otros países alrededor del mundo que buscan combatir el cambio climático. El resultado de la nueva tendencia en Estados Unidos dependerá de diversos factores. En primer lugar, como se vio anteriormente, las condiciones macroeconómicas del precio de gas natural y de la tecnología renovable han generado una fuerte tendencia para la adopción de mecanismos limpios. Por ejemplo, en 2015 el 41% de la nueva capacidad eléctrica instalada en Estados Unidos provenía de energía eólica (U.S. Department of Energy August 2016). Por otro lado, California y algunos otros Estados del oeste han manifestado su deseo de continuar con el combate al cambio climático, aún a pesar de las tendencias marcadas por el Gobierno Federal de Estados Unidos. Por último, habrá que pasar por una serie de procedimientos legales para suprimir todas las leyes generadas por la política implementadas por Barack Obama, elemento que tendrá que estar justificado legalmente. Todo lo anterior será crucial para seguir aumentando el uso de energías renovables, y con ello combatir el cambio climático.

## **2.7. Hipótesis para explicar el uso de energías “limpias” en un país**

La sección anterior da la pauta a la principal hipótesis de trabajo:

- *El nivel de uso de energías no-fósiles en un país se puede explicar por el costo relativo que tienen éstas respecto a las energías fósiles, lo que depende de los recursos naturales con que están dotados inicialmente y las condiciones institucionales y económicas que facilitan o impiden corregir las fallas de mercado, ambientales y de tecnología.*

Esta combinación de variables es de suma importancia ya que de ahí partirán todas las hipótesis, mecanismos causales e implicaciones estudiadas en el presente proyecto de investigación. En términos del precio de las energías alternativas uno de los puntos de partida es que se espera que estos bajarán en cuanto haya más *desarrollo* de éste tipo de tecnologías en el país y a nivel global. Es decir, conforme vaya creciendo la escala de producción, las personas y organizaciones enfrentarán precios más bajos y dicho mercado se irá transformando y ampliando. Ante eso, es necesario entender antes ¿cuáles son los factores que determinan que un mercado de tecnologías se desarrolle?

Existe una amplia literatura que abarca los temas de tecnología y muestran que hay una serie de variables económicas candidatas, como el gasto gubernamental, la inversión extranjera directa, el comercio y la longevidad del gobierno. El capítulo siguiente se detendrá a abordar con mayor detalle éste tema y se desarrollará un modelo teórico de comercio internacional que le de sustento a dicha hipótesis.

En términos de llegar al precio óptimo de las energías fósiles, coexisten dos factores principales: seguridad de los derechos de propiedad e presencia de externalidades ambientales. Dichos factores se abordan dentro de una estructura institucional en donde las características políticas y sociales serán los fundamentales para resolver las fallas mencionadas. Lo que aquí se encuentra es la existencia de un bien público, la capacidad de la atmósfera para recibir gases de efecto invernadero, y la definición de derechos de utilizarlo como si fuera un derecho de propiedad. En ese sentido, éste trabajo busca desarrollar un marco que permita explicar cuáles son las instituciones políticas y qué características sociales fomentan un mayor cuidado del medio ambiente y respeto a los derechos de propiedad; busca cuantificar el efecto de cada una de estas variables.

Antes de entrar al detalle de cuáles son los elementos que conviven dentro de cada uno de los dos factores mencionados es importante entender cuál es la naturaleza del **desarrollo tecnológico**. Las nuevas tecnologías cuentan con una serie de factores que hacen que la inversión en ellas no sea tan directa, o bien, sencilla como en otro tipo de bienes o servicio. De manera inicial, el desarrollo de tecnologías tienen una externalidad positiva que desincentiva la inversión en ésta. Lo anterior se debe a que el investigador desarrolla una serie de conocimientos, para los cuales gastó una serie de recursos, que no puede evitar que lleguen a toda la sociedad. Esto hace que una persona, o firma, invierta menos en la generación de conocimientos a los cuales toda la sociedad tendrá acceso. Otra problemática que se presenta en éste tema es que existe información incompleta acerca de los retornos de la inversión. La tecnología convive con el hecho de que ésta se pueda materializar, es decir, que el mercado la adopte y las personas puedan hacer uso de ella. En caso de que esto no ocurra, la inversión inicial puede tener un carácter de pérdida neta esperada (Stavins, et al. 2005).

Ante estos dos problemas para la innovación y adopción de tecnologías, las posibles soluciones son que el gobierno participe en el proceso de investigación y desarrollo de nuevas tecnologías ya que los privados tienen menos incentivos a hacerlo. A su vez, el fomento a diversas tecnologías potenciales hará que el mercado este caracterizado por una mayor competencia y pluralidad de insumos y productos tecnológicos que fomentarán el mercado mencionado. Por último, pero no menos importante, un factor determinante de la inversión en un entorno de incertidumbre es cuál es la protección que las patentes pueden otorgar a los desarrollos tecnológicos que hagan los individuos y empresas.

Ante todo lo que se ha venido mencionando en los párrafos anteriores surgen más hipótesis que se plantean en el presente trabajo de investigación. Por ejemplo, para explicar el uso de energías alternativas se procederá con un análisis tridimensional derivado del análisis del mercado de los

energéticos, donde, a grandes rasgos se vio que hay dos partes fundamentales: el costo de las tecnologías alternativas y el marco institucional. Los mercados tecnológicos tienen una serie de fallas mismas que pueden ser corregidas con un conjunto de factores:

- El gasto gubernamental en investigación y desarrollo y la protección a las patentes, serán elementos que inhiban las fallas del mercado tecnológico.
- La inversión extranjera directa y el comercio ampliarán el flujo de recursos y conocimiento dentro de un país, reduciendo los costos de incorporar nueva tecnología.

Los cuatro factores mencionados harán que se fomente el desarrollo del mercado y por ende el precio de las energías alternativas en un determinado país tenderá a bajar, abriendo la posibilidad de que éste mercado se convierta viable. Podemos ver que los primeros tres elementos se basan en factores económicos mientras que el último elemento corresponde más a instituciones políticas que fomenten la protección a las patentes. Los mecanismos causales y teoría que está detrás de todo esto se formulará en la siguiente sección del trabajo de investigación.

En términos del componente institucional, tal como ya se dijo, existen dos elementos claves: medio ambiente y derechos de propiedad. Para entenderlo se abordará un análisis político y social para entender cuáles son los diseños que permiten mejorar la calidad del medio ambiente y respetan los derechos de propiedad. En términos del primero, se analizará, basando en la teoría de provisión de bienes públicos y privados de Bruce Bueno de Mesquita, et al. (2003), cuál diseño institucional fomenta una mayor calidad ambiental. A su vez, se agregarán componentes de la composición de la sociedad, tales como edad y nivel educativo, para entender lo que se ha venido mencionando. En términos de los derechos de propiedad se argumentará, tomando como base los elementos de

la elección racional, que la democracia es un sistema que permite respetar éstos de manera más efectiva.

Lo que se planteó anteriormente da una breve introducción a cuáles son los elementos e hipótesis principales que se postularán en el presente trabajo de investigación. El capítulo III detallará de manera precisa cuáles son los mecanismos causales y teóricas que están detrás de ellos con el fin de darles un sustento. Una vez logrado eso se procederá a realizar las pruebas empíricas para brindarles validez.

### **III. Teoría para explicar el uso de energías *limpias***

Para entender qué países utilizan más energías limpias hay que entender dos conceptos claves: factores para el desarrollo de tecnologías alternativas y parámetros institucionales que promuevan el respeto a los derechos de propiedad y calidad del medio ambiente. Ante ello, la primera sección del presente capítulo se enfocará a desarrollar un marco teórico que sustente lo que Eric Wang (2010) estableció de manera empírica como determinantes para la inversión en tecnologías. Dentro de ésta, se elaborará un modelo de una economía abierta y pequeña que incorpore las problemáticas inmersas en el desarrollo de la tecnología y los conceptos que pueden facilitar una mayor producción de esta. La segunda sección incorporará la teoría desarrollada por Bruce Bueno de Mesquita, et al. (2003) y corrientes de elección racional para analizar qué factores institucionales y sociales promueven una mayor calidad del medio ambiente y la protección de los derechos de propiedad en un país.

#### **3.1 Componente económico**

Antes de entrar de lleno a detallar las hipótesis que giran en torno al componente económico es necesario recalcar que alrededor del desarrollo de tecnologías convive lo que Stavins, et al. (2005) mencionan como externalidades positivas y negativas interactuando. Por un lado existe una externalidad positiva en materia de generación de conocimiento debido a que el desarrollador incurre en los costos, pero los beneficios se distribuyen alrededor de toda la sociedad. Otro punto relevante es que existe una incertidumbre asociada a si la tecnología se adoptará en el futuro, lo cual hace que los incentivos para los privados se vean mermados, debido al riesgo en la toma de la decisión de inversión. Es necesario tener lo anterior en cuenta ya que existe una fuerte conexión

entre este factor, la prueba empírica que desarrolla Eric Wang (2010) y el modelo teórico que se propone.

Diversos estudios de generación de capital humano (Griliches, 1980; Mansfield, 1988; Mankew and Romer, 1992; Maloney and Rodriguez-Clare, 2007) se han enfocado en entender el rol que desempeña la inversión en investigación y desarrollo en la economía de un país. Dichas corrientes concluyen que el crecimiento sostenido de una sociedad puede atribuirse, en cierto sentido, a la generación de capital humano ya que eleva la productividad y aumenta el nivel de conocimiento dentro de los individuos. Es por ello que resulta de alta importancia entender cuáles son los factores que determinan que un país tenga mayor inversión en tecnología y desarrollo, no solo por el fuerte vínculo que tiene con la adopción de energías limpias sino por la importancia en materia de desarrollo económico.

Eric Wang (2010) hace un estudio empírico a nivel nacional para entender cuáles son los determinantes para la inversión en tecnología dentro de un país. En el artículo se detallan tres componentes principales para explicar cuáles son los factores determinantes: derechos de propiedad y patentes, inversión extranjera directa en tecnología y el ingreso de un país.

En términos de los derechos de propiedad y patentes Wang (2010) establece que la existencia de estos genera una motivación para la inversión ya que brinda certidumbre a los inventores, lo cual va de la mano a lo que Stavins, et al. (2005) analizaron acerca de la externalidad positiva de la tecnología y la incertidumbre asociada a su materialización. El mecanismo causal en este sentido es el siguiente: Medidas para la protección intelectual reducen la incertidumbre asociada a la apropiación del conocimiento, como a su vez funcionan como un incentivo, ya que le permiten a los creadores apoderarse de las rentas generadas por la tecnología. Para el autor, la meta

fundamental de las patentes es promover la creación de tecnología mediante la provisión de un monopolio sobre la invención al creador. Todo lo anterior marca una pauta para que las empresas o individuos destinen recursos para el desarrollo e investigación. De aquí surge el primer elemento que se establece como hipótesis para entender cuáles son los elementos que promueven un mayor desarrollo de tecnologías de energía alternativa.

En términos del flujo internacional, el autor establece que el mecanismo causal básico es que la inversión extranjera directa genera un flujo de capital y conocimientos que promueve la competencia en el sector donde está presente la innovación y que con ello se logra una mayor productividad y menores costos. Esto resulta un elemento central en la hipótesis que se plantea en éste trabajo de investigación ya que, tal como la gráfica 1.3 muestra, para que una tecnología alternativa pueda ser adaptada su precio tiene que disminuir para que sea viable su existencia en el mercado. Es precio en el sentido más completo, en cuanto a costo de oportunidad del comprador. Ante ello, la relación entre la inversión extranjera directa y el comercio internacional, y el desarrollo de tecnologías, es positiva.

El tercer componente que detalla Eric Wang (2010) es el del ingreso. En este sentido, explica que hay varios elementos que hacen que un mayor ingreso se derive en mayor inversión en tecnología y desarrollo. En primer lugar, cuando existe un crecimiento económico, las empresas pueden utilizar mayores flujos de dinero en proyectos de investigación. A su vez, en otro estudio conducido por Romer (1994), encuentra que entre mayor sea el tamaño del mercado nacional existirán más incentivos a que las empresas inviertan en tecnología y eso derivará en un ciclo de mayor crecimiento económico.



Al hacer pruebas empíricas, Wang encuentra que la inversión extranjera directa es determinante en el desarrollo de tecnologías y funciona como un sustituto parcial a la inversión nacional, quizá como innovación incorporada a la operación misma de la empresa. Por último, el ingreso de un país no resulta determinante en el nivel de innovación tecnológica; países de mayores o menores ingresos pueden estar invirtiendo lo mismo en tecnología si el flujo futuro de pagos a esta funcionan para hacerla rentable.

Aun cuando el trabajo de Wang representa un intento por recopilar lo que diversas teorías mencionan, el autor no desarrolla un modelo teórico que permita entender con precisión los mecanismos económicos que están detrás de lo que plantea. Ante ello, los siguientes párrafos están enfocados en utilizar un modelo de economía abierta con riesgo-incertidumbre para analizar el mercado de las tecnologías.

Tal como se ha venido mencionando, la inversión en tecnología tiene un problema debido a que tiene un factor de incertidumbre acerca de su éxito en el futuro. Para caracterizarlo utilizaré un modelo de economía abierta y pequeña que utiliza la incertidumbre sobre la inversión en capital para producir un bien tecnológico (la solución completa está en el apéndice A.1). En este modelo existe un agente representativo que se enfrenta a un problema de maximización de utilidad esperada el cual queda dado por:

$$\max\{u(C_1) + \beta[\theta u(C_2^m) + (1 - \theta) u(C_2^{nm})]\} \quad (1)$$

$$s. a. C_1 + K_2 + S^* = F(K_1) + D^* \quad (2)$$

$$C_2^m = F(K_2) + (1 + r^*) - (1 + \hat{r})D^* \quad (3)$$

$$C_2^{nm} = (1 + r^*)S^* \quad (4)$$

$$D^* \geq 0 \quad S^* \geq 0 \quad (5)$$

Es decir, el consumidor recibe utilidad por el consumo presente y el consumo futuro (de manera descontada por el parámetro  $\beta$ ). En términos del consumo futuro existen dos escenarios debido al riesgo que el modelo muestra. Ante ello, el consumidor recibe la utilidad  $u(C_2^m)$  con probabilidad  $\theta$  en el caso de que la inversión se materialice y obtiene  $u(C_2^{nm})$  en caso de que la inversión no se materialice. Con esto podemos ver que el parámetro  $\theta$  capta la incertidumbre asociada a la inversión en tecnología que Stavins et al. (2005) mencionan. Se puede analizar a  $\theta$  como una función que depende del respeto a las patentes, derechos de propiedad, la estabilidad del gobierno y el riesgo inherente a la inversión en innovación, factores que brinda certidumbre acerca de que la inversión se va a materializar.

Ahora bien en la ecuación 2 se puede ver lo siguiente. En el periodo uno el consumidor se enfrenta a una restricción presupuestal en donde toma decisión acerca de su nivel de consumo en ese periodo, su nivel de inversión, el cual se materializará en el futuro, y su nivel de ahorro. Su ingreso queda determinado por la producción del presente periodo, la cual depende del acervo del primer periodo, el cual está dado, y del trabajo que en esta ocasión se considera como constante. El segundo factor de su ingreso queda dado por  $D^*$  que muestra un flujo de ingresos del extranjero que ayuda a financiar la inversión en el bien tecnológico que se producirá en el segundo periodo. Este factor puede verse como la inversión extranjera directa que se realiza en un país.

En términos del segundo periodo, como lo muestran las ecuaciones 3 y 4, el consumidor enfrenta dos restricciones dependiendo del escenario. Es decir, cuando la inversión se materializa el individuo enfrenta que su consumo del segundo periodo va a quedar dado por la producción de ese periodo, el ahorro (desahorro) que realizó en el primer periodo multiplicado por una tasa de interés

internacional y el pago de la deuda extranjera multiplicada por una tasa de interés endógena que captura la incertidumbre asociada a la inversión.

Dada la naturaleza del modelo, podemos suponer que el coeficiente que captura inversión extranjera directa será positivo debido a que el capital futuro se financia en el primer periodo. A su vez, si el acervo inicial es suficientemente chico y la utilidad marginal de consumir cero unidades es muy grande, el ahorro será positivo. Lo anterior se muestra en la ecuación 5.

Utilizando el método de Lagrange, podemos ver que las condiciones de primer orden quedan dadas por las siguientes ecuaciones.

$$\lambda_1 = u'(C_1) \quad (6)$$

$$\beta\theta u'(C_2^m) - \lambda_2^m = 0 \quad (7)$$

$$\lambda_2^{nm} = \beta(1 - \theta)u'(C_2^{nm}) \quad (8)$$

$$\lambda_1 = (\lambda_2^m + \lambda_2^{nm})(1 + r^*) \quad (9)$$

Utilizando las cuatro ecuaciones derivadas de las condiciones de primer orden (ecuaciones 6 a 9) podemos obtener las siguientes condiciones de eficiencia.

$$\frac{u'(C_1)}{\beta[\theta u'(C_2^m) + (1-\theta)u'(C_2^{nm})]} = (1 + r^*) \quad \text{Ecuación de Euler} \quad (10)$$

$$\frac{u'(C_1)}{\beta\theta u'(C_2^m)} = f'(K_2) \quad (11)$$

$$\frac{u'(C_1)}{\beta\theta u'(C_2^m)} = (1 + \hat{r}) \quad (12)$$

Utilizando las últimas dos condiciones de eficiencia (ecuaciones 11 y 12) podemos obtener la condición de arbitraje la cual queda dada por la siguiente ecuación.

$$f'(K_2) = 1 + \hat{r}$$

Lo cual nos dice que el nivel de capital óptimo que se va a utilizar para la producción depende de la tasa de interés endógena a la cual se presta el dinero proveniente del extranjero. Cabe destacar que detrás de la función de producción se encuentra un parámetro A que captura factores que elevan la productividad tales como la educación de un país. La condición de arbitraje nos hace ver que lo más relevante para entender la producción del bien tecnológico es la misma estructura de la función de producción y la tasa de interés a la cual se presta el dinero proveniente del extranjero. Ante ello, es necesario entender que la tasa de interés endógena está dada por la siguiente ecuación.

$$(1 + r^*)D^* = [\theta(1 + \hat{r})]D^* + [(1 - \theta)0] \quad (13)$$

Es decir, el pago de la deuda a la tasa de interés internacional debe de ser igual al valor esperado del pago de la deuda con la tasa de interés endógena. Lo que la ecuación anterior muestra es que debido a que hay una probabilidad asociada a que la inversión no se materialice, y por ende el consumidor representativo no pueda pagar esa deuda, la tasa de interés endógena depende de la probabilidad del escenario de default. Utilizando la última ecuación (ecuación 13) podemos ver que la tasa de interés endógena queda dada por lo siguiente.

$$\hat{r} = r^* + \left(\frac{1-\theta}{\theta}\right)(1 + r^*) \quad (14)$$

Es decir, la tasa de interés endógena depende de la tasa de interés internacional más una prima de riesgo que está determinada por la probabilidad de default. Debido a que  $\theta$  es un parámetro que va

de 0 a 1, podemos ver que la prima de riesgo es positiva y decreciente conforme a  $\theta$  (mayor certidumbre de que se materializará la inversión), lo cual se puede ver con la siguiente ecuación.

$$\frac{\partial \hat{r}}{\partial \theta} = -\frac{(1+r^*)}{\theta^2} < 0 \quad (15)$$

Retomando la condición de arbitraje, la cual nos decía que el capital que se usará para la producción del bien tecnológico depende de la tasa de interés endógena, podemos ver que dado que esta depende de la probabilidad de que no se materialice la inversión, la producción del segundo periodo también dependerá de ello. Si suponemos, por simplicidad, una función de producción tipo Cobb-Douglas, la condición de arbitraje quedaría dada por la siguiente ecuación.

$$F(K, \bar{L}) = AK^\alpha L^{1-\alpha} \quad (16)$$

Suponemos

$$\bar{L} = 1 \quad 0 < \alpha < 1 \quad (17)$$

Por lo tanto

$$K^* = \left(\frac{\alpha A}{1+\hat{r}}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \quad (18)$$

Dado que

$$\hat{r} = f(\theta) \quad (19)$$

Podemos establecer que

$$K^* = \left(\frac{\alpha A}{1+f(\theta)}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \quad (20)$$

Y como habíamos visto que

$$\frac{\partial \hat{r}}{\partial \theta} = -\frac{(1+r^*)}{\theta^2} < 0 \quad (21)$$

Podemos concluir que

$$\frac{\partial K^*}{\partial \theta} > 0 \quad (22)$$

De la última ecuación se deriva una de las conclusiones más importantes del modelo y que van de la mano con lo que Wang (2010) postula, que es que la producción de un bien tecnológico depende del número de patentes y estabilidad del gobierno debido a que brinda incentivos y certidumbre de que lo que produzcan será respetado y canalizado de manera correcta.

Tal como lo muestra el modelo, el flujo de ingresos provenientes del extranjero generan que la economía pueda tener un mayor número de recursos para fomentar la producción lo cual elevará el número de competidores y disminuirá los costos, permitiendo que la adopción de dicha tecnología se vuelva viable. Lo anterior va de la mano con lo que Eric Wang encuentra en su estudio econométrico.

Un elemento que se menciona de manera constante en las recomendaciones para eliminar las distorsiones en la inversión en investigación y desarrollo de tecnologías es la participación conjunta de gobierno y privados (Stavins, et al. 2005). Esto se debe a que el gobierno ofrece una garantía debido a que los costos incurridos pueden ser repartidos entre toda la sociedad y no solo en un individuo. Es importante recalcar que la inversión en tecnología supone que la persona que la desarrolla no puede impedir que los resultados sean utilizados por otros individuos, es decir, es un bien no exclusivo. Esto genera que se desincentive su desarrollo debido a los altos costos

involucrados, elemento que puede ser solucionado con la participación del gobierno al mitigar dichos costos. A su vez, existe un factor de que el gobierno brinda certidumbre acerca de que los préstamos a los que puede incurrir el proyecto pueden estar garantizados por las reservas e ingresos que tiene el gobierno, mismos que no tiene un particular. Ante ello, el modelo que se plantea capta dicho efecto mediante el uso de las reservas del gobierno como un colateral en caso de que la inversión no se materialice. Las siguientes ecuaciones detallan lo que se sugiere.

$$(1 + r^*)D^* = \theta(1 + \hat{r})D^* + (1 - \theta)\alpha(1 + r^*)S^* \quad (23)$$

Es decir, la participación del gobierno hace que se pueda utilizar una porción  $\alpha$  del ahorro como colateral en caso de que la inversión no se materialice. Dicha participación tendrá un efecto sobre la tasa de interés endógena a la cual fluyen los recursos del extranjero la cual queda dada por la siguiente ecuación.

$$\hat{r} = r^* + \frac{(1-\theta)}{\theta}(1 + r^*)(1 - \alpha \frac{S^*}{D^*}) \quad (24)$$

Lo anterior muestra que la tasa de interés a la cual fluirán los recursos depende de manera positiva del flujo de ingresos extranjeros y de manera negativa de la probabilidad de que la inversión no se materialice. A su vez, usando la ecuación para la tasa de interés endógena en ausencia de la participación del gobierno podemos ver que la inclusión del organismo genera que la tasa de interés a la cual fluyen los ingresos del extranjero sea menor a la del caso en la cual no participa el gobierno. Esto hará que la inversión para la producción del bien tecnológico sea mayor.

Con todo lo que antes se mostró podemos establecer las hipótesis que giran en torno a la producción de un bien tecnológico. Un mayor flujo de ingresos del extranjero, mayor estabilidad del gobierno, protección de patentes y participación del gobierno en financiar la innovación, eleva

la producción de los “bienes tecnológicos”, lo cual derivará en una mayor oferta de estos y - caeteris paribus - menores precios de mercado. Dichos efectos aumentarán la probabilidad de que tecnologías de energía alternativas entren al mercado debido a que su precio ha disminuido y para algunos usuarios se vuelven una opción viable.

### **3.2 Componente institucional y social**

La segunda gran parte que compone al mercado de las energías y resulta fundamental para entender la viabilidad de una energía alternativa, es el marco institucional de cada país. Dentro de este componente existen dos elementos: la provisión de un bien público: calidad del medio ambiente, y el respeto a los derechos de propiedad. Los siguientes párrafos abordan las hipótesis y teorías que giran en torno a estos dos elementos, siendo el medio ambiente el primero por abordarse.

Existe una amplia literatura que busca entender cuáles son los arreglos institucionales que promueven una mayor calidad del medio ambiente (Farzin y Bond, 2006; Bernauer y Koubi, 2008; Fredriksson y Svensson, 2002; Fredriksson, Volleberg y Dijgraaf, 2003; Fredriksson, Neumayer, Damania y Gates, 2004; Fredriksson, Matschke y Minier, 2009; Fredriksson y Millimet, 2004; Aidt, 1998, Besley y Coate, 2003). A grandes rasgos estos trabajos de investigación buscan entender las consecuencias de dos factores principales: reglas electorales y tipo de sistema político. En los componentes mencionados hay dos teorías principales: la *teoría del selectorado* y las corrientes de *cohesión legislativa*. Los siguientes párrafos se dedicarán a abordar estas teorías y su aplicación con mayor grado de detalle.

Tal como lo mencionan Thomas Bernauer y Vally Koubi (2008) existen dos corrientes principales para explicar qué instituciones políticas generan una mayor calidad del medio ambiente. La primera de ellas se basa en el trabajo de Persson, et al. (2000) en donde dice que la provisión de



un bien público gira entorno a la cohesión legislativa. Es decir, cuando los miembros de la coalición mayoritaria tienen una mayor disciplina legislativa, tenderán a elaborar políticas públicas enfocadas a la mayoría del electorado, y por lo tanto, tenderán a proveer más bienes públicos. Ante ello, establece que los regímenes parlamentarios tienen mayor cohesión legislativa que los presidenciales. Lo anterior se debe a que en los últimos hay una gran pugna entre diferentes grupos minoritarios, lo cual hace que la agenda legislativa tienda a ser más ineficiente y ello derive en un gasto menor destinado a bienes públicos.

La segunda gran teoría en términos de la provisión de bienes públicos es la que elaboran Bruce Bueno de Mesquita, et al. (2003). En ella, los autores buscan entender qué tipo de arreglo institucional es el que deriva en una mayor provisión de bienes públicos. Para ellos, lo central es entender dos componentes propios de cualquier sistema político: el selectorado y la coalición ganadora. El selectorado lo definen como el conjunto de personas en el sistema político que pueden tomar parte en la decisión de elegir al líder. Por otra parte, la coalición ganadora queda dada por la cantidad de selectores cuyo apoyo es clave para que el líder siga en su puesto.

Ahora bien, dentro de toda la teoría hay un elemento clave: ¿cómo le hacen los líderes para mantener el poder? Para responder esa pregunta los autores dicen que lo principal es entender la provisión de bienes públicos y privados. Es decir, los gobernantes tienen la elección de proveer mayor número de bienes privados o públicos cuando están en su cargo. La decisión va a estar dada por los incentivos que tienen, mismos que están marcados por el tamaño de la coalición ganadora. Cuando ésta es muy pequeña, los líderes tendrán los suficientes incentivos y recursos para proveer bienes privados ya que es posible otorgarle a todos los que están dentro de dicha coalición. Conforme este elemento va creciendo en tamaño, la provisión de bienes privados se vuelve más complicado y lo más viable para mantenerse en el poder es dar bienes públicos. Recapitulando lo

anterior, sistemas con una coalición ganadora muy grande tenderán a proveer más bienes públicos que privados.

En ese sentido, Bruce Bueno de Mesquita, et al. (2003) dicen que para entender qué tipo de sistema político da más bienes públicos hay que entender el papel tamaño del selectorado y de la coalición ganadora. En este caso, las democracias tienden a tener coaliciones ganadoras más grandes y es por ello que tenderán a proveer más bienes públicos. Esta una predicción contraria a la de Persson, y por lo tanto sujeta a hacer una prueba empírica para ver cuál teoría tiene mayor poder explicativo con lo que observamos en materia de energías limpias.

Dentro de las democracias, iría el segundo argumento, podemos destacar que diferentes tipos de arreglos, los que derivarán en más bienes públicos que privados. En término del tipo de sistema, los presidenciales tienen una coalición ganadora más grande para la elección del poder ejecutivo debido a que, para elegir a éste, se hace una elección a nivel nacional en donde el selectorado y la coalición ganadora es grande. En contraparte, la elección del ejecutivo en los sistemas parlamentarios se da desde el parlamento, mismo que es elegido a nivel distrital lo cual hace que la coalición ganadora de éste sistema sea más pequeña.

Un elemento importante que hay que considerar es que distintas reglas electorales pueden derivar en coaliciones ganadoras distintas. Cuando se hizo la distinción del régimen presidencial y parlamentario, en términos generales se está hablando de cómo se compone el ejecutivo, más no el legislativo. En ese sentido, el diseño del poder legislativo depende de la regla electoral que se tenga en cada sistema, ya sea de mayoría o de representación proporcional. Tal como lo detallan Fredriksson, Matschke y Minier (2009) los sistema mayoritarios tienen la característica que la coalición ganadora es más pequeña ya que los políticos solo deben de enfocarse en un subgrupo

muy pequeño de la población, en cada distrito, para poder ser electos. Ante ello, los regímenes de mayoría tenderán a proveer menos bienes públicos. En cambio, en un régimen que incorpora la representación proporcional los partidos políticos tienen incentivos a proveer políticas enfocadas a los bienes públicos ya que la votación nacional, donde la coalición ganadora es más grande, será determinante para obtener más escaños en el poder legislativo.

Bernauer y Kuobi (2008) dicen que de todos los estudios empíricos que incorporan el tipo de sistema político para entender la calidad del medio ambiente tienden a tener diferencias sistemáticas en torno a sus resultados. Es decir, no hay suficientes pruebas empíricas que hagan concluir que la teoría de Persson, et al. (2000), o bien, la de Bueno de Mesquita, et al. (2003) sean las correctas. El presente trabajo de investigación incorporará la teoría de Bruce Bueno de Mesquita para entender la calidad del medio ambiente. Lo anterior responde a que ésta ha pasado por distintas pruebas empíricas y teóricas (Morrow, Bueno de Mesquita, Siverson y Smith, 2008) para probar los mecanismos causales de bienes públicos y es la intención de éste trabajo de investigación contribuir a la literatura para comprobar su validez con respecto a los bienes públicos ambientales. Aun cuando los modelos de calidad del medio ambiente tampoco han sido concluyentes, lo que aquí se propone es un marco teórico y empírico donde la teoría de Bueno de Mesquita, et al. (2003) sirva como marco para entender qué países utilizan mayores fuente de energía limpia.

Con todo lo anterior surgen dos hipótesis más que se postulan en el presente trabajo de investigación.

1. La primera de ellas es que los regímenes **presidenciales** tenderán a proveer mayor calidad del medio ambiente, y por lo tanto utilizarán más fuentes de energía limpias, que los

**parlamentarios**. Esto se debe a que en la elección del ejecutivo, que es partícipe en la proposición y ejecución de política pública, el tamaño de la coalición ganadora es relativamente mayor.

2. La segunda hipótesis que se postula es que reglas electorales de carácter de **representación proporcional** harán que exista una mayor calidad del medio ambiente debido a que, a diferencia de reglas electorales de **mayoría**, los partidos políticos tienen incentivos de proveer plataformas electorales que incorporen bienes públicos debido a que el porcentaje de personas necesarias para mantener el poder es de mayor tamaño.

Ahora bien, todo lo que anteriormente se dijo se relaciona a las instituciones que ofrecen una mayor cantidad de bienes públicos, que en éste caso específico es la calidad del medio ambiente. Ante ello, para tener un completo análisis de la calidad del medio ambiente hay que considerar que pueden existir ciertas características sociales que aumenten la demanda por la calidad del medio ambiente. Es decir, aun cuando existan instituciones que promuevan una mayor provisión de bienes públicos resulta de alta importancia tener en cuenta que si la sociedad no demanda una mayor calidad del medio ambiente, los efectos pueden verse disminuidos.

Vachon y Menz (2006) involucran en su análisis una serie de características sociales para entender que estados promueven un mayor uso de electricidad limpia. En términos de éstas, los autores destacan que hay principalmente dos que hay que considerar: nivel de educación y nivel de participación política. Ambas pueden ser también probadas empíricamente

- En términos de la educación el mecanismo causal es el siguiente. Un mayor grado de educación hace que los individuos tengan una mayor capacidad de evaluar los costos y beneficios de distintas políticas públicas que se implementan en un gobierno. Ante ello,

dicha evaluación hará que tengan un mayor grado de conocimiento acerca del problema que representa el cambio climático. A su vez, un mayor grado educativo les permitirá a los individuos conocer las distintas opciones que existen en materia de energía.

- En cuanto a la participación política, el mecanismo causal que se encuentra detrás de ella es que cuando los ciudadanos de un gobierno tienen los suficientes mecanismos para exigir políticas públicas, éstas serán canalizadas de mejor manera debido a que la continuación del puesto del gobernante se encuentra condicionado a cumplir las demandas de la coalición ganadora. Esto va estrechamente de la mano con lo que se planteó párrafos anteriores con respecto a la teoría de Bruce Bueno de Mesquita, et al. (2003).

Por último, el presente trabajo de investigación propone que la edad puede ser un factor determinante para aumentar la calidad del medio ambiente. Esto se debe a que, tal como se mencionó en el segundo capítulo, el problema del cambio climático es algo que corresponde a un horizonte futuro. Una sociedad con un promedio de edad alto podría tener menos incentivos a combatir un problema que a la mayoría la población no vivirá, simplemente por perspectiva y equilibrios políticos. En cambio, cuando la población es más joven, el cambio climático podrá ser un problema que enfrentarán potencialmente los individuos en el futuro y por ende tendrían mayores incentivos a demandar políticas de mejora de la calidad del medio ambiente en el presente.

Con todo lo anterior se derivan las tres hipótesis de carácter social: mayor educación, participación política y menor edad promedio de la población tenderá a demandar mayor calidad del medio ambiente. Es importante mencionar que las hipótesis de carácter social van estrechamente de la mano a las de carácter institucional, en materia de calidad ambiental, y pueden verse como condicionadas a la presencia de diseños que promuevan la oferta de bienes públicos.

Una vez que se han desarrollado las hipótesis que giran en torno a una mayor calidad del medio ambiente, es necesario entender, detallar y establecer qué es lo que está detrás del otro elemento institucional que se dijo clave para el uso de energías limpias: los derechos de propiedad. Lo que el presente trabajo de investigación establece como uno de los elementos principales que causa que los derechos de propiedad no se respeten dentro de una sociedad es la corrupción. Eso se debe a que cuando los contratos inmersos en una sociedad son violados es porque las autoridades que están encargados de hacerlas cumplir tienen los incentivos, o compromisos, con una de las partes involucradas de que estos resulten de una forma distinta. Ante ello, para entender cuáles son los arreglos institucionales que promueven un mayor respeto a los derechos de propiedad, y por ende un mayor porcentaje de uso de energías limpias, es necesario entender qué es lo que determina un mayor grado de corrupción dentro de una sociedad. Para responder ésta pregunta se acudirá a las teorías de *elección racional* en donde los incentivos y compromisos son elementos claves para entender la corruptibilidad de un individuo.

Antes de comenzar a detallar lo que el párrafo anterior establece es necesario recalcar un tema importante en materia de adopción de energías limpias: Lo que ésta sección está explicando es que los derechos de propiedad son un elemento clave para entender los costos marginales futuros a los cuales una empresa debe de incurrir de tal manera que el precio de las energías fósiles tienda a su nivel óptimo, tal como lo muestra la gráfica 1.3. Aún ante ello, es necesario tener en mente que, tal como se detalló en la primer sección del presente capítulo, el respeto a los derechos de propiedad es un elemento básico para que el mercado de las tecnologías alternativas crezca (mayor captación de lo que serían de otra manera sus externalidades positivas), y por ende que su precio disminuya. Es decir, el respeto a los derechos de propiedad no solo tienen un papel en materia de

los costos futuros de las energías fósiles sino también juegan dentro de la producción de las energías limpias, tal como el modelo propuesto por Wang (2010).

Retomando el tema de la corrupción, hay una literatura que busca probar sus efectos en la provisión de bienes públicos. Fredriksson y Svensson (2002) resumen la amplia literatura sobre los efectos de la corrupción en el medio ambiente. Autores como Congleton, 1992, Murdoch y Sangler, 1997; López y Mitra, 2000, han encontrado que la corrupción muestra una correlación negativa con el nivel de exigencia ambiental y que su efecto es menor entre mayor es el nivel de estabilidad política. Esto responde a que los individuos interesados en diluir la fuerza de la política ambiental a su favor, por ejemplo, representando a la industria energética fósil, tienen más facilidades de hacerlo en sistemas político corruptos.

Como se mencionó en párrafos anteriores, en éste trabajo se considera a la corrupción como uno de los principales problemas para que los derechos de propiedad en una sociedad no se respeten. Ante ello, las empresas productoras de energías fósiles no internalizarían los costos futuros, el precio de éstas sería menor y por ende las tecnologías limpias no serían consideradas. Es por ello que resulta importante entender cuáles son los arreglos institucionales que disminuyen la corrupción, y por ende aumentan los derechos de propiedad. A grandes rasgos, existen tres corrientes para explicar la incidencia de la corrupción en los estados modernos (Montinola and Jackman 2002).

1. La primera de ellas es la que involucra a aspectos culturales como determinantes del nivel de corruptibilidad de una sociedad. Dicha corriente dice que la **corrupción** surge de normas sociales que premian la lealtad y las transacciones familiares o sociales más que al

estado de derecho. Ante ello, son las conductas y las reglas sociales las que determinan el nivel de corrupción de un país.

2. La segunda gran corriente para explicar la corrupción es la llamada *revisionista*. Esta dice que lo importante es entender el nivel de desarrollo de un estado para entender el grado de corrupción. Dentro de ésta corriente se ve a la corrupción como un producto propio del proceso de modernización de un país. Ante ello, este elemento podría ser útil en ciertos sentidos para disminuir problemas de generación de capital, o bien, romper la inflexibilidad del sistema burocrático.
3. Lo que estas dos corrientes ignoran es que detrás de toda regla cultural o proceso de modernización los actores involucrados tienen una serie de incentivos, creados propiamente por cada sistema, que moldean su conducta. Ante ello, la escuela de *elección racional*, misma que se toma como base para la explicación de la fuente de corrupción en ésta investigación, tiene una perspectiva diferente. Susan Rose-Ackerman (1999), representante de ésta corriente, dice que la **competencia política** es el elemento más determinante para entender sociedades con menores índices de corrupción. Esto se debe a que cuando los políticos tienen una serie amenaza de ser reemplazados tendrán menos incentivos a ser corruptos. A su vez, existen dos elementos muy importantes que considerar. En las **democracias**, donde la competencia política es mayor que en las **autocracias**, el flujo y acceso a la información permite que los ciudadanos monitoreen a los gobernantes de manera más eficiente. Ante ello, debido a la amenaza de ser reemplazado los gobernantes tenderán a ser menos corruptos ya que se encuentran más vigilados conforme el país sea más democrático. El segundo factor gira en torno al hecho de que esta misma amenaza de ser sustituidos hace que su horizonte futuro en materia de permanencia tenga



un carácter de incertidumbre. Ante ello, los burócratas no pueden comprometerse sobre acuerdos que ocurran en el futuro y ello hará que los contratos corruptos sean menos posibles.

Lo que anteriormente se estableció toma en cuenta la esencia de la escuela de elección pública, la cual dice que los incentivos que un arreglo institucional genera es lo que moldea la conducta de los agentes dentro de una sociedad. Ante ello, para entender la corrupción hay que ver cuales incentivos hay dentro de cada sistema político. Dado esto, se llega a la conclusión que la participación política y flujo de información asociada a una democracia hace que los burócratas tengan menos incentivos de ser corruptos y por ende los derechos de propiedad de esa sociedad se cumplan de manera más eficiente.

De lo anterior surge la última hipótesis que se plantea en el presente trabajo de investigación. Un mayor grado de democracia en un país tiende a disminuir la corrupción, aumentar el respeto a los derechos de propiedad y por ende las empresas deberán internalizar los costos futuros derivados del proceso de extracción de las energías fósiles. Dicho mecanismo hará que el precio de dichos combustibles tienda a su óptimo y por ende las energías limpias se vuelvan viables.

Antes de pasar a concluir el presente capítulo es necesario hacer dos comentarios finales. El primero de ellos está centrado a recalcar nuevamente que, aun cuando el modelo teórico plantea que los derechos de propiedad son un elemento que influye en el precio de las energías no fósiles debido a la internalización de los costos futuros, éstos también se encuentran detrás de la producción de las energías alternativas, tal como el modelo teórico de una economía abierta propuesto en secciones anteriores lo predice. Ante ello, la democracia también afectará la

producción de estos bienes ya que refuerza los derechos de propiedad, mismos que tienen un efecto directo en el riesgo de que la inversión producida se materialice.

El segundo elemento que se quiere resaltar es algo que gira entorno a la energía nuclear, misma que ha sido catalogada por algunos Congresos, tal como el mexicano, como una energía “limpia”. El modelo que se plantea en el presente trabajo de investigación elabora todas las hipótesis dentro de una perspectiva de incentivos económicos y políticos. Dicho modelo no contempla un elemento que es muy importante en materia de la producción de energía nuclear y es la presión internacional que puede existir alrededor de este. Esto se debe a que la energía nuclear no solo puede ser utilizada como fuente de electricidad o generación de combustible sino que algunos de sus subproductos pueden ser utilizados para la creación de armas de destrucción masiva. Marktanner y Salman (2011) hacen un trabajo de investigación centrado en los determinantes para que países del norte de África utilicen fuentes de energía nuclear. En dicho trabajo encuentran que la democracia y la energía nuclear pueden ser vistas como complementos. Esto se debe a que a dos razones. La primera de ellas es que de manera general, los gobiernos democráticos no desarrollan energía nuclear como fuente de poder, ya que no puede ser utilizada como mecanismo de presión para seguir en el poder debido a las reglas y procedimientos electorales, elementos contrarios a las autocracias. Dicho hecho hace que las presiones internacionales disminuyan cuando el país que desarrolla la energía nuclear está democratizado.

El segundo factor es que las energías nucleares causan una serie de externalidades debido a que existe un temor, muchas veces infundado, de que estar cerca de una planta nuclear tiene una serie de riesgos. La **democracia** es el sistema que permite que estos miedos se canalicen a través de mecanismos institucionales que brindan la facilidad de poder negociar y atender las demandas de

la ciudadanía, y por lo tanto esperamos que dicho sistema político permita que se lleguen a acuerdos para evitar la construcción de plantas de energía nuclear en ciertas zonas.

Lo anterior es un factor que el modelo planteado en el presente trabajo no captura de manera directa, pero que resulta importante a la hora de analizar la producción de energías no-fósiles. La democracia es un sistema que no solo radica en la participación de la ciudadanía en la elección de los líderes sino que conlleva una serie de efectos en materia de acceso a la información, derechos de asociación, generación de capital social, por dar un ejemplo, que hacen que las sociedades tengan un mayor grado de desarrollo. En materia de energía podemos ver que la democracia juega un factor fundamental en materia de respeto a los derechos de propiedad, mismos, que derivan en una internalización de los costos futuros y un aumento en la producción de energías limpias.

### **3.3 Energías renovables vs. Energía nuclear**

Hasta ahora, las hipótesis que se han planteado, junto con sus explicaciones teóricas, giran en torno a la idea de comparar la viabilidad de las energías fósiles frente a las de carácter alternativo. Es decir, el escenario que se planteó desde el capítulo II fue presentar en qué circunstancias se vuelve viable la inclusión de una energía alternativa a la fósil, que dada la estructura del mercado, son las energías consideradas limpias debido a su característica de no emitir gases de efecto invernadero. Ahí están mezcladas la energía nuclear, y las energías renovables, como la biomasa, eólica y solar.

Lo anterior da pauta a preguntar bajo qué circunstancias un país adoptará un mayor porcentaje de energía nuclear que de energía renovable, y viceversa, para su total de energía no-fósil. La presente sección abordará dicho tema y se basará en dos corrientes que explican la presencia de los tipos de energía. La primera de ellas es la que se relaciona a la dotación de recursos naturales existentes en un país (Eikeland y Saeverund, 2007), mismos que van de la mano a los costos de producir una

energía renovable (Torvanger y Meadowcroft, 2011). La segunda de ellas es de carácter político, mismo que es determinante para la existencia de la energía nuclear, en donde el componente principal es el papel que juega la democracia (Torvanger y Meadowcraft, 2011; Marktanner y Salman, 2010) para resolver las presiones internacionales sobre el uso de energía atómica.

La dotación inicial de recursos naturales es algo central en las decisiones económicas. El modelo teórico que se planteó predice que la energía alternativa que se adoptará en mayor medida será la que tenga un menor precio, y por ende un menor costo de producción. Las energías renovables dependen de los recursos que tiene un país para su producción, es decir, lugares con diversos ríos, lagos y precipitaciones tenderán a tener mayor facilidad para producir energía hidroeléctrica, por dar un ejemplo, y ello llevará a una reducción en costos de energía limpia. Dicha reducción hará que la tecnología se vuelva más viable. Lo anterior responde a que los países buscan minimizar sus costos de producción de energía. Ante ello, la hipótesis que se plantean en el presente ensayo es que países con mayores dotaciones de recursos tenderán a adoptar más energías renovables, como alternativa a la fósil.

La energía nuclear, aun cuando en el discurso político y de algunas organizaciones de desarrollo es considerada como “limpia”, sí tiene ciertas externalidades negativas, tal como la instalación de un reactor nuclear cerca de un poblado que no lo desea, o bien, los desechos que ésta genera. A su vez, la energía atómica para generación eléctrica puede dar permitirle a un país, como ya lo han hecho China y Corea del Norte, unirse a la carrera armamentística nuclear. Esto tendría presiones internacionales en contra si el país no es una democracia. Autores tales como Torvanger y Meadowcraft, (2011) y Marktanner y Salman (2010) han buscado entender qué factores son determinantes para que un país adopte más o menos porcentaje de energía nuclear. Aunado a factores que ya se han explicado, tales como el nivel de participación del gobierno, la inversión y

el comercio, resaltan el papel de la democracia y la participación política. Ambos artículos argumentan que la democracia permite que las demandas en contra de las externalidades negativas de la energía nuclear se canalicen y su uso se vea disminuido.

En resumen, la democracia juega un papel fundamental en la inclusión de la energía nuclear mediante dos mecanismos: el primero es que éste sistema permite canalizar las demandas en contra de las externalidades que ésta genera, reduciendo su participación. El segundo es que los gobernantes en países con menor grado de democracia tenderán a utilizar la energía nuclear como una fuente de [amenazas creíbles para] conservar del poder.

Antes de proseguir con las conclusiones de éste capítulo es necesario hacer una anotación. La segunda sección detalló que la democracia vuelve más viable una energía alternativa, frente a una de carácter fósil, debido a que inhibe la corrupción y por ende aumenta el respeto a los derechos de propiedad intelectual. En ésta sección se detalló que en materia de energía nuclear, misma que es alternativa a la energía fósil, la democracia, parlamentaria o presidencial, juega un papel para inhibir su uso. Dado que los efectos se predice que serán contrarios, los datos, presentados en el cuarto capítulo de ésta investigación, nos permitirán entender cuál de ellos domina. Dicho efecto podría dar pauta a entender, o al menos aproximar, qué preocupación resulta más importante dentro de la población, ¿el calentamiento global o la externalidad negativa generada por la energía nuclear?

### **Sintetizando**

Las secciones anteriores proponen las hipótesis de carácter económico, político y social de éste trabajo de investigación. En materia del primer elemento se dijo que la participación del gobierno, la inversión extranjera, apertura comercial, patentes y aumento en los derechos de propiedad

intelectual tienen un efecto positivo en el aumento de la producción de un bien con nueva tecnología. Lo anterior tiene una consecuencia en que las energías limpias aumenten su viabilidad en el mercado debido al aumento en el nivel de producción y disminución de su precio.

Abordando el tema político e institucional se concluyó que coexisten dos elementos principales que promueven que el precio de las energías fósiles converja a su óptimo: calidad del medio ambiente y respeto a los derechos de propiedad. En materia del medio ambiente se hizo un análisis de éste considerándolo como un bien público. Tomando en cuenta la Teoría del Selectorado (2003) se predice que los regímenes presidenciales y reglas electorales de representación proporcional tenderán a generar países con mayor porcentaje de energías limpias. Por otro lado se dijo que la corrupción, como principal fuente para disminuir el respeto a los derechos de propiedad, puede ser disminuida por un mayor grado de democratización, debido a los incentivos que detallan las corrientes de elección racional.

Seguido de ello se mencionó el componente social en donde se detalló que la edad, la participación política y la educación son determinantes ya que generan que las demandas por una mayor calidad del medio ambiente sea mayor. Dichos elementos son importantes ya que aun cuando existan instituciones que tengan la capacidad de ofrecer el bien público, si estos no se demandan su producción puede ser sub-óptima.

Por último, se elaboró una tercera sección en donde se hizo la distinción entre los dos tipos de energías limpias, las renovables y la nuclear. Se mencionó la importancia de la dotación inicial de recursos en la adaptación de energías renovables y el papel que juega la democracia para inhibir el uso de energías de carácter nuclear.

El presente capítulo de éste trabajo de investigación detalla las teorías y mecanismos causales que rodean a las hipótesis que se plantean. Esto sienta la base teórica para entender que cuáles son los elementos que facilitan que un país utilice mayores fuentes de energía limpia.

## IV. Análisis estadístico y econométrico

El segundo capítulo trató acerca de la problemática ambiental y de política pública a la que nos enfrentamos en México y el mundo respecto a las elecciones del tipo de energía para generar electricidad. Esto es la base de la pregunta de investigación: **¿cuáles son los determinantes de que un país utilice más o menos fuentes de energía no-fósil para generar electricidad?** El capítulo III abordó las diferentes teorías y modelos, tanto de economía como de economía política, que pueden ser utilizados para buscar una respuesta a esta pregunta. El actual tercer capítulo tomará algunos elementos de la literatura para construir un conjunto de hipótesis que puedan ser sujetas a pruebas empíricas; su fuente será con una base de datos en un panel de países observados a lo largo del tiempo.

### 4.1 Modelo econométrico

Antes de iniciar con el análisis de los datos es importante plantear de manera teórica lo que aquí se propone. La siguiente ecuación resume de manera general lo establecido en el capítulo III.

$$\% \text{ de Energía no fósil} =$$

$$F(\text{dotación inicial de recursos, componente económico, componente político, componente social,})$$

Donde

$$\text{componente económico} = F(\text{inversión extranjera, apertura comercial,}$$

$$\text{gasto gubernamental, patentes, derechos de propiedad, ingreso})$$

$$\text{componente político} = F(\text{democracia, presidencialismo,}$$

$$\text{representación proporcional})$$

$$\text{componente social} = F(\text{edad, educación, participación política})$$



Antes de detallar el modelo empírico es necesario resaltar que el efecto que generan ciertas variables independientes en la dependiente no sucede en el mismo periodo. Es por ello que la inclusión de variables independientes rezagadas será clave en el análisis que se propone, esto con el fin de aproximar el efecto generado de la manera más precisa.

## **4.2 Modelo empírico**

En términos de los datos, se utilizan dos fuentes principales. La primera de ella es el Banco Mundial, de donde se obtuvo información de la *Database of Political Institutions (2012)* y de la *World Economics Indicators (2012)*. La segunda fuente es el *Polity IV Project* de donde se obtuvo un indicador de democracia, el cual será abordado en párrafos siguientes. La periodicidad de los datos es de manera anual y cubre el periodo de 1990 a 2012, a excepción de aquellas variables que presentan un rezago. En materia de los individuos de la muestra, la base de datos considera que éstos son países y se cuenta con información para 214 de ellos.

El trabajo de investigación busca entender cuáles son los elementos que determinan un mayor uso de energías limpias en un país. Debido a la diferenciación que se hizo en el capítulo anterior con respecto a la energía nuclear y las renovables, se plantearan dos tipos de especificaciones para la econometría. La primera toma como variable dependiente el porcentaje de energías fósiles vs no fósiles. La segunda diferencia entre fósil, nuclear y el resto. El detalle de lo anterior se verá reflejado en párrafos siguientes. La base de datos del Banco Mundial contempla una serie de variables que describen el porcentaje de producción eléctrica según la fuente de ésta, con respecto al total. En términos de la descripción de las variables, la siguiente tabla muestra sus principales características estadísticas.

Tabla 3.1: Descripción de las variables dependientes

Producción eléctrica de energías renovables (% de total)				
Percentiles		Menor		
1%	0	0	Observaciones	2993
5%	0	0	Media	33.49132
10%	0	0	Desviación estándar	34.07018
25%	3.389831	0	Varianza	1160.777
50%	18.24189			
		Mayor		
75%	61.07079	100		
90%	93.38429	100		
95%	99.38446	100		
99%	99.97595	100		

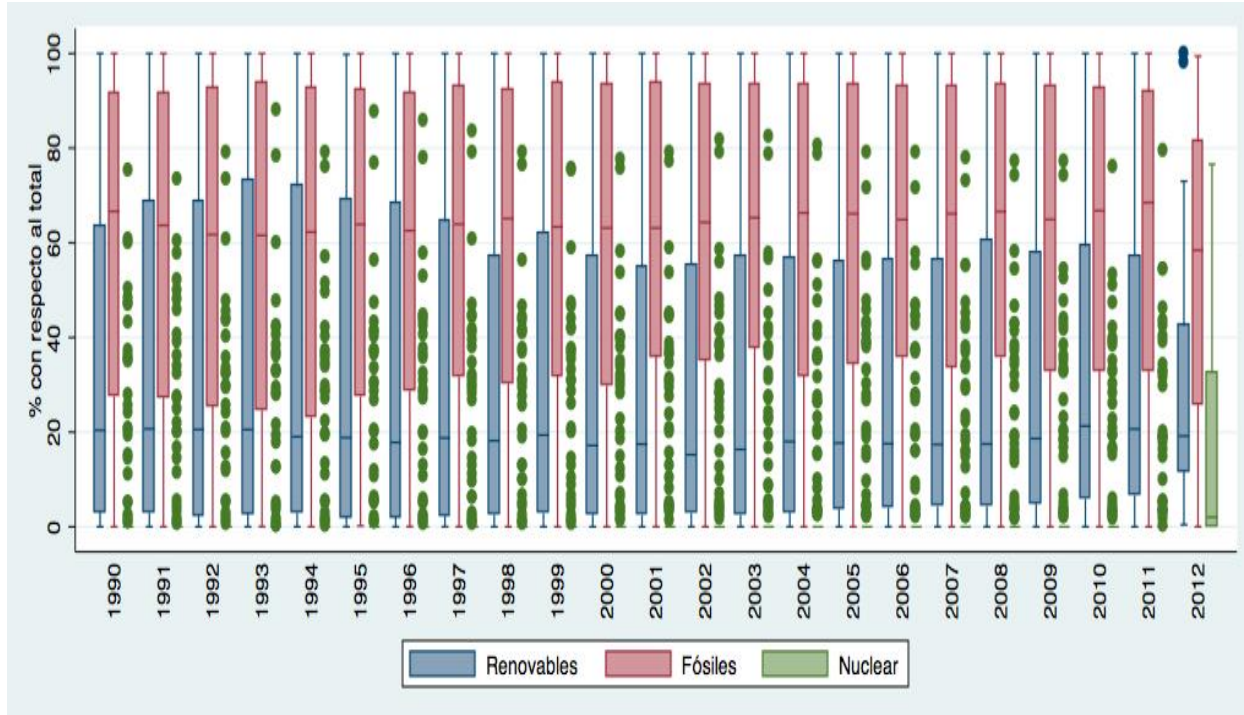
Producción eléctrica de energía nuclear (% de total)				
Percentiles		Menor		
1%	0	0	Observaciones	2993
5%	0	0	Media	6.146702
10%	0	0	Desviación estándar	15.16728
25%	0	0	Varianza	230.0464
50%	0			
		Mayor		
75%	0	83.56964		
90%	29.75139	85.84447		
95%	42.0323	87.44083		
99%	75.83688	87.98622		

Producción eléctrica de energía fósil (% de total)				
Percentiles		Menor		
1%	0.0018496	0	Observaciones	2993
5%	0.4651163	0	Media	59.44819
10%	3.902294	0	Desviación estándar	34.27528
25%	30.42241	0	Varianza	1174.795
50%	65.18454			
		Mayor		
75%	92.91357	100		
90%	100	100		
95%	100	100		
99%	100	100		

Se puede ver que la energía fósil es la más utilizada a través de los países, mostrando una media del 59% de la energía total con una desviación estándar de 34.3. A su vez, se puede ver que hay diversos países, como por ejemplo Qatar, Kuwait o los Emiratos Árabes Unidos, que generan toda su energía eléctrica mediante el uso de combustibles fósiles, debido al valor máximo presentado en la tabla. Por otro lado, se puede ver que la energía nuclear es la menos utilizada a nivel mundial, mostrando una media de 6.1% y un valor máximo de 88% en un año-país determinado (Lituania, 1995). Los países con mayor porcentaje de generación eléctrica nuclear son Francia y Lituania. Por último, las energías renovables son una fuente bastante usada, mostrando una media de 33% con valores máximo que llegan a la unidad. Países como Noruega e Islandia se encuentran dentro de los que más porcentaje de energías renovables utilizan. Cabe destacar que dentro de ésta variable están contenida la generación hidroeléctrica que, a diferencia de otras como la solar, lleva mayor números de años produciéndose. Por último, es importante mencionar que éstas tres variables son de suma uno, es decir, son una descomposición del uso de la energía eléctrica en determinado año para determinado país.

Para tener un mayor entendimiento de las variables dependientes que se usará en el modelo econométrico es necesario ver su distribución a través de los años y de los individuos. Ante ello, las siguientes gráficas lo analizan.

*Gráfica 3.2: Distribución de la variables dependientes a través del tiempo*



*Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos descrita*

La gráfica muestra que existe una variación a través de los años, para las tres variables, pero el gran costo fijo y periodo de duración de la inversión sugiere que habrá un componente fuerte de correlación en el tiempo, donde la producción y uso de un año dependerá fuertemente de la que hubiera el año anterior. Esto es importante tomarlo en cuenta ya que cuando se elabore el modelo es necesario contemplar la autocorrelación de las observaciones.

Un elemento importante a resaltar es que el año 2012 se comporta de manera atípica, esto no parece ser un fenómeno real, se debe a la menor disponibilidad de datos para algunos países en ese periodo en específico, por lo que se excluirá del análisis econométrico.

Una vez concluido con el análisis de la variable que será utilizada como dependiente es necesario describir y explicar las variables que se usarán como aproximaciones a lo que el modelo teórico propone como variables exógenas. Es necesario resaltar un elemento de suma importancia. Se utilizarán dos modelos para probar las hipótesis planteadas; primero un modelo que contempla variables dependientes sin rezagos, segundo, reconociendo que hay un tiempo de respuesta entre las condiciones políticas y sociales cuando ocurre la inversión de expansión de la producción eléctrica, y el tiempo en que esta inversión de hecho ya resultó en operación y generación de electricidad, es que se redefinen las variables exógenas para que estén rezagadas, en estos periodos razonables y aproximados de 5 o 10 años.

En materia del componente económico las hipótesis que se plantearon dicen que lo importante para entender la producción de un bien tecnológico es ver el flujo de recursos monetarios y de bienes internacional, la participación del gobierno, las patentes producidas y el respeto a los derechos de propiedad. En materia de los primeros componentes contamos con dos indicadores que aproximan de manera bastante directa lo establecido. Existe una medición para la inversión extranjera directa que llega a un país en determinado año, como porcentaje del PIB. Dicha variable muestra los flujos de dinero que vienen del extranjero hacia un país. Por otro lado, existe un indicador que muestra que porcentaje de la economía está destinado al comercio. Esa medición aproxima el flujo internacional de bienes, que acarrearán conocimiento tal como ya se detalló en el capítulo III, que existe en un país. En cuanto a la participación del gobierno el Banco Mundial

contempla una variable que describe el gasto del gobierno como porcentaje del PIB. Ésta variable, aún cuando no aproxima directamente el destino del gasto gubernamental, es útil para ver que tanto se involucra un gobierno. Por último, existen datos de las patentes registradas en un país en determinado año, mismos que están capturadas por una de las variables utilizadas en el modelo econométrico.

Antes de proseguir a la descripción de las variables de carácter político y social es necesario detallar que, tal como se explicó en el capítulo III, la democracia inhibe la corrupción y por lo tanto aumenta el respeto a los derechos de propiedad. Ante ello, el modelo econométrico no estipula una variable directa de derechos de propiedad ya que se incorpora una que describe el nivel de democracia de un país. Lo anterior no aplica a las patentes ya que éstas pueden considerarse como señales que ayuda a aumentar la certidumbre de que la inversión se canalizará de manera exitosa.

El componente político contempla tres características principales en cuestión de diseño institucional. La primera de ellas es la clasificación de presidencialismo o parlamentarismo. La *Database of Political Institutions* (2012) tiene una variable que describe el tipo de sistema que existe en cada unidad de análisis. Ante ello, se generó una variable dicotómica que describe si el país tiene un sistema presidencialista o no. En el capítulo III, se planteó que el presidencialismo generaba una coalición ganadora mayor, esto se cumplía únicamente en democracias. Ante ello, la variable que aproxime esto será la interactiva entre democracia y presidencialismo, para evitar capturar el efecto de dictaduras con un líder presidencial. En cuanto a las reglas electorales existe una variable dicotómica que muestra si cada país en determinado año tiene como regla electoral a la representación proporcional. Debido al mismo efecto explicado en cuestión del presidencialismo, la variable por utilizar es la multiplicación de la dicotómica por la variable de democracia.

El nivel de democracia es algo de suma importancia en las hipótesis planteadas. Éste elemento se encuentra de manera directa en el descrito en éstos párrafos pero también de manera indirecta en el económico, tal como ya se mencionó, y en el social, debido a que una mayor democracia permite que la participación política aumente y se canalice de mejor manera. Existen algunos autores tales como Adam Przeworski que dicen que la democracia es un fenómeno dicotómico ya que la describe como aquel sistema en donde existe incertidumbre del resultado de una elección y certidumbre acerca de que dicho resultado será respetado. Aun cuando dicha definición tiene un buen sustento teórico, lo que se plantea aquí es que la democracia conlleva una serie de factores como el derecho a asociación, la participación política, el acceso a la información, por dar un ejemplo, los cuales deben de ser capturados. Es por lo anterior que se decidió optar por un indicador que mida el grado de democratización de un país, tal como lo refleja el propuesto por *Polity IV Project*, y no una variable dicotómica.

El último componente planteado es el de carácter social en donde se encuentra la edad, la participación política y la educación como aquellos que generan una mayor demanda por calidad del medio ambiente. En cuanto a la edad, el Banco Mundial tiene una variable que cuantifica el porcentaje de población que está entre los 0 y 14 años de edad. Dicha variable aproxima el hecho de que una sociedad tenga un mayor número de jóvenes ya cuando esta variable tiene altos valores, en relación a otros países, hablamos de que en unos años dicha población estará en lo que se considera como joven. Esto es importante ya que la base de datos tiene un factor de tiempo.

En cuanto al nivel de educación resulta difícil evaluar el nivel educativo de un país debido a que las pruebas estandarizadas no se realizan a nivel mundial. Ante ello, es necesario encontrar una variable que pueda medir el nivel en materia de educación de un país. Dentro de la base de datos de indicadores económicos existe una que muestra el porcentaje de inscripción a la educación

terciaria, sin importar la edad, expresada como porcentaje de la población total que está en los cinco años subsecuentes a la terminación de la educación secundaria. Ésta variable refleja la cantidad de personas que entran a una educación superior, que aun cuando no refleja calidad del sistema educativo, si nos da una idea de que tan avanzado está el país en materia educativa. Por último, tal como ya fue explicado, la participación política está contenida en lo que el parámetro de democracia muestra.

Por último, se hizo una distinción dentro de las energías *limpias*. Se consideró que la dotación inicial de recursos y la democracia juegan un papel fundamental para determinar el uso de energía nuclear y renovable. En el caso de la democracia, tal como fue explicado previamente se utiliza la variable del *Polity IV Project*. En cuanto a la dotación inicial de recursos, la base del Banco Mundial (2012) provee una variable que indica las precipitaciones que se dan en cada país, medida como mm de lluvia promedio de manera anual (profundidad). Dicha variable sirve para dar una aproximación a lo que se plantea.

Para poder tener un modelo que refleje de manera correcta el efecto que éstas variables tienen en la producción de energía limpia de un país es necesario incluir una serie de instrumentos de control. En éste caso la riqueza de un país es sumamente importante ya que, como fue mencionado previamente, podemos suponer que los países más ricos son aquellos que tienen una mayor capacidad de producción de tecnologías (Wang, 2010). A su vez, es importante controlar por la producción de fósiles de un país debido a que este factor puede ser determinante en el uso de cada tipo de energía. Para el primer control, la utilización de la variable que indica el Producto Interno Bruto per cápita de cada país es una buena aproximación. Para ver la producción petrolera, se considera una variable que refleja la oferta anual de barriles de petróleo (en millones), dividido por el PIB, como indicador del nivel de producción de combustibles fósiles. El costo del barril de



petróleo es un costo de oportunidad para todo país, importador o exportador, pero las ideas de “seguridad energética” le dan más peso político a un país a favor del recurso que pueden controlar.

En materia de las variables económicas; comercio, inversión extranjera directa y patentes, se considera un rezago de diez años para definir las. Recapitulando los mecanismos causales que se propusieron alrededor de éstas variables, se dijo que el comercio y la inversión extranjera directa permitían que los flujos de capital y de conocimiento generaran efectos positivos en la producción tecnológica mediante un aumento en la competencia. Los flujos de capital y de conocimiento no se dan en periodos cortos de tiempo, es necesario que pasen diversos años para que éstos puedan verse reflejados en decisiones de inversión, misma que producirá un bien y por último éste pueda utilizarse para la producción de energía. En cuanto a las patentes, se dijo que producían certidumbre de que la inversión en el bien tecnológico se materializará. Tal como en las variables anteriores, el efecto no es inmediato, tienen que transcurrir varios periodos para que las señales sean creíbles y para que la inversión se canalice en un bien de uso energético. Por último, el rezago de la variable que refleje la participación del gobierno será únicamente de cinco años debido a que éste se materializa cuando el bien empieza a producirse, ante ello no es necesario un rezago tan grande.

En términos de las variables políticas, más en concreto el presidencialismo, la representación proporcional y la democracia se considera un rezago de cinco años. La razón para ella consta de los periodos típicos en los que un gobernante se encuentra en su puesto, sobre todo en las democracias. Dado que lo que se propuso como mecanismo causal gira entorno a los incentivos que tienen los gobernantes para proveer un bien público, invertir en energía, y alejarse de la corrupción, el rezago que aproxime esta idea se debe de hacer alrededor del ciclo político de cada país.

Abordando el componente social vemos que se citó a la educación, edad y participación política como importantes. Éste último entra dentro de la variable de democracia que se utiliza. En cuanto a la edad, dado que la variable es un rango amplio de edad, no es necesario considerar un rezago. Por último, la educación se utilizará con un rezago de quince años, mismos que contemplan una generación en materia educativa.

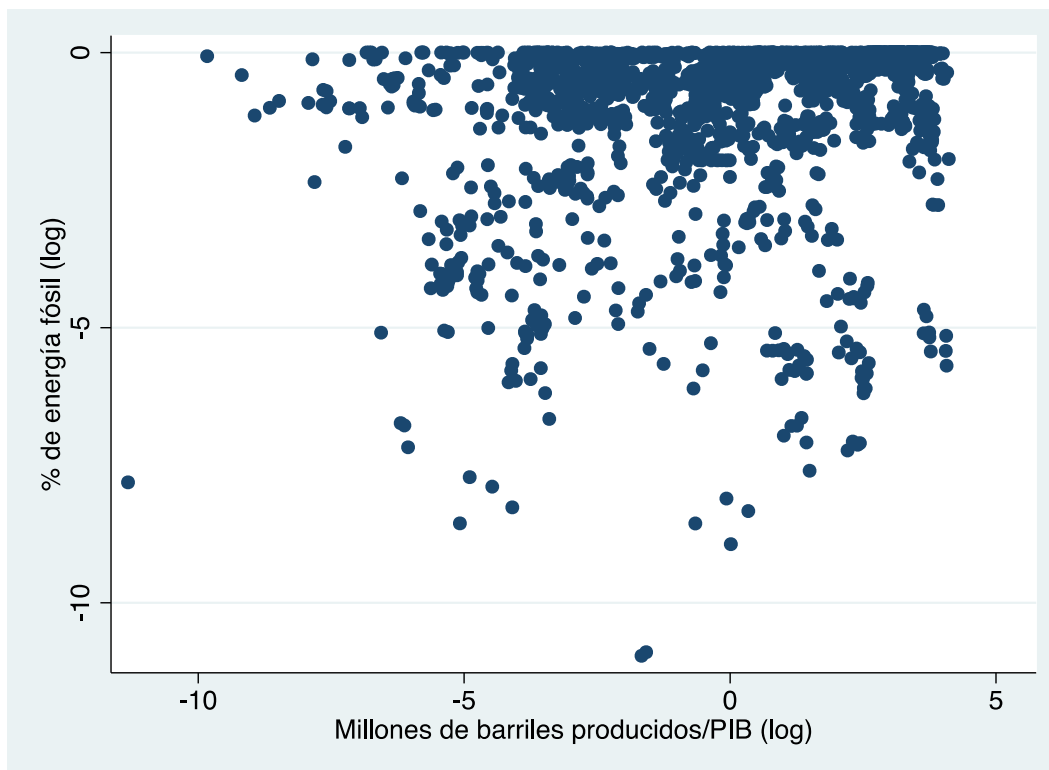
Aun cuando los rezagos tienen una amplia importancia desde el punto de vista teórico, se plantearán modelos complementarios sin rezago para poder tener una visión holística. De esa manera se podrá apreciar si existe alguna diferencia sistemática entre ambas opciones. Antes de proceder a elaborar el modelo es necesario ver las principales características de las variables que se consideran como independientes.

*Tabla 3.4: Descripción de variables independientes*

<b>Variable (rezago) – unidad de medida</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Comercio (-10) - % de PIB	3554	79.68057	49.52724	0.9786748	412.16
IED (-10) - % de PIB	3312	2.549055	7.921084	-82.8921	217.94
Patentes (-10) - # de registros	1692	10892.68	43999.05	2	440248
Gasto gubernamental (-5) - % de PIB	3626	16.58259	8.131401	1.375188	164.70
Polity score (-5) - #	3348	1.928614	7.129724	-10	10
Representación proporcional*Democracia (-5) - #	2385	4.093082	4.780472	-8	10
Presidencialismo*Democracia (-5) - #	3309	0.3913569	5.726437	-10	10
Educación (-15) - % de población	2492	15.07305	14.66508	0	97.09
Edad - años	4269	32.17855	10.59538	11.92345	52.10
Precipitaciones promedio - mm	4180	1124.011	787.4115	51	3240.00
PIB per cápita - USD	4152	10386.41	17144.86	50.04221	158802.50
Producción petrolera – millones de barriles/PIB	3872	4.623862	12.34899	-0.318403	229.369800

Para tener un mejor entendimiento de las variables independientes se presentan las siguientes gráficas. La gráfica 3.5 muestra la relación entre el porcentaje de energías fósiles, una de las variables dependientes, y la producción petrolera controlada por la riqueza (variable independiente de producción petrolera). Por otra parte, la gráfica 3.6 muestra en el eje de las ordenadas el porcentaje de energía renovable y en el de las abscisas las precipitaciones registradas.

*Gráfica 3.5: % de energías fósiles y producción petrolera (en escala logarítmica)*

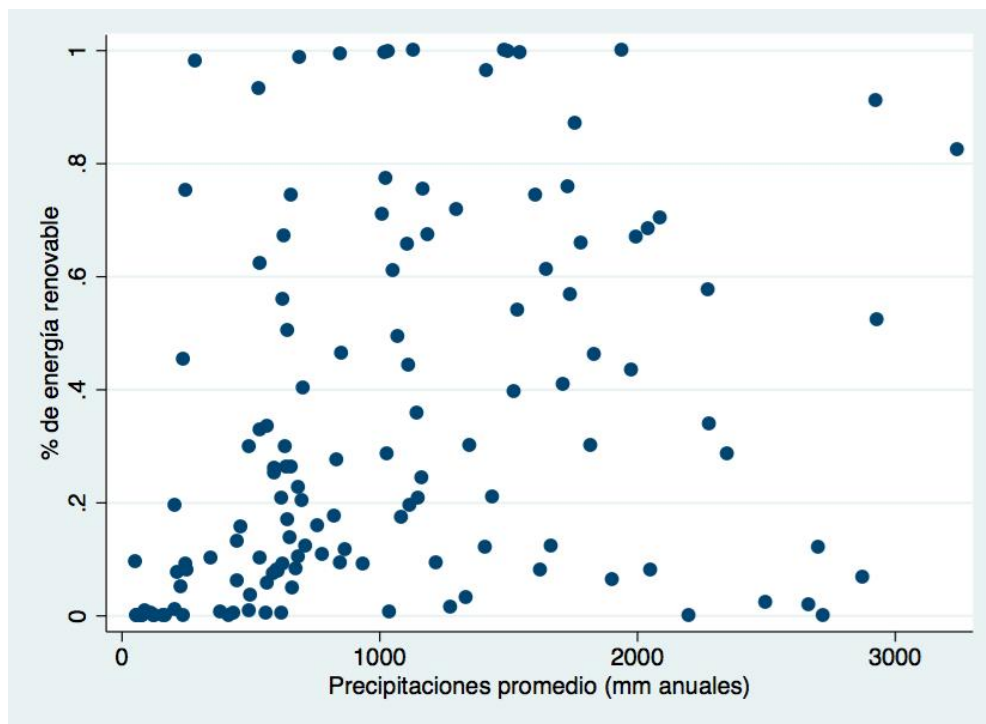


*Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos descrita*

La gráfica 3.5 da indicios de que los datos año-país que muestran un mayor valor de millones de barriles producidos/PIB se caracterizan por tener un mayor uso de energías fósiles, aun cuando estos no separen aun el grado de dotación de los otros recursos. Por ejemplo, Noruega puede tener mucho petróleo, pero tiene abundantes recursos hidrológicos, mientras que Yemen, por ejemplo,

no los tendría. Lo anterior denota la importancia de incluir en las regresiones una variable que muestra la producción petrolera, controlada por el nivel de riqueza del país.

Gráfica 3.6: % de energías renovables y precipitaciones



Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos descrita

La gráfica 3.6 muestra la relación entre el uso de energías renovables y la cantidad de agua disponible en un país, aproximada por la variable de precipitaciones (mm por  $m^2$ ). Aun cuando los datos no muestran una relación clara de forma inicial, será una variable importante a introducir debido a que dotación inicial de recursos puede disminuir el costo de la energía hidroeléctrica.

Finalmente, regresando al tema de las variables independientes a incluir en los modelos econométricos, se incorporarán dos variables interactuando: comercio e inversión extranjera. Es necesario entender el efecto que tiene en una economía un flujo importante de recursos y de bienes

de manera conjunta, no solo por separado. El utilizar variables interactivas también será útil distinguir para regímenes presidenciales con reglas electorales de representación proporcional de aquellos que no lo sean; estas reglas pueden influir en la provisión de bienes públicos sobre calidad del medio ambiente y energías limpias. El cuadro 3.7 muestra la distribución de regímenes políticos en dos de los años estudiados.

*Cuadro 3.7: Ejemplo de distribución de regímenes políticos<sup>10</sup>*

	<b>1990</b>	<b>2011</b>
Número de países total estudiados	131	136
Democracias	75	98
Regímenes Presidenciales	75	85
Países con representación proporcional	43	76
Democracias con regímenes presidenciales	45	57
Democracias presidenciales con representación proporcional	19	40

## **Estimaciones**

El modelo de Mínimos Cuadrados Ordinarios es utilizado de manera frecuente para analizar datos donde la variable dependiente es continua y se cree que los errores se distribuyen de manera normal. Una de las condiciones necesarias para que el modelo funcione de manera correcta es que las observaciones sean independientes una de otra. Tal como ya se mencionó, la base de datos que se creó contempla países y años, es decir es una de tipo panel. En éste tipo de fuentes de observaciones hay razones por las cuales no hay independencia de las observaciones, y por ello, no es deseable

<sup>10</sup> Muestra los resultados de las variables democracia, regímenes presidenciales, etc. con el rezago propuesto y para aquellas que existen datos de la variable de % de energías renovables

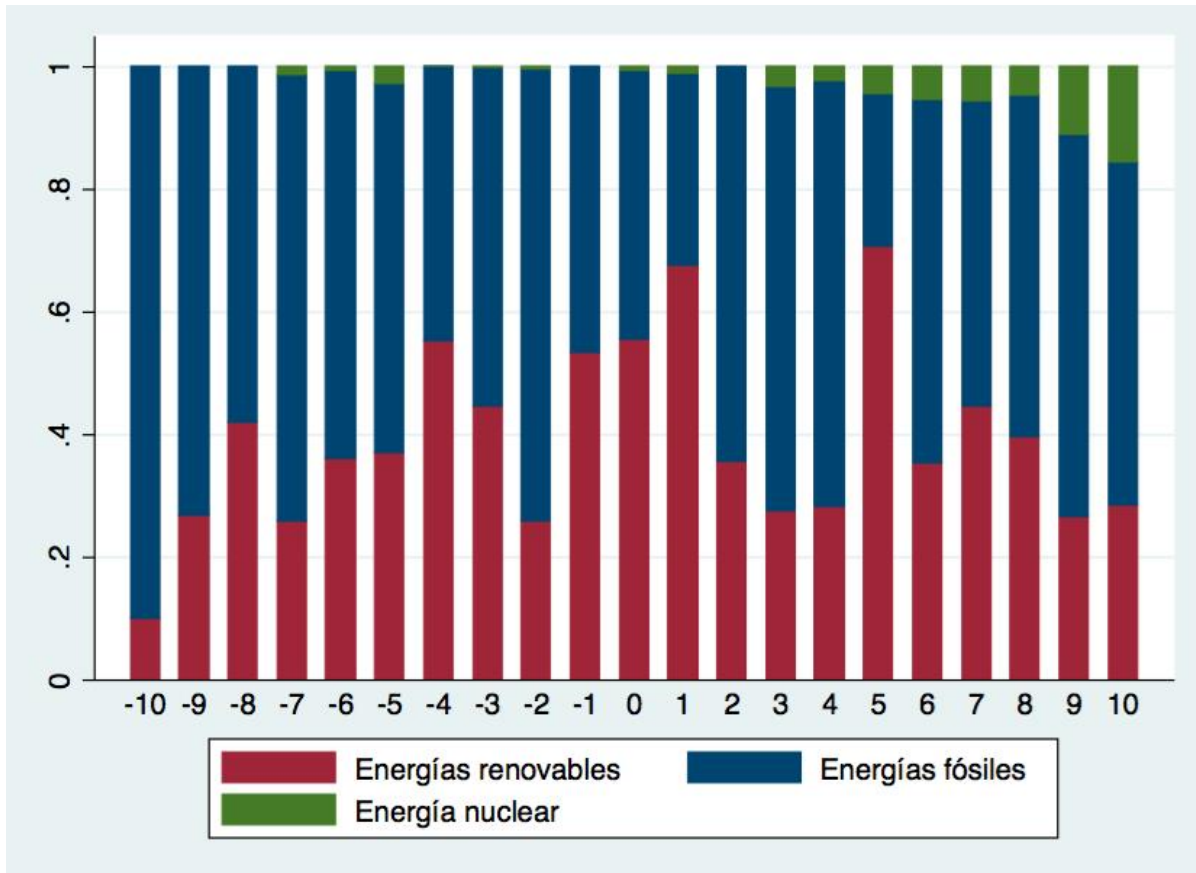
utilizar un modelo de Mínimos Cuadrados Ordinario. Es necesario utilizar uno que incorpore las características de la base de datos utilizada; y para ello existen diversas opciones.

Los datos que se utilizan, tal como se puede ver en el apéndice A.2, tienen un problema de heteroscedasticidad, es decir, que la varianza de los datos no es constante. A su vez, estamos en presencia de un problema de autocorrelación de orden 1. Ante ello, se utilizarán dos tipos de modelos que corrijan éstas cuestiones y se adapten a la estructura de los datos. El primero de ellos, utilizado para analizar datos en panel, será el de *Errores Estándar Corregidos en Panel* (PCSE por sus siglas en inglés). Sin embargo, éste modelo no contempla que la variable dependiente sea expresada en proporciones. Por esto se probará también un *Modelo Lineal General* (GLM por sus siglas en inglés) para datos tipo panel con una conexión a logit y a la familia binomial (Papke y Wooldridge, 1996), una especificación útil dado que se tienen como variable dependiente el porcentaje de energía fósil y no fósil. La ventaja de éste modelo es que permite que las predicciones se encuentren entre valores de 0 y 1, tal como el rango de la variable dependiente, es decir, del corte proporciones. La comparación entre ambos enriquecerá el análisis.

Antes de proceder a mostrar los resultados de los dos modelos que se plantearán, es necesario decir que en la estructura de datos de tipo panel existe la posibilidad que existiera algún factor sistemático que haga que los países sean distintos entre ellos. De manera intuitiva podemos pensar que se supone que existe algún elemento idiosincrático que afectara la variación en términos de la producción y uso de energías limpias. Ante la posibilidad de que esto exista y sea relevante se aplica una prueba de Hausman (apéndice A.2). Con ella encuentro que se puede rechazar que existe tal diferencia idiosincrática entre países y por lo tanto no es necesario introducir variables dicotómicas para cada país en el modelo de regresión.

Por último, previo a presentar los resultados econométricos de los modelos resulta importante plantear una serie de gráficos que den una visión de la estructura de los datos y como se relacionan éstos a las hipótesis que se plantearon.

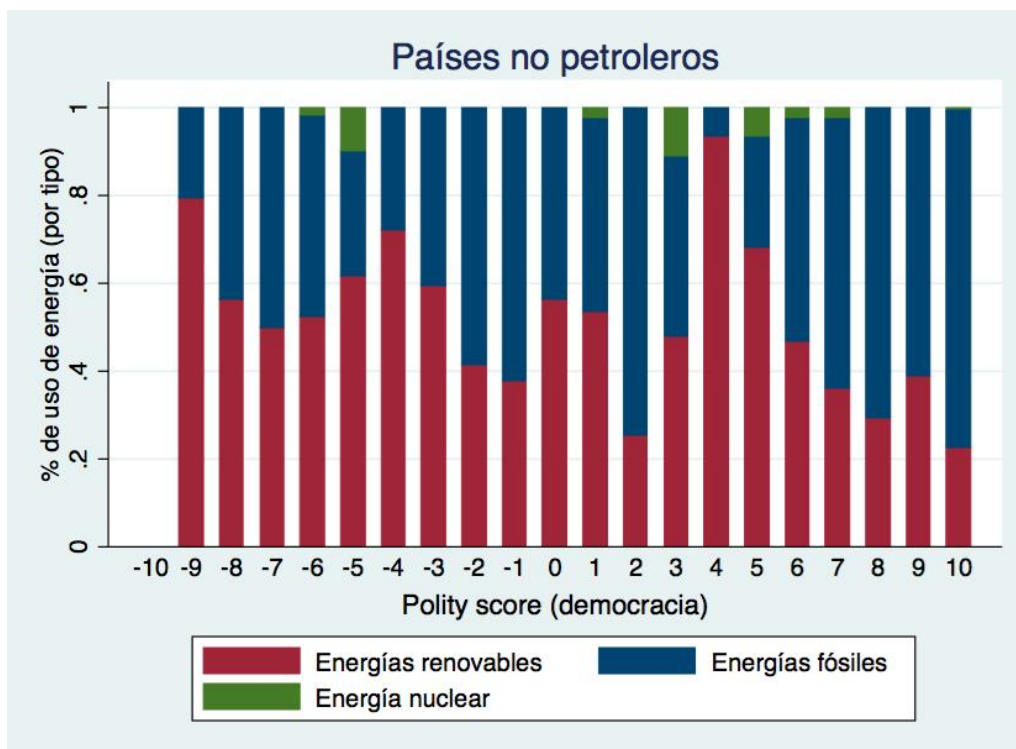
Gráfica 3.8: Nivel de energía por tipo según el grado de democracia (valores promedio)



Aun antes de las pruebas econométricas, la gráfica 3.8 ya muestra una correlación entre nivel de democracia y uso de energía nuclear, con la excepción de un grupo de países con poca democracia que incorporan esta tecnología. En energías renovables el efecto es menos claro aunque hay niveles altos de su uso en países poco democráticos. Resulta útil situar el caso de México. Durante los últimos años, el país recibe un valor de 8 en el nivel de democracia. En ese sentido, países con la misma calificación tendrían un promedio de alrededor de 7% de uso de energía nuclear, 25% de

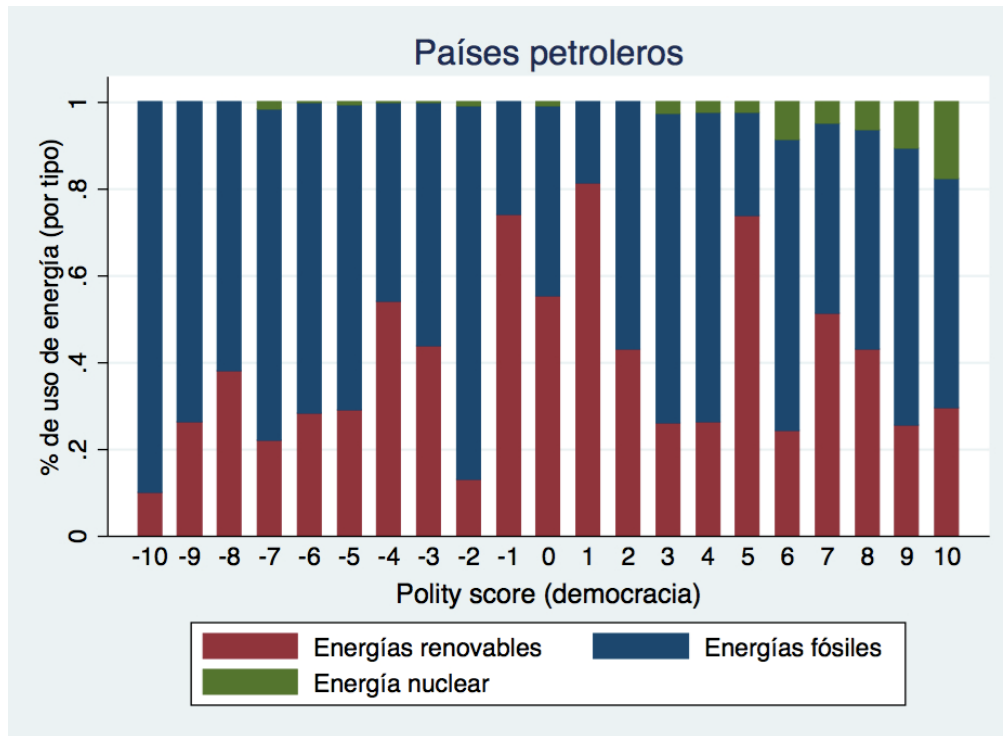
energía renovable y alrededor de 68% de energía fósil. Para el año 2011, México contaba con 3.4% de energía nuclear, 15.8% de energía renovable y 80% de energías fósiles. Esto llama a utilizar las variables de dotación de recursos petroleros e hidrológicos. Al separar la gráfica anterior entre países petroleros (definidos como los que tienen producción petrolera) y no petroleros vemos lo siguiente:

Gráfica 3.9: Nivel de energía según el grado de democracia por tipo de país (valores promedio)



Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos descrita



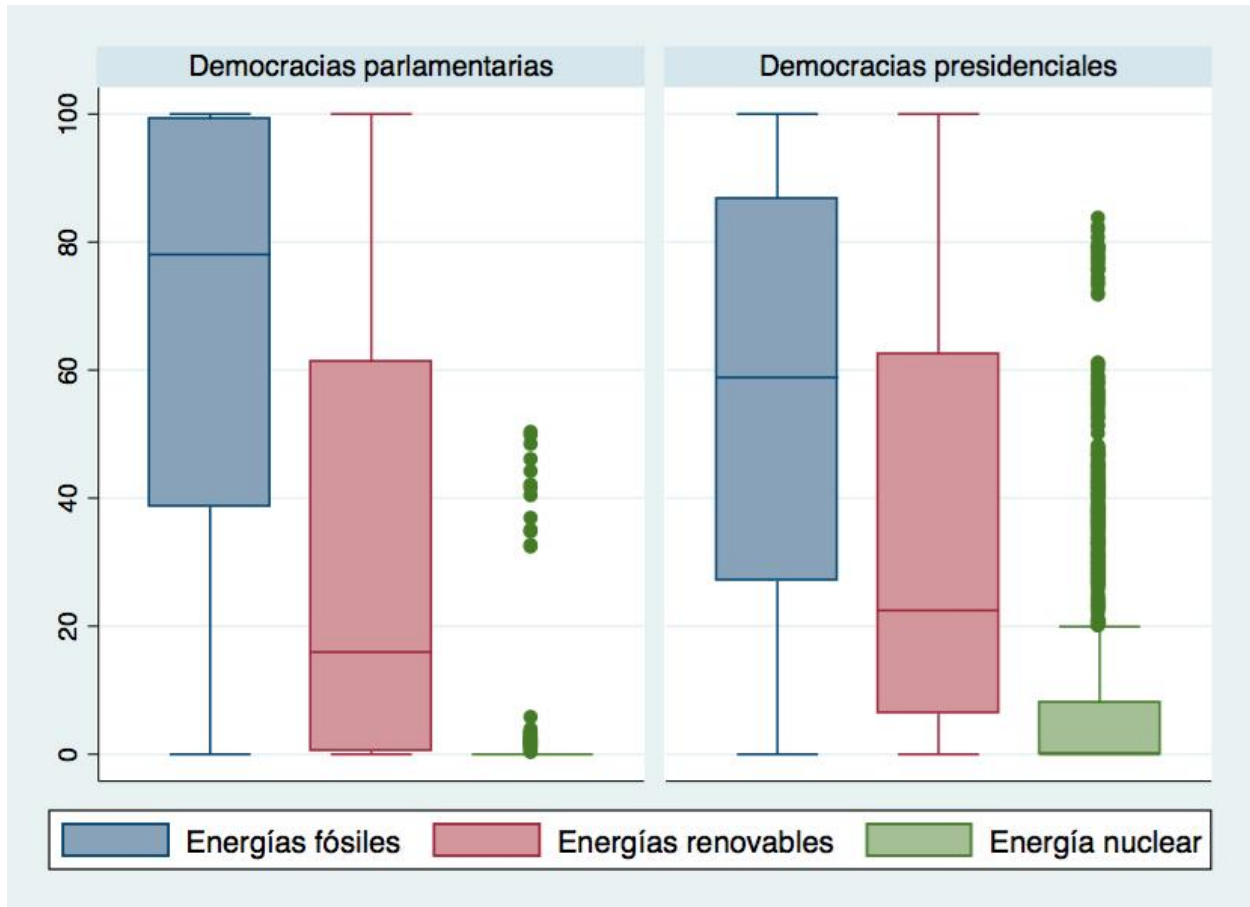


*Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos descrita*

Los gráficos anteriores no sugieren ninguna correlación clara. Las hipótesis que se plantearon proponen que los arreglos institucionales que genera la democracia tienen un impacto positivo en el uso de energías renovables y negativo sobre el de las fósiles. Por otro lado, existen diversos estudios que analizan el impacto del petróleo en la democracia, por ejemplo Ross (2001) concluye que la existencia de reservas abundantes de petróleo tiene un impacto negativo en la democracia, más no es el único elemento que la determina. Todo lo anterior muestra la importancia de tener como control la variable de producción petrolera en el análisis econométrico. A su vez, las gráficas anteriores, tal como las que se han venido postulando en esta sección, tienen un carácter descriptivo y las conclusiones estadísticas sólo se generarán con los modelos econométricos.

Gráfica 3.10:

Tipo de energía para generación eléctrica, según el tipo de sistema político

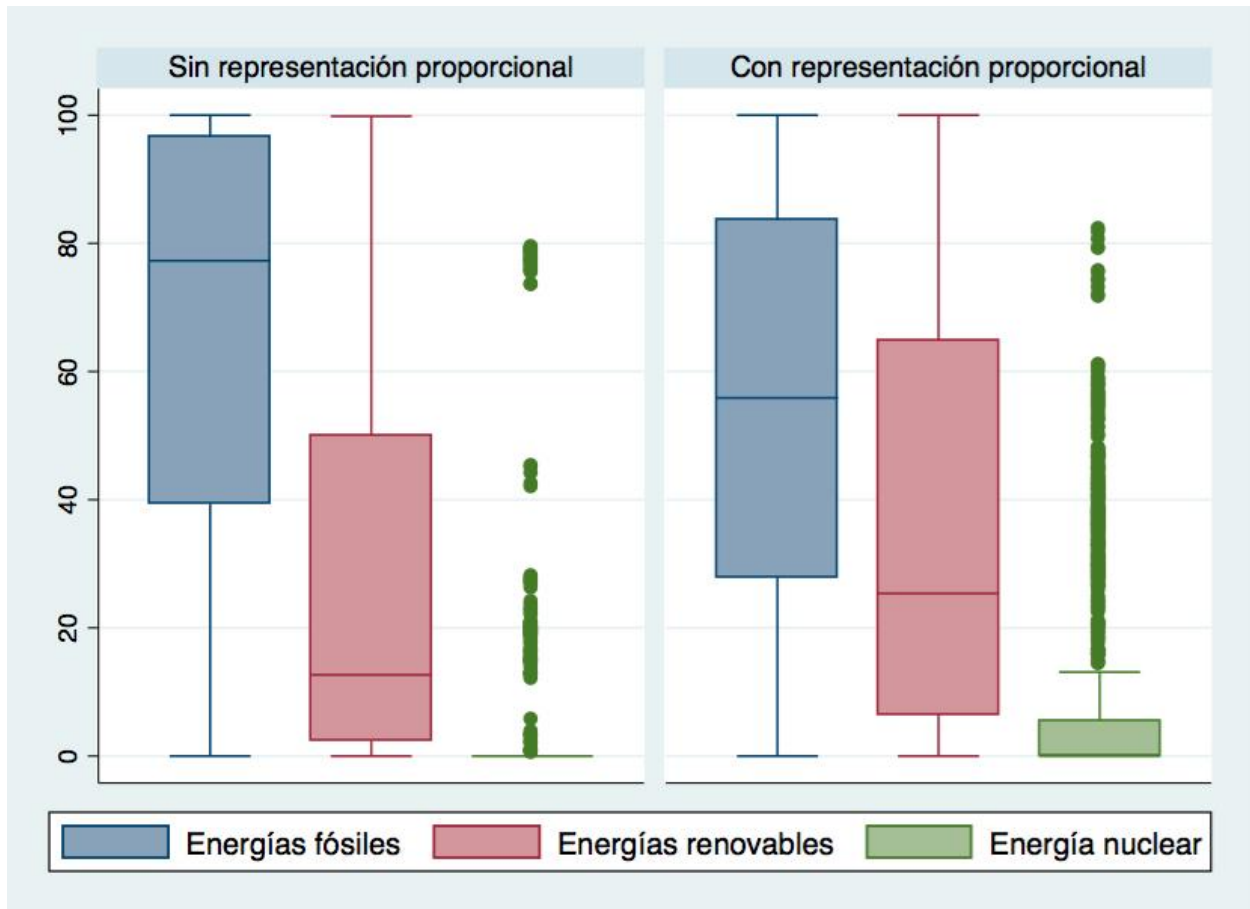


Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos descrita

La gráfica 3.10 muestra la distribución de los valores que toma los tipos de energía en cuestión según el tipo de sistema. Podemos ver que las energías fósiles son más comunes en democracias parlamentarias. A su vez, el promedio de las energías renovables es mayor en las democracias presidenciales. En materia de la energía nuclear, se puede ver que las democracias presidenciales también tienen un mayor porcentaje que las parlamentarias. Lo anterior podría llegar a sugerir que el efecto de la calidad del medio ambiente global, es decir, el calentamiento global, podría llegar a dominar sobre el efecto de las externalidades negativas locales producidas por éste tipo de

energía. Aún ante ello, es necesario controlar por los efectos de riqueza, recursos naturales y producción petrolera para concluir de forma más determinante el efecto de cada variable.

Gráfica 3.11: Nivel de energía según el tipo de regla electoral



El gráfico anterior muestra nuevamente que la representación proporcional parece ser un aliciente para el uso de energías renovables y nucleares, mientras que inhibe el porcentaje de uso de energías fósiles.

Ahora bien, se procede a elaborar los tres modelos estadísticos que se propusieron para aproximar lo que se ha venido mencionando. Los principales resultados de los modelos se pueden ver en la siguiente tabla, y el apéndice A.3 los muestra a detalle

Cuadro 3.12. Porcentaje de energía eléctrica producido según fuente de energía como función de dotaciones iniciales de recursos, características sociales, económicas y régimen político.

**Modelos con rezagos**

	Modelo generalizado lineal (GLM por sus siglas en inglés)		Modelo Panel con errores estándares corregidos (PCSE por sus siglas en inglés)		
	% Energía eléctrica producida con combustibles fósiles	% Energía eléctrica producida con energías limpias	% Energía eléctrica producida con combustibles fósiles	% Energía eléctrica producida con energías renovables	% Energía eléctrica producida con energía nuclear
Comercio (-10)	-0.00021471	0.00174436	.00067773**	-.00048979*	-0.00016115
IED (-10)	-0.00826567	0.00418238	-.00624769**	.00571933**	0.00019154
Comercio*IED (-10)	.00009568***	-0.00002627	.00005272**	-.00004523**	-0.000003548
Patentes (-10)	9.530e-07**	1.174E-09	6.449e-07***	-1.073e-06***	3.212e-07***
Gasto gubernamental (-5)	-0.008697	-0.00530511	0.00017358	-0.00151703	0.00084389
Democracia (-5)	0.02793657	0.02734548	.00859574***	-.01068077***	0.00094103
Representación proporcional* Democracia (-5)	-0.00891988	0.00079649	-0.00453456	.0103126***	-.00325293***
Presidencialismo* Democracia (-5)	-0.03127428	-.03712871**	-.01329559***	.01640381***	-0.00100135
RP*Presidencialismo* Democracia (-5)	0.01713756	0.02144288	0.00092362	-0.00737205	.00298196***
Educación (-15)	-.00829573***	0.00069095	-.0028095***	.00297632***	0.00001107
Edad	-0.01138051	.04475187**	-.00810803***	.01333669***	-.0043642***
Precipitaciones promedio	-0.00056267	0.00027896	-.0001163***	.00013074***	-.00001451***
PIB per cápita	8.077E-07	0.000002597	-5.474e-06***	3.706e-06***	0.000001054
Producción petrolera	-19138.145	54216.104**	7620.2515***	-5102.89***	-1794.445***

*Cuadro 3.13: Resultados del modelo PCSE de regresión (coeficientes y significancia)*  
**Modelo sin rezagos**

	% Energía eléctrica producida con <b>combustibles fósiles</b>	% Energía eléctrica producida con <b>energías renovables</b>	% Energía eléctrica producida con <b>energía nuclear</b>
Comercio	.00098863***	-.00090457***	-.00042576***
IED	0.00010547	0.00004346	-0.00031196
Comercio*IED	-3.032E-07	-3.801E-07	0.000001112
Patentes	5.635e-07***	-9.784e-07***	9.978E-08
Gasto gubernamental	0.00073565	-.00272559***	0.00058761
Polity score	0.00277772	-.0085249***	.0017233**
Representación proporcional*Democracia	-.00721098**	.01306917***	-0.00178942
Presidencialismo*Democracia	-0.00157908	.00742267*	-.00162106*
RP*Presidencialismo*Democracia	-0.00257677	-0.00062817	0.00205565
Educación	-.00278926***	.00224334***	0.00043401
Edad	-.01112168***	.0146262***	-.00411361***
Precipitaciones promedio	-.00006249***	.00007755***	-.00001646***
PIB per cápita	-2.253e-06**	2.397e-06***	6.735E-07
Producción petrolera	10502.521***	-8231.5993***	-2370.3278***

En términos de los modelos en general, éstos son significativos ya que la prueba de Wald hace que se pueda asegurar que los coeficientes de las variables independientes no son simultáneamente igual a cero (apéndice A.3).

Los modelos sin rezagos se presentan únicamente con el fin de tener un comparativo con respecto a los demás modelos. Debido a que los mecanismos no se dan de manera inmediata, las conclusiones deben de desprenderse de los modelos que plantean un desfase temporal.

Antes de proceder a ver conclusiones de los modelos de regresión es necesario recalcar que las variables dependientes que están bajo análisis son de suma uno; es decir, un decremento en el uso de algún tipo de energía implicará un aumento en el uso de otro tipo de energía. Esto se refleja en las distintas especificaciones, siendo útil para la discusión el comparar, por ejemplo, el porcentaje

de energías fósiles vs las que no lo son, o entender el porcentaje de renovables no nucleares que se usan, o el porcentaje de energía que viene de fuentes nucleares.

En términos de la significancia de cada coeficiente y su magnitud de los modelos GLM planteados se puede ver lo siguiente:

- La dotación inicial de recursos naturales no parece tener efectos significativos sobre las decisiones de generación eléctrica
- Parece ser que la variable interactiva entre comercio e inversión extranjera directa tiene un impacto positivo en el uso de energías fósiles, hecho contrario a lo que se propuso de manera teórica. El tener una mayor intensidad del comercio internacional e inversión extranjera hace que los países elijan tener más energías fósiles, no menos.
- Las patentes son significativas al 99% en el modelo de las energías fósiles. Contrario a lo que se planteó en el modelo teórico, un aumento en el número de patentes registradas en el país aumenta el uso de energías fósiles.
- El efecto de las instituciones políticas, en particular el de la interacción entre presidencialismo y democracia resulta significativo. Con un nivel de confianza del 95% se puede ver que los sistemas presidenciales y democráticos inhiben el uso de energías limpias (renovables y nuclear), y por lo tanto aquellos regímenes no presidenciales y no democráticos tienden a tener un mayor porcentaje de energías renovables.
- Sobre el efecto de la composición del electorado, países con poblaciones de mayor edad promedio y de mayor educación promedio tienden a tener más energías renovables, esto ya controlando por su PIB per cápita.

Las regresiones con el método de PCSE, que a comparación del método GLM no considera que las variables sean de suma uno, es decir, éstas son tratadas de manera independientes, dan resultados compatibles pero con algunas diferencias importantes:

- El papel de la dotación inicial de **recursos naturales** aparece con mayor claridad y muestra a cada país aprovechando sus ventajas comparativas. Países con mucha lluvia tienden a generar un mayor porcentaje de su electricidad con fuentes renovables, pues es la hidroelectricidad la principal energía renovable. De la misma manera, países con mayores dotaciones de hidrocarburos (proporcional a su PIB) tienden a favorecer generación eléctrica con combustibles fósiles. Aquellos que no tienen ni una ni otra tienden a favorecer la energía nuclear, dada la estructura de sus instituciones políticas. Por otro lado, *caeteris paribus*, países más ricos favorecerán el uso de energías renovables.
- Los efectos del **comercio** siguen siendo contrarios a la hipótesis planteada. Entre mayor comercio tiene un país más favorece las energías fósiles vs las energías renovables, controlando por su dotación inicial de hidrocarburos.
- Respecto al efecto de la **inversión extranjera directa**, con un grado de confianza del 95% se puede afirmar que a mayor inversión, mayor porcentaje de energías renovables en una economía. Esto es evidencia a favor de la hipótesis que liga la transferencia tecnológica en temas de energías renovables con la inversión directa como su forma privilegiada.
- En cuestión del uso de las **patentes**, los efectos surgieron en el sentido opuesto al planteado de manera teórica. El modelo indica que un aumento en el número de patentes mueve el balance de energías hacia las energías fósiles. Es interesante que esto se refuerce con ambos modelos econométricos. Aparentemente la innovación puede ser tan importante para la generación eléctrica con fuentes fósiles como renovables.

- En materia del **gasto gubernamental** éste no resulta significativo en ninguno de los modelos. Esto se puede deber a que la variable no muestra de manera directa la participación del gobierno en proyectos de investigación. Lo anterior será abordado más a detalle en el último capítulo de la investigación.
- En materia de **instituciones políticas** los resultados son importantes y significativos. La democracia mueve la elección de energías hacia las renovables, y dentro de las democracias las presidenciales lo aumentan más que las parlamentarias y las de representación proporcional más que las de sólo mayoría.
- En materia de **energía nuclear**, las democracias con representación proporcional tienden a elegir menos esta opción que las democracias con Congresos sólo de mayoría, dada una determinada dotación de recursos. El tener a grupos de minorías representados parece cambiar el balance observado.
- Las variables que describen la situación **social** del electorado muestran el mismo patrón. La mayor educación promedio es un aliciente para el uso de energías limpias e inhibe el uso de energías fósiles. Por otro lado, una mayor edad promedio del electorado también parece exigir más energías renovables, mientras que inhibe el uso de la energía nuclear y fósil.

### **Post-estimación**

Una de las partes más importantes del análisis estadístico es mostrar algunas de las predicciones del modelo planteado. Esto, dará pauta y solidez a las conclusiones que se presentan en el siguiente y último capítulo.

La tabla 3.14 predice el porcentaje de energía fósil, renovable y nuclear, utilizando los resultados del modelo PCSE con rezagos, que tendría un país bajo los diferentes tipos de arreglos



institucionales. Dichas predicciones se toman usando el valor promedio de las otras variables consideradas en la regresión.

*Tabla 3.14: Predicción de uso de energías según el tipo de arreglo institucional<sup>11</sup>*

	% Energía eléctrica producida con combustibles fósiles	% Energía eléctrica producida con energías renovables	% Energía eléctrica producida con energía nuclear
Democracias con regímenes presidenciales	45%*	48%*	6%
Democracias con regímenes parlamentarios	59%*	31%*	7%
Democracias con representación proporcional	54%	39%*	7%*
Democracias sin representación proporcional	57%	28%*	10%*
Países no democráticos	68%*	24%*	6%

*NOTA: \* variables significativas estadísticamente*

Las instituciones políticas juegan un papel de alta importancia en el uso de energías. Podemos ver que un país en democracia presidencialista tiene un efecto positivo en el uso de energías renovables, negativo en el uso de energías fósiles y no significativo en materia de las energías nucleares. Por otro lado, la representación proporcional en democracia tiene un efecto positivo en el uso de energías renovables y negativo en el de la energía nuclear. De manera teórica, basado en las teorías de Bruce Bueno de Mesquita (2003); Fredriksson y Svensson (2002); Congleton, 1992, Murdoch y Sangler, 1997; López y Mitra, 2000, entre otros, se había propuesto ese efecto para el uso de energías renovables y fósiles y este estudio encuentra evidencia a favor. En cuestión de la energía nuclear se habían propuesto dos efectos, el de inhibir la energía nuclear por las externalidades negativas que genera y su promoción debido a la solución que plantea frente al cambio climático. Los datos muestran que el primer efecto es el que domina.

<sup>11</sup> Valor promedio de: comercio(47.94), IED (4.07), comercio\*IED(195.2), patentes(13,565), gasto (10.5), educación (14.86), edad (29.53), precipitaciones (758), PIBpc (8,038), producción petrolera (3.08)

Otro de las estimaciones que resultan interesantes, es ver cómo cambia el uso de energías renovables en democracias presidenciales y democracias con representación proporcional cuando el comercio, inversión extranjera directa y educación aumentan en 10% arriba del promedio. La tabla 3.14 muestra dichos efectos.

*Tabla 3.14: Uso de energías renovables en democracias con un cambio en variables independientes*

	% Energía eléctrica producida con energías renovables en democracias presidenciales	% Energía eléctrica producida con energías renovables en democracias con representación proporcional
Promedio	48%	39%
10% adicional en comercio	47%	38%
10% adicional en IED	52%	43%
10% adicional en educación	53%	44%

Los resultados que se muestran en la tabla 3.14 muestran los efectos esperados en materia de inversión extranjera directa y educación. Es decir, se había planteado que un aumento en los flujos monetarios del extranjero y el nivel educativo del país aumenten el uso de energías renovables. El efecto del comercio, aunque es pequeño en orden de magnitud, resulta contrario al esperado.

## **V. Conclusiones e implicaciones**

El cambio climático es un problema ambiental global que podría tener serias repercusiones en materia ambiental, social, económica y política para nuestro futuro de mediano y largo plazo. Se puede esperar que, de continuar el alza constante en las emisiones de gases de efecto invernadero observaríamos un aumento de la temperatura promedio global, lo cual tendrá efectos en el aumento del nivel de los mares, el cambio en el hábitat de especies, la frecuencia y dureza de los desastres naturales, entre otros problemas. Esto implica que la producción de bienes y servicios podría ser afectada a gran escala, lo que desembocaría en una cascada de problemas políticos y sociales con consecuencias duraderas, especialmente entre los países de menores ingresos.

El combate al cambio climático tiene una serie de dificultades propias de los recursos de uso común, de los bienes públicos, que hacen que los gobiernos, empresas e individuos no puedan enfrentarlo con los mecanismos tradicionales con que atienden otros problemas, como los de salud o productividad, por ejemplo. Instituciones académicas y de gobierno que han estudiado el tema han planteado una serie de nuevos mecanismos económicos, regulatorios y tecnológicos como posibles soluciones graduales, sin embargo, lo básico en ellos es encontrar una forma de disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> sin sacrificar producción. De manera consistente, en los acuerdos internacionales recientes la gran mayoría de los países, México entre ellos, se han comprometido de manera voluntaria y condicional a alcanzar metas ambiciosas de reducción de emisiones tanto en el mediano como en el largo plazo, con uno o varios de estos mecanismos.

Entre los sectores de mayor interés para la política climática está la generación eléctrica. Para entender mejor el proceso de toma de decisiones que lleva a una reducción de gases de efecto invernadero en este sector, el presente trabajo de investigación busca entender cuáles son los determinantes para que un país utilice un mayor porcentaje de energías limpias. El entender esto

permite entender el ritmo de una migración energética, tras el abandono del uso de los combustibles fósiles, causantes de gran parte de las emisiones de CO<sub>2</sub> y fuente principal de energía en el mundo actual, al uso de combustibles provenientes de energías renovables y nucleares.

Tras una revisión de la literatura, y basado en el análisis del mercado de la energía de un país, el presente trabajo optó por incorporar un análisis tridimensional: económico, político y social. Entender qué factores políticos, sociales y económicos promueven el uso de energías limpias permite tener un entendimiento holístico, como brindar diversas herramientas que puedan ser utilizadas para combatir el cambio climático.

El modelo teórico de economía abierta postulado incorporó la incertidumbre de la inversión en un bien tecnológico, teorías de elección racional y la Teoría del Selectorado para plantear una serie de hipótesis entorno al uso de energías renovables. Con el modelo se postula que el mercado de energías renovables se desarrollará en la medida que aumente el gasto gubernamental en investigación y desarrollo y la protección a las patentes, elementos que inhiben las fallas del mercado tecnológico. A su vez, la inversión extranjera directa y el comercio ampliarían el flujo de recursos y conocimiento dentro de un país, estarán reduciendo los costos de incorporar nueva tecnología, y como consecuencia, disminuyendo su precio.

Abordando el tema político e institucional se concluyó que coexisten dos elementos principales que promueven que el porcentaje de las energías fósiles vs las limpias converja a su óptimo: calidad inicial del medio ambiente local e instituciones que fortalecen los derechos de propiedad. A partir de la Teoría del Selectorado (2003) se construye la hipótesis de que los regímenes presidenciales y reglas electorales de representación proporcional tenderán a generar en sus países un mayor porcentaje de energías limpias. Por otro lado se encontró en la literatura que la corrupción, como

principal fuente para disminuir el respeto a los derechos de propiedad, puede ser disminuida por un mayor grado de democratización.

Por último se propone que la edad, la participación política y la educación son determinantes importantes en la decisión de mezcla energética pues generan que la demanda por una mejor calidad del medio ambiente sea mayores.

Las pruebas empíricas nos permiten concluir que efectivamente hay diversos factores que ayudan a la expansión de éste tipo de tecnologías. Se concluyó que a mayor nivel de democracia, como elemento que fomenta el respeto a los derechos de propiedad y el acceso a la información, incrementa el porcentaje de energías no-fósiles. De la misma manera, la recepción de flujos de ingresos internacionales, la educación y edad del electorado, tiene un efecto positivo en el uso de energías eólica e hidráulica, por dar un ejemplo de aquellas consideradas como renovables, mismo que a su vez inhibe el uso de energías fósiles. Dentro de la democracia, se encuentra que las presidenciales tienen, en promedio, un mayor uso de energías renovables que las democracias parlamentarias. A su vez, comparando el efecto de las democracias con y sin representación, se puede ver que las primeras tienen un mayor uso de las energías en cuestión. Lo anterior, respalda lo estipulado de manera teórica en donde se dijo que este tipo de regímenes cuentan con coaliciones ganadoras de mayor tamaño, y por lo tanto tienen mayores incentivos a brindar bienes públicos.

En cuestión de la energía nuclear, no resultaron importantes las mismas variables que en el caso de las energías renovables. Ciertamente cuando un país cuenta con alta precipitación, y por lo tanto alto potencial hidroeléctrico, la opción de energía nuclear es menos visitada. Respecto a las variables institucionales las pruebas muestran que la variable más importante para explicar el incremento en el porcentaje de energía nuclear utilizada es el respeto a los derechos de propiedad,

aproximado por la variable de número de patentes. Esto es consistente con la idea de la incertidumbre asociada a la inversión en proyectos tecnológicos inhibe el uso de tecnologías más innovadoras. En materia del componente institucional, parece ser que el efecto que domina es el de inhibir éste tipo de energía debido a las externalidades que genera y por ende fomentar el de las renovables. Esto puede verse especialmente con la variable que refleja a las democracias con y sin representación proporcional. Se encuentra que las primeras tienden a tener un mayor porcentaje de energías nucleares, es decir, conforme los países tienen reglas electorales que agrandan la coalición ganadora (siguiendo la Teoría del Selectorado) se inhibe el uso de energías nucleares.

En detalle, los resultados del análisis estadístico muestran que el flujo de ingresos proveniente del extranjero sí es relevante en el análisis. Recordando lo que el modelo teórico, planteado en el capítulo III, establece, se dice que para analizar la inversión en un bien tecnológico, éste es una condición que facilitaba el desarrollo de tecnologías en un país. Ésta variable se utilizó como otra aproximación a lo que se quería reflejar, ante ello el hecho de que no sea significativa no altera la validez de los resultados con respecto a la teoría planteada.

En materia de los arreglos institucionales, el modelo empírico muestra que el presidencialismo y la representación proporcional son elementos alicientes al uso de energías renovables, tal como ya se mencionó. Dado lo postulado de manera teórica, además de ser evidencia del efecto benéfico en el uso de dichas energías, abre nueva evidencia para dar soporte a la teoría de Bruce Bueno de Mesquita (2003), en donde se establece que el tamaño de la coalición ganadora (número de personas que tienen influencia en la selección de los gobernantes) es clave para entender la provisión de bienes públicos, ya que entre mayor sea ésta, mayor será la provisión.

Ahora bien, existen ciertos resultados que arroja el modelo empírico que no van de la mano a lo postulado teóricamente. El primero de ellos es que el efecto del gasto gubernamental no es significativo en ninguno de los modelos que se planteó. La variable utilizada captura el gasto gubernamental en todos los rubros, más no en desarrollo de tecnologías en específico, esto debido a la falta de disponibilidad de datos para lo último. Así que el gasto gubernamental total, medido como porcentaje del PIB, no parece tener ningún efecto en la elección de tecnologías en energía. ¿Lo tendrá el gasto específico en tecnologías e innovación? No sabemos, no se pueden derivar conclusiones determinantes sobre el tema, sin embargo, abre la puerta a futuras investigaciones.

Otra contradicción que resulta interesante en materia teórica-empírica es que las patentes (medidas como número de patentes registradas) no mostraron el efecto predicho de manera teórica. Esto se puede deber a que la estructura patentes no sirven sólo para la producción tecnológica de energías renovables, sino que impulsan por igual el desarrollo de mejores tecnologías para el desarrollo de energías fósiles. Los avances recientes en la generación con gas natural usando ciclo combinado son un ejemplo.

En México, con una calificación de democracia de 8, representación proporcional y régimen presidencial, esperamos que nuestro crecimiento de energías limpias sea mayor que el de otros países de Latinoamérica, principalmente debido al nivel de desarrollo democrático y económico que el país tiene. Hoy en día se tiene un ~14% de generación eléctrica renovable y ~6% de mediante energía nuclear<sup>12</sup>. ¿Crecerán estos niveles? Vemos que el *polity score* ha subido en los últimos años (de 0 en 1995 a 8 en 2015), y las tendencias económicas proyectadas por Banco Mundial muestran una visión positiva para México en el mediano y largo plazo en términos

---

<sup>12</sup> Datos para 2012, Banco Mundial

económicos<sup>13</sup>, ante ello, se podría esperar un crecimiento. Por último, hoy en día la Ley de la Industria Eléctrica y la Ley de Transición Energética plantean que México llegue a tener mínimo 35% de energías limpias para mitades de la próxima década, hecho que resulta complicado pero, acorde al modelo planteado, si México continúa con el proceso democrático, fomenta las políticas educativas, continúa atrayendo capital extranjero y fomenta la participación del gobierno en proyectos de inversión tecnológica, podríamos aspirar a acercarnos más a ellas.

Uno de los pilares de ésta investigación fue abrir las puertas a desarrollar políticas públicas que aumenten el uso de energías que no emitan gases de efecto invernadero. Resulta claro los gobiernos no pueden cambiar ciertos arreglos institucionales con facilidad, tal como el caso del presidencialismo y la representación proporcional. Así mismo, los gobiernos no pueden elaborar políticas para aumentar la dotación de recursos naturales con los que cuenta un país. Aún a pesar de lo anterior la educación, las patentes, la inversión extranjera directa y la democracia sí son elementos que pueden ser fomentados por un determinado gobierno, y por ende, desarrollar políticas públicas basadas en ello. Tendrán como beneficio indirecto un patrón de generación eléctrica con menos gases de efecto invernadero.

Lo que existe detrás del concepto de educación es un mayor conocimiento acerca de la problemática ambiental. Ello hará que se canalicen mayores demandas por políticas públicas que combatan el cambio climático. Esto resalta la importancia que puede tener un electorado en las democracias avanzadas. Políticas públicas de aumento a la calidad educativa pueden fomentar de manera indirecta una conciencia ambiental que se canalice, en países democráticos, en una mayor demanda por energías limpias.

---

<sup>13</sup> *Mexico economic overview*, Banco Mundial



Las patentes y la inversión extranjera directa van de la mano debido a un concepto clave que reside en ambas: la certidumbre. Los gobiernos pueden fomentar campañas de promoción acerca de los beneficios que tiene invertir en dicho país. A su vez, políticas para facilitar el registro y respeto de invenciones y desarrollos tecnológicos dará pauta a un aumento en el número de patentes, mismo que brinda señales de estabilidad y certidumbre. Todo lo anterior son ejemplos de acciones que puede emprender el gobierno y tendrán un impacto positivo en el uso de energías limpias.

Se puede argumentar que la democracia tiene una serie de implicaciones en la vida política y social de un país. Un mayor grado de democracia hace que el flujo de información en una sociedad vaya en aumento debido a los propios incentivos y beneficios que tienen los ciudadanos y políticos en éste sistema. A su vez, la democracia fomenta la creación de agrupaciones dentro de las cuales hay ciudadanos con intereses en común y que generan presiones por cierto tipo de políticas públicas. Otro elemento de la democracia es que tiene una serie de mecanismos que inhiben la corrupción y con ello los derechos de propiedad se respetan en mayor medida.

Todo lo anterior tiene serias consecuencias en materia ambiental. El flujo de información hace que los ciudadanos estén más conscientes del cambio climático y las acciones que se hacen con respecto a ello, debido a que detrás de ello se encuentra el concepto de un bien público. A su vez, el fomento a la asociación propio de una democracia permite que se creen grupos ambientales que exijan un mayor número de políticas públicas a favor del medio ambiente. El diseño de la democracia, ya sea presidencial/parlamentario y con/sin representación proporcional parece ser un importante elemento para que estas mismas exigencias se canalicen en políticas enfocadas a proveer bienes públicos, tales como la calidad del medio ambiente. Por último, el respeto a los derechos de propiedad es un concepto clave en materia del respeto a las iniciativas y programas que son impulsados en un país.

El fomento a las políticas públicas en materia de educación, certidumbre y desarrollo y fomento democrático hará que los gobiernos generen una serie de *spillovers* ambientales. Es decir, no solo tendrán los beneficios directos que estas políticas generan sino que también estarán combatiendo el cambio climático de manera indirecta mediante la creación de incentivos para el uso de energías limpias.

El papel de los ciudadanos en el combate al cambio climático es central. Se debe de fomentar un mayor grado de consciencia acerca de las acciones de cada uno de nosotros. La participación conjunta, activa y constante en la vida de los países hará que la calidad del medio ambiente, de la vida de cada ciudadano del mundo, sea cada vez mejor.

## Apéndice

### A.1 Resolución del modelo teórico

Suponemos un modelo donde la inversión tiene un riesgo. Con probabilidad  $\theta$  la inversión es exitosa y se produce en el segundo periodo ( $F(K_2)$ ). Por otro lado, con probabilidad  $(1 - \theta)$ , la inversión fracasa y en el segundo periodo no se produce nada. La economía doméstica pide prestado  $D^*$  para financiar la inversión y ahorra  $S^*$  para asegurar el consumo en el segundo caso.

Problema del agente: maximizar su utilidad esperada.

$$\max\{u(C_1) + \beta[\theta u(C_2^m) + (1 - \theta) u(C_2^{nm})]\} \quad (1)$$

$$s. a. C_1 + K_2 + S^* = F(K_1) + D^* \quad (2)$$

$$C_2^m = F(K_2) + (1 + r^*) - (1 + \hat{r})D^* \quad (3)$$

$$C_2^{nm} = (1 + r^*)S^* \quad (4)$$

$$D^* \geq 0 \quad S^* \geq 0 \quad (5)$$

Donde  $r^*$  es la tasa de interés (exógena) a la que puede ahorrar en el mercado internacional y  $\hat{r}$  es una tasa de interés específica del país (endógena) a la que puede pedir prestado en el mismo mercado.

Si tenemos una dotación inicial de capital suficientemente chica y la utilidad marginal de cero es suficientemente grande, garantizamos que el ahorro será positivo y el préstamo para financiar la inversión también lo será.

El lagrangeano y las condiciones de primer orden quedan dadas por las siguientes ecuaciones.

$$L = u(C_1) + \beta[\theta u(C_2^m) + (1 - \theta)u(C_2^{nm})] + \lambda_1 [C_1 + K_2 + S^* - F(K_1) - D^*] \quad (6)$$

$$-\lambda_2^m [C_2^m - F(K_2) - (1 + r^*)S^* + (1 + \hat{r})D^*] - \lambda_2^{nm} [C_2^{nm} - (1 + r^*)S^*]$$

CPO:

$$\lambda_1 = u'(C_1) \quad (7)$$

$$\beta\theta u'(C_2^m) - \lambda_2^m = 0 \quad (8)$$

$$\lambda_2^{nm} = \beta(1 - \theta)u'(C_2^{nm}) \quad (9)$$

$$\lambda_1 = (\lambda_2^m + \lambda_2^{nm})(1 + r^*) \quad (10)$$

$$-\lambda_1 + \lambda_2^m F'(K_2) = 0 \quad (11)$$

$$\lambda_1 - (1 + \hat{r})\lambda_2^m = 0 \quad (12)$$

De donde derivamos las siguientes condiciones de optimalidad:

$$\frac{u'(C_1)}{\beta[\theta u'(C_2^m) + (1 - \theta)u'(C_2^{nm})]} = (1 + r^*) \quad \text{Ecuación de Euler} \quad (13)$$

$$\frac{u'(C_1)}{\beta\theta u'(C_2^m)} = f'(K_2) \quad (14)$$

$$\frac{u'(C_1)}{\beta\theta u'(C_2^m)} = (1 + \hat{r}) \quad (15)$$

Por lo tanto la condición de arbitraje queda dada por la siguiente ecuación.

$$f'(K_2) = 1 + \hat{r} \quad (16)$$

En equilibrio se tiene que cumplir que

$$(1 + r^*)D^* = [\theta(1 + \hat{r})]D^* + [(1 - \theta)0] \quad (17)$$

Y de aquí se deriva que la tasa de interés que cobran los intermediarios queda determinada por la siguiente ecuación, la cual incluye una prima de riesgo.

$$\hat{r} = r^* + \left(\frac{1 - \theta}{\theta}\right)(1 + r^*) \quad (18)$$

Dado lo anterior podemos suponer que

$$F'(K_2) = \frac{1+r^*}{\theta} > 1 + r^* \quad (19)$$

Y con las ecuaciones de optimalidad asumimos que

$$\frac{u'(C_1)}{\beta[\theta u'(C_2^m) + (1-\theta)u'(C_2^{nm})]} = (1 + r^*) \quad (20)$$

$$\frac{u'(C_1)}{\beta \theta u'(C_2^m)} = (1 + \hat{r}) \quad (21)$$

Y dado que

$$(1 + r^*) = [\theta(1 + \hat{r})] \quad (22)$$

Podemos garantizar que

$$C_2^m = C_2^{nm} = C_2 \quad (23)$$

Lo cual deriva en que

$$\frac{u'(C_1)}{\beta u'(C_2)} = (1 + r^*) \quad (24)$$

Con el uso de la restricción presupuestal para los tres consumos se obtiene la restricción presupuestal intertemporal que queda dada por la siguiente ecuación

$$C_1 + \frac{C_2}{1+r^*} + K_2 = F(K_1) + \frac{F(K_2)}{1+r^*} \quad (25)$$

Combinando la ecuación de Euler llegamos a que el nivel de consumo queda dado por

$$C_1 = \frac{1}{1+\beta} [F(K_1) - K_2 + \theta \left( \frac{F(K_2)}{1+r^*} \right)] \quad (26)$$

La cuenta corriente del país se puede definir como

$$CA_1 = S^* - D^* \quad (27)$$

$$CA_1 = \left(\frac{\beta}{1+\beta}\right)[F(K_1) - K_2] - \left(\frac{\theta}{1+\beta}\right)\frac{F(K_2)}{1+r^*} \quad (28)$$

Por último, con la participación del gobierno la tasa de interés queda dada por

$$(1 + r^*)D^* = \theta(1 + \hat{r})D^* + (1 - \theta)\alpha(1 + r^*)S^* \quad (29)$$

$$\hat{r} = r^* + \frac{(1-\theta)}{\theta}(1 + r^*)\left(1 - \alpha\frac{S^*}{D^*}\right) \quad (30)$$

## A.2 Pruebas de Hausman, Wald y Wooldridge

Tabla A.2.1: Prueba de Hausman para análisis de diferencias sistemáticas

<b>H0: diferencia en los coeficientes no sistemática</b>
$\chi^2(10) = (b-B)'[(V_b - V_B)^{-1}](b-B) = 2.07$
Prob > $\chi^2 = 0.1498$

Tabla A.2.2: Prueba de Wooldridge para autocorrelación en datos tipo panel

<b>H0: no autocorrelación de primer orden</b>
$F(1, 12) = 13.939$
Prob > F = 0.0004

Tabla A.2.3: Prueba de Wald modificada para heteroscedasticidad

<b>H0: <math>\sigma(i)^2 = \sigma^2</math> para toda i</b>
$\chi^2(15) = 2.2e+32$
Prob > $\chi^2 = 0.0000$

### A.3 Modelos de regresión

Tabla A.3.1: Modelo de regresión para energías renovables PCSE con rezagos

					<b>Número de observaciones</b>	1031
					<b>Número de grupos</b>	86
			<b>Covarianzas estimadas</b>	86	<b>R-cuadrada</b>	0.5142
			<b>Autocorrelaciones estimadas</b>	1	<b>Wald chi2(14)</b>	456.13
			<b>Coefficientes estimados</b>	15	<b>Prob &gt; chi2</b>	0.0000
	<b>Coefficiente</b>	<b>Error estándar</b>	<b>z</b>	<b>P&gt;z</b>	<b>[95% Conf.</b>	<b>Interval]</b>
Comercio (-10)	-.00048979*	0.0002756	-1.78	0.075	-0.0010314	0.000049
IED (-10)	.00571933**	0.0029002	1.75	0.08	-0.0006001	0.0107684
Comercio*IED (-10)	-.00004523**	0.0000272	-1.36	0.174	-0.0000903	0.0000164
Patentes (-10)	-1.073e-06***	1.21E-07	-9.04	0	-1.33E-06	-8.55E-07
Gasto gubernamental (-5)	-0.00151703	0.0019195	-0.88	0.382	-0.0054421	0.0020824
Democracia (-5)	-.01068077***	0.0029899	-3.67	0	-0.0168436	-0.0051234
Representación proporcional* Democracia (-5)	.0103126***	0.0029528	3.54	0	0.0046791	0.0162537
Presidencialismo* Democracia (-5)	.01640381***	0.0041095	4.06	0	0.0086187	0.0247276
RP*Presidencialismo* Democracia (-5)	-0.00737205	0.0046615	-1.55	0.121	-0.0163663	0.0019064
Educación (-15)	.00297632***	0.0007742	3.82	0	0.0014404	0.0044753
Edad	.01333669***	0.0018829	7.13	0	0.0097288	0.0171095
Precipitaciones promedio	.00013074***	0.0000164	7.91	0	0.0000978	0.0001622
PIB per cápita	3.706e-06***	1.05E-06	3.83	0	1.96E-06	6.07E-06
Producción petrolera	-5102.89***	0.0015608	-3.27	0.001	-0.0081663	-0.0020482
Constante	-.00048979*	0.0729886	-2.65	0.008	-0.3367808	-0.0506707



Tabla A.3.2: Modelo de regresión para energía nuclear PCSE con rezagos

					<b>Número de observaciones</b>	1054
					<b>Número de grupos</b>	87
			<b>Covarianzas estimadas</b>	87	<b>R-cuadrada</b>	0.1032
			<b>Autocorrelaciones estimadas</b>	1	<b>Wald chi2(14)</b>	223.54
			<b>Coefficientes estimados</b>	15	<b>Prob &gt; chi2</b>	0.0000
	<b>Coefficiente</b>	<b>Error estándar</b>	<b>z</b>	<b>P&gt;z</b>	<b>[95% Conf.</b>	<b>Interval]</b>
Comercio (-10)	-0.00016115	0.0001044	-1.35	0.177	-0.0003457	0.0000636
IED (-10)	0.00019154	0.0010399	-0.3	0.762	-0.0023528	0.0017235
Comercio*IED (-10)	-0.000003548	6.97E-06	0.26	0.798	-0.0000119	0.0000154
Patentes (-10)	3.212e-07***	1.01E-07	2.97	0.003	1.02E-07	4.98E-07
Gasto gubernamental (-5)	0.00084389	0.0005886	1.29	0.197	-0.0003945	0.0019127
Democracia (-5)	0.00094103	0.0007156	1.18	0.239	-0.0005592	0.002246
Representación proporcional* Democracia (-5)	-.00325293***	0.0009911	-3.32	0.001	-0.0052342	-0.0013493
Presidencialismo* Democracia (-5)	-0.00100135	0.0007021	-1.33	0.182	-0.0023125	0.0004395
RP*Presidencialismo* Democracia (-5)	.00298196***	0.0011275	2.72	0.006	0.0008607	0.0052804
Educación (-15)	0.00001107	0.0003779	-0.19	0.846	-0.0008139	0.0006673
Edad	-.0043642***	0.0010692	-3.95	0	-0.0063169	-0.0021259
Precipitaciones promedio	-.00001451***	4.01E-06	-3.71	0	-0.0000227	-7.00E-06
PIB per cápita	0.000001054	7.85E-07	1.9	0.057	-4.35E-08	3.03E-06
Producción petrolera	-1794.445***	0.0003682	-4.89	0	-0.0025225	-0.0010791
Constante	-0.00016115	0.0439405	4.27	0	0.1016037	0.2738474

Tabla A.3.3: Modelo de regresión para energías fósiles PCSE con rezagos

					<b>Número de observaciones</b>	1054
					<b>Número de grupos</b>	87
			<b>Covarianzas estimadas</b>	87	<b>R-cuadrada</b>	0.5283
			<b>Autocorrelaciones estimadas</b>	1	<b>Wald chi2(14)</b>	261.66
			<b>Coefficientes estimados</b>	15	<b>Prob &gt; chi2</b>	0
	<b>Coefficiente</b>	<b>Error estándar</b>	<b>z</b>	<b>P&gt;z</b>	<b>[95% Conf.</b>	<b>Interval]</b>
Comercio (-10)	.00067773**	0.0002933	2.17	0.03	0.0000622	0.001212
IED (-10)	-.00624769**	0.0032581	-1.39	0.164	-0.0109167	0.0018549
Comercio*IED (-10)	.00005272**	0.0000306	1.12	0.261	-0.0000256	0.0000943
Patentes (-10)	6.449e-07***	1.22E-07	5.52	0	4.36E-07	9.15E-07
Gasto gubernamental (-5)	0.00017358	0.0020148	0.26	0.799	-0.003435	0.004463
Democracia (-5)	.00859574***	0.0033364	2.71	0.007	0.0024884	0.0155669
Representación proporcional* Democracia (-5)	-0.00453456	0.0031994	-1.4	0.162	-0.0107399	0.0018014
Presidencialismo* Democracia (-5)	-.01329559***	0.0043023	-3.18	0.001	-0.0221153	-0.0052504
RP*Presidencialismo* Democracia (-5)	0.00092362	0.0048755	0.11	0.912	-0.0090141	0.0100976
Educación (-15)	-.0028095***	0.0008407	-3.13	0.002	-0.0042789	-0.0009833
Edad	-.00810803***	0.002056	-4.04	0	-0.0123305	-0.004271
Precipitaciones promedio	-.0001163***	0.0000172	-6.65	0	-0.0001484	-0.0000809
PIB per cápita	-5.474e-06***	1.15E-06	-5.46	0	-8.51E-06	-4.01E-06
Producción petrolera	7620.2515***	0.0016569	4.61	0	0.0043838	0.0108786
Constante	.00067773**	0.0796228	12.26	0	0.8204998	1.132616

## **Bibliografía**

- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. 2015. «Ley de Transición Energética.» *Diario Oficial de la Federación*.
- Aidt, Toke S. 2010. "Green taxes: Refunding rules and lobbying." *Journal of Environmental Economics and Management* 31-43.
- Aidt, Toke S. 1998. "Political internalization of economic externalities and environmental policy." *Journal of Public Economics* 1-16.
- Ansuategi, Alberto, and Mart Escapa. 2002. "Economic growth and greenhouse gas emissions." *Ecological Economics* 23-37.
- Bernauer, Thomas; Koubi, Vally. 2000. "Effects of political institutions on air quality." *Ecological Economics* 1355-1365.
- Besley, Timothy, y Stephen Coate. 2003. «Centralized versus decentralized provision of local public goods: a political economy approach.» *Journal of Public Economics* 2611-2637.
- Bimonte, Salvatore. 2002. "Information access, income distribution, and the Environmental Kuznets Curve." *Ecological Economics* 145-156.
- Bueno de Mesquita, Bruce, Alastair Smith, Randolph M. Siverson, y James D. Morrow. 2003. *The Logic of Political Survivor*. England: MIT Press.
- Bueno de Mesquita, Bruce, Bruce James, Randolph M. Siverson, and Alastair Smith. 2008. "Retesting Selectorate Theory: Separating the effects of W from other elements of Democracy." *American Political Science Review* 393-400.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. 2014. «Ley de la Industria Energética.» *Diario Oficial de la Federación*.
- Congleton, R.D. 1992. "Political institutions and pollution control." *Review of Economics and Statistics* 412-421.
- Damania, Richard. 2001. "When the weak win: The role of investment in environmental lobbying." *Journal of Environmental Economics and Management* 1-22.
- Edenhofer, Ottmar, Lion Hirth, Brigitte Knopf, Michael Pahle, Eva Schmid, and Falko Ueckerdt. 2013. "On the economics of renewable energy sources." *Energy Economics*.
- Eikeland, Per Ove, y Saeverund Angvild. 2007. «Market diffusion of new renewable energy in Europe: Explaining front-runner and laggard positions.» *Energy and Environment* 13-36.
- Farzin, Hossein Y., y Craig A. Bond. 2006. «Democracy and environmental quality.» *Journal of Development Economics* 213-235.

- Fredriksson, Per G., Herman Vollebergh, y Elbert Dijkgraaf. 2004. «Corruption and energy efficiency in OECD countries: theory and evidence.» *Journal of Environmental Economics and Management* 207-231.
- Fredriksson, Per G. 1997. «Environmental policy choice: Pollution abatement subsidies.» *Resource and Energy Economics* 51-63.
- Fredriksson, Per G. 1997. «The Political Economy of pollution taxes in a small open economy.» *Journal of Environmental Economics and Management* 44-58.
- Fredriksson, Per G., Eric Neumayer, Richard Damania, y Scott Gates. 2005. «Environmentalism, Democracy and pollution control.» *Journal of Environmental Economics and Management* 343-365.
- Fredriksson, Per G., Xenia Matschke, y Jenny Minier. 2010. «Environmental policy in majoritarian systems.» *Journal of Environmental Economics and Management* 177-191.
- Fredriksson, Per G., y Daniel L. Millimet. 2004. «Comparative Politics and environmental taxation.» *Journal of Environmental Economics and Management* 705-722.
- Fredriksson, Per G., y Daniel L. Millimet. 2004. «Electoral rules and environmental policy.» *Economic letters* 237-244.
- Fredriksson, Per G., y Jakob Svensson. 2003. «Political instability, corruption and policy formation: the case of environmental policy.» *Journal of Public Economics* 1383-1405.
- Griliches, Z. 1980. «R&D and productivity slowdown.» *American Economic Review* 343-348.
- Hanley, Nick, y Jason F. White, Ben Shogren. 2007. *Environmental Economics in Theory and Practice*. United States: Palgrave MacMillan.
- Jaffe, Adam B., Richard G. Newell, y Robert N. Stavins. 2004. «A tale of two market failures.» *Resources for the Future*.
- Kirschgässner, Gebhard, y Friedrich Schneider. 2003. «On the political economy of environmental policy.» *Public Choice* 369-396.
- Loitter, Jeffrey M., y Vicki Norberg-Bohm. 1999. «Technology policy and renewable energy: public roles in the development of new energy technologies.» *Energy Policy* 85-97.
- Lopez, R., y S. Mitra. 2000. «Corruption, pollution and the Kuznets Environment Curve.» *Journal of Environmental Economics and Management* 137-150.
- Maloney, W., y A. Rodriguez-Clare. 2007. «Innovation shortfalls.» *The World Bank Working Papers*.
- Mankiw, N.G., D. Romer, y D.N. Weil. 1992. «A contribution to the empirics of economic growth.» *The Quarterly Journal of Economics* 407-437.

- Mansfield, E. 1988. «Industrial R&D in Japan and the United States: a comparative study.» *American Economic Review* 223-228.
- Marktanner, Marcus, y Lana Salman. 2011. «Economic and geopolitical dimensions of renewable vs. nuclear energy in North Africa.» *Energy Policy* 4479-4489.
- Matutinovic, Igor. 2009. «Oil and the political economy of energy.» *Energy Policy* 4251-4258.
- Michael, Ross. 2011. «Does Oil Hinder Democracy?» *World Politics* 325-361.
- Montinola, Gabriella, y Robert W. Jackman. 2002. «Sources of corruption: a cross-country study.» *British Journal of Political Science* 147-170.
- Murdock, J.C., y T. Sandler. 1997. «The voluntary provision of a public good: the cas of reduced CFC emissions and the Montreal Protocol.» *Journal of Public Economics* 331-349.
- National Aeronautics and Space Administration. 2017. *Global Climate Change*. Último acceso: 19 de 04 de 2017. <http://climate.nasa.gov/index>.
- Netherlands Environmental Assessment Agency. 2012. «Greenhouse gas emission reduction proposals and national climate policies of major economies.»
- Obstfeld, M., y K. Rogoff. 1996. *Foundations of Internatioanl Macroeconomics*. Cambridge: MIT Press.
- Organización de las Naciones Unidas. 1992. «Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.»
- Papke, L.E., y J. Wooldridge. 1996. «Econometric methods for fractional response variables with an application to 401(K) plan participation rates.» *Journal of Applied Econometrics* 619-632.
- Polity IV Project. 2012. «Polity IV: Regime Authority Characteristics and Transition Datasets.»
- Profeta, Paola, Riccardo Puglisi, y Simona Scabrosetti. 2013. «Does Democracy affect taxation and government spending? Evidence from developing countries.» *Journal of Comparative Economics* 684-718.
- Romer, P.M. 1994. «The origins of endogenous growth.» *Journal of Economic Perspectives* 3-22.
- Rose-Ackerman, Susan. 1999. *Corruption and government: causes, consequences and reform*. New York: Cambridge University Press.
- Sawin, J.L. 2004. *Mainstreaming Renewable Energy in the 21st century*. United States of America: Worldwatch Institute.

- Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2013. *Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-30*. Mexico: Gobierno de la República.
- Sokolov, A.P., P.H. Stone, R. Forest, M.C. Sarofim, M Webster, S. Palstev, C.A. Schlosser, y otros. 2009. «Probabilistic forecast for 21st century climate based on uncertainties in emissions (without policy) and climate parameters.» *Global Science Policy Change*.
- Stavins, Robert N. 2009. «Wonderful politics of cap and trade.» *The Environmental Forum*.
- Stern, Nicholas. 2007. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge: Cambridge University Press.
- The World Bank. 2017. «Database of Economic Indicators.»
- . 2017. «Database of Political Indicators.»
- Torsten, Persson, y Guido Tabellini. 1999. «The size and scope of government: Comparative Politics with rational politicians.» *European Economic Review* 699-735.
- Torvanger, Asbjorn, y James Meadowcraft. 2011. «The political economy of technology support: making decisions about carbon capture and storage and low carbon energy technologies.» *Global Environmental Change* 303-312.
- U.S. Department of Energy. August 2016. *2015 Wind Technologies Market Report*. U.S. Department of Energy.
- U.S. Energy Information Administration. 2013. «International Energy Statistics.»
- Vachon, Stephan, y Fredric C. Menz. 2006. «The role of social, political and economic interests in promoting state green electricity policies.» *Environmental science and policy* 652-662.
- Valentine, Scott Victor, y Benjamin Sovacool. 2010. «The socio-political economy of nuclear power development in Japan and South Korea.» *Energy Policy* 7971-7979.
- Waguespack, David Mathew, Johanna Kristin Birnir, y Jeff Schroeder. 2005. «Technological development and political stability: patenting in Latin America and the Caribbean.» *Research Policy* 1570-1590.
- Walker, Gordon. 1995. «Renewable energy and the public.» *Land Use Policy* 49-59.
- Wang, Eric. 2010. «Determinants of R&D investment: the extreme-bounds-analysis approach applied to 26 OECD countries.» *Research policy* 103-116.
- Weitzman, Martin. 2012. «A review of the Stern Review on the Economics of Climate Change.» *Journal of Economic Literature* 703-724.
- Zarnikau, Jay. 2003. «Consumer demand for green power and energy efficiency.» *Energy Policy* 1661-1672.

