



Universidad de San Andrés

Departamento de Economía

Licenciatura en Economía

***Impacto de la política ambiental en el desarrollo de tecnologías
limpias : análisis de la literatura del cambio tecnológico dirigido
y el medio ambiente***

Autor: Zabalo, Micaela

Legajo: 25157

Director de Tesis: Baldrich, Jorge

2018



Universidad de
San Andrés

Universidad de San Andrés

Departamento Académico de Economía

Trabajo de Graduación

**Impacto de la política ambiental en el desarrollo de
tecnologías limpias: análisis de la literatura del cambio
tecnológico dirigido y el medio ambiente**

Alumna: Micaela Zabalo

Legajo número: 25.157

Director: Prof. Jorge Baldrich

Victoria, Buenos Aires, Argentina

Mayo de 2018

Impacto de la política ambiental en el desarrollo de tecnologías limpias: análisis de la literatura del cambio tecnológico dirigido y el medio ambiente

Trabajo de Graduación
Universidad de San Andrés
Micaela Zabalo

Mayo, 2018

Resumen

Existe una amplia literatura sobre el rol de la política ambiental para mitigar el cambio climático. Sus primeros estudios consideran a la tecnología como exógena. Sin embargo, estudios recientes exponen que es esencial la transición a tecnologías menos contaminantes para lograr reducciones significativas de los gases de efecto invernadero. Para ello, se han desarrollado modelos de crecimiento económico con cambio tecnológico endógeno y dirigido. Se plantea que el cambio tecnológico no es neutral y debe dirigirse hacia innovaciones limpias con instrumentos de política ambiental. En esta Tesis se realizará una revisión de la literatura centrándose en tres conclusiones principales. En primer lugar, la intervención temporal del gobierno es suficiente para lograr la transición a tecnologías limpias ya que se generará un *path dependency* que llevará a que las firmas sean más propensas a innovar en tecnologías menos contaminantes y se logre un crecimiento sustentable con el medio ambiente. En segundo lugar, la brecha tecnológica existente, que favorece las tecnologías sucias, aumentará de no actuar inmediatamente y será más costoso en el futuro reducir el cambio climático. Finalmente, la coordinación internacional es indispensable y debe considerar las diferentes fases de desarrollo de los países. El compromiso a nivel global es necesario para lograr reducciones de emisiones de gases significativas y para evitar la creación de refugios de contaminación en los países sin regulaciones.

Contenido:

1. Introducción:.....	3
2. El cambio climático	6
2.1. La evidencia y efectos del cambio climático	7
2.2. La economía del cambio climático	11
3. Cambio tecnológico dirigido y el medio ambiente	16
3.1. Definiendo el concepto de cambio tecnológico dirigido	17
3.2. La política ambiental y <i>path dependency</i>	19
3.3. Principal crítica: <i>efecto derrame</i> de conocimiento	22
3.4. La cooperación internacional	24
4. La evidencia empírica.....	28
4.1. Evidencia empírica: política ambiental y <i>path dependency</i>	29
4.2. Estimaciones de brecha tecnológica e inacción	31
5. Reflexiones finales:	36
6. Bibliografía:.....	39
7. Anexo:	42

1. Introducción:

El cambio climático, producto de la actividad humana, ha cobrado gran relevancia en la escena política global en las últimas dos décadas. Si bien, es un fenómeno que se ha desarrollado desde hace más de un siglo, la evidencia científica es ahora clara y abundante sobre su existencia y su creciente y alarmante efecto sobre la humanidad y la economía. Sus potenciales riesgos son observados con mayor frecuencia, como la existencia de desastres ambientales o el aumento de la temperatura del aire. Estos crecerán si no se toman medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Solucionar la problemática del cambio climático presenta un gran desafío para los hacedores de política y organismos internacionales no solo por la irreversibilidad de sus efectos en las economías, sino también al ser una de las mayores fallas de mercado (Stern, 2006). Es una externalidad negativa que no ha sido internalizada por los privados y donde no existen los incentivos de mercado para presentar soluciones. Es por ello importante entender el rol del gobierno en revertir estos incentivos para poder mitigarlo.

Dentro de las diferentes medidas para disminuir la acumulación de gases en la atmósfera, se considerará en esta Tesis el desarrollo de tecnologías *limpias* en el proceso productivo. Se entiende por tecnologías limpias aquellas que no contribuyen en manera significativa a las emisiones de gases de efecto invernadero, como por ejemplo los motores eléctricos de los autos o aquellas que no dependen del consumo de combustibles fósiles. Poder lograr una transición de tecnologías *sucias* en la actividad productiva a tecnologías limpias es indispensable. Esto se debe a que la utilización de combustibles fósiles en la producción es el mayor contribuyente de las emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. De esta forma, se podría reducir las emisiones de manera significativa en el largo plazo y reducir los costos de mitigar el cambio climático.

Es necesaria la transición a este tipo de tecnologías limpias, pero es costosa y no existen los incentivos para que los privados deseen innovar en ello. Para ello, la investigación y desarrollo debe ser *dirigida* hacia la creación y adopción de estas tecnologías. De esta manera, es relevante el diseño de instrumentos de política ambiental que genere los incentivos para que esto ocurra.

La literatura reciente del *cambio tecnológico dirigido* y el medio ambiente permite entender cómo es posible generar incentivos para estimular la innovación limpia a través de la introducción de política ambiental. Esta intervención del gobierno es solo temporal pues se generará un *path dependency* que llevará a que las firmas sean más propensas a innovar en tecnologías limpias y se genere estabilidad macroeconómica y un crecimiento sustentable con el medio ambiente. Esta conclusión es novedosa y existen estudios que permiten observar estas conclusiones en la industria automotriz (Aghion et al, 2012) y en el sector energético estadounidense (Acemoglu et al, 2014).

Sin embargo, no es suficiente con adoptar medidas unilaterales al ser el cambio climático una problemática con causas y consecuencias globales. De esta forma, se destaca la necesidad de coordinación internacional para poder lograr reducciones significativas de las emisiones de gases de efecto invernadero. Solo con un compromiso colectivo sería posible mitigar los crecientes y alarmantes riesgos del cambiante clima.

Esta literatura coincide con estudios anteriores de la economía y el cambio climático en dos aspectos principales. En primer lugar, estos estudios plantean que es urgente la necesidad de tomar medidas para reducir el calentamiento global por los mayores costos de demorarse en actuar. En segundo lugar, destacan la importancia de la intervención de la política ambiental para lograr cambios significativos debido a que este fenómeno es una de las mayores fallas de mercado observada a nivel global. A diferencia de la literatura previa, los estudios de *cambio tecnológico dirigido* y medio ambiente proponen un escenario más optimista en términos de los costos y complejidad de mitigar el cambio climático al plantear que con políticas temporales que permitan dirigir el cambio tecnológico hacia tecnologías limpias sería suficiente lograr estabilidad macroeconómica y protección ambiental.

La Tesis está organizada de la siguiente manera. En el siguiente capítulo se introducirá el concepto del cambio climático, sus causas, evidencia científica y efectos, y se expondrán las principales conclusiones de la economía del cambio climático. Estas conclusiones serán luego analizadas en el marco de la literatura del *cambio tecnológico dirigido* y el medio ambiente centrándose en la importancia de desarrollar y adoptar tecnologías limpias para reducir el cambio climático. De esta

forma, en el capítulo 3 se explicará el concepto de *cambio tecnológico dirigido* y se explicará el modelo de Acemoglu et al (2012), el modelo más influyente de esta literatura. Se destacará la importancia de las conclusiones de este modelo en el plano internacional y cómo la cooperación global es necesaria. En el capítulo 4 se expondrán los dos principales estudios empíricos de esta literatura en el sector automotriz y energético. Por último, se plantearán las reflexiones finales de la revisión de estos estudios.

No se realizará un análisis exhaustivo de las recomendaciones de política óptima de esta literatura ni un análisis de las estimaciones de costos de políticas ambientales óptimas, alternativas y compararlas con las de la literatura previa porque excede el objetivo de este trabajo de graduación. Es una literatura muy amplia, interesante y controversial que requeriría de estudios adicionales.



Universidad de
San Andrés

2. El cambio climático

En la última década, la conciencia sobre la mitigación del cambio climático ha cobrado relevancia en la escena política internacional debido a las crecientes amenazas y riesgos de este fenómeno para la humanidad y la economía global. En palabras del FMI, “climate change is a threat to every economy and every citizen” (Lagarde, 2017¹).

El cambio climático, provocado por el hombre, es el resultado de las emisiones de gases de efecto invernadero, en especial de dióxido de carbono, que se han ido acumulando en la atmósfera en los últimos 100 años. La vida en la Tierra depende de la energía solar. La mitad de la luz que llega a la atmósfera atraviesa el aire y las nubes hasta llegar a la superficie, donde se absorbe y luego escapa del planeta en forma de calor infra-rojo hacia el espacio. Sin embargo, los gases que se han ido acumulando en la atmósfera retienen el noventa por ciento de este calor que es luego redirigido a la superficie calentando todo el planeta. Los gases, como el dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y clorofluorocarbonos (CFCs), se mantienen en la atmósfera semi-permanentemente sin responder física o químicamente a los cambios de temperatura forzando el cambio climático (NASA).

El calentamiento global ha sido causado por la actividad humana según sostiene el *Fifth Assessment Report* del IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*): “Human influence on the climate system is clear, and recent anthropogenic emissions of greenhouse gases are the highest in history. Recent climate changes have had widespread impacts on human and natural systems” (2014).

Derivado de la actividad industrial, la utilización de combustible fósil como el carbón y el petróleo ha aumentado la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera. En menor medida, la deforestación para expandir las tierras cultivables, la industria y otras actividades humanas han contribuido a aumentar las concentraciones de gases de efecto invernadero. Este fenómeno supone efectos irreversibles a la producción económica global, a la humanidad y al medio ambiente. Su evidencia es clara y alarmante y se espera que continúen creciendo los impactos negativos del

¹ Palabras de Christine Lagarde en su discurso “A Time to Repair the Roof” en la Universidad de Harvard en octubre del 2017. Discurso disponible en: <https://www.imf.org/en/News/Articles/2017/10/04/sp100517-a-time-to-repair-the-roof>. Se ha recurrido al link por última vez el 17/05/2017.

cambio climático en la medida en que no se adopten acciones para reducirlo. En la próxima sección se revisará la evidencia científica y sus principales efectos. Luego, se destacarán las principales conclusiones de la literatura económica en relación a este fenómeno.

2.1. La evidencia y efectos del cambio climático

Entender el sistema climático es complejo. Sin embargo, hay un consenso global sobre la existencia del cambio climático. Los estudios científicos publicados en las últimas décadas indican que sus impactos negativos y amenazas son significativos y propensos a crecer con el tiempo:

“Warming of the climate system is unequivocal, and since the 1950s, many of the observed changes are unprecedented over decades to millennia” (IPCC, 2014).

Como fue expuesto anteriormente, la principal causa del calentamiento global es la creciente acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Las emisiones de dióxido de carbono actuales son mayores que hace 650 mil años. Según datos de la NASA, los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera han aumentado de 280/1000000 a 400/1000000 en los últimos ciento cincuenta años. Puede observarse la evolución de las emisiones de dióxido de carbono en la figura 1.

Figura 1: Evolución de las emisiones de dióxido de carbono



Fuente: NASA (2018) con datos sobre casquetes glaciales de Vostok y registro de dióxido de carbono de NOAA Mauna Loa

La data que ha sido recolectada y analizada en las últimas décadas muestra claros signos de un clima cambiante. El clima en el planeta Tierra ha sufrido continuas modificaciones. En los últimos 650 mil años se han desarrollado siete ciclos de avance y retirada de los glaciares. La última era del hielo ha sido hace siete mil años atrás dando lugar al sistema climático moderno. Según la NASA estos cambios en el clima son producto de variaciones pequeñas en la órbita de la Tierra que modifican la cantidad de energía solar que llega al planeta. Sin embargo, luego de analizar la evidencia del clima paleolítico (en los anillos de los árboles, sedimentos de los océanos, corales o diferentes niveles de roca sedimentada) es posible destacar que: “This ancient, or paleoclimate, evidence reveals that current warming is occurring roughly ten times faster than the average rate of ice-age-recovery warming” (NASA).

Este calentamiento global más intenso crece desde mediados del siglo XX a tasas sin precedentes debido a la actividad humana. Además de la evidencia sobre el aumento de las emisiones de dióxido de carbono, es posible evidenciar la existencia del cambio climático con mediciones de las temperaturas del aire y del océano y por fenómenos como el aumento en el nivel promedio del mar, el derretimiento de los glaciares en todo el mundo y los cambios en sistemas físicos y biológicos.

Considerando las estadísticas y análisis de la NASA, las temperaturas del planeta han aumentado en 1.1 grados Celsius desde fines del siglo XIX debido principalmente al aumento de las emisiones

de dióxido de carbono en la atmósfera y de otros gases resultantes de la actividad humana. Las temperaturas han aumentado en mayor medida en los últimos treinta y cinco años produciéndose un récord de mayores temperaturas en el año 2016.

Con respecto al calentamiento de los océanos, éstos han absorbido gran proporción del aumento del calor en la Tierra y se observa un aumento de la temperatura de su superficie desde 1969. La acidez de su superficie ha aumentado en un 30% desde la Revolución Industrial debido a que éste absorbe el dióxido de carbono emitido. La cantidad de dióxido de carbono absorbido por el nivel más superficial del océano está aumentando alrededor de 2 billones de toneladas por año.

Asimismo, puede observarse que los glaciares han comenzado a derretirse en todo el mundo. Además, observaciones de satélites han demostrado que la cobertura de la nieve en el hemisferio norte ha decrecido en los últimos cinco años y que la nieve se derrite con mayor rapidez. Respecto al nivel del mar, éste ha aumentado alrededor de ocho pulgadas en el último siglo y la tasa de aumento en las últimas dos décadas el doble que las del siglo anterior.

La evidencia científica muestra crecientes riesgos de los impactos severos e irreversibles del cambio climático asociados con las actuales emisiones de dióxido de carbono. Esta evidencia en las causas y futuros riesgos es cada vez más amplia y concluyente.

El cambio climático supone amenazas para la vida de los individuos al poner en peligro el acceso al agua, afectar la producción de alimentos, la salud, el uso de la tierra arable y el medio ambiente en general. Los países ya han comenzado a experimentar estos impactos con sequías cada vez más frecuentes, inundaciones, y mayores desastres naturales.

El Banco Mundial (2018) expone que estos impactos ya son notables en la salud humana y se espera que aumenten. Según sus estadísticas, los contaminantes asociados a las emisiones de dióxido de carbono son responsables de más de siete millones de muertes prematuras cada año y los costos directos en salud estimados para el 2030 es entre dos y cuatro billones de dólares al año. Dentro de los problemas a la salud, la desnutrición es el mayor impacto del cambio climático en este siglo. Por cada grado Celsius que aumente la temperatura global se espera una caída del 6% en las tierras susceptibles de ser sembradas con trigo y un 10% en las tierras susceptibles de

sembrar arroz, con mayores impactos de desnutrición en las regiones más pobres. El impacto de los desastres naturales extremos es equivalente a una pérdida anual en consumo de \$520 billones de dólares. Asimismo, se plantea que el aumento en la temperatura incrementa la volatilidad y pone en riesgo los esfuerzos para terminar con la pobreza. Sin tomar acciones para reducir la vulnerabilidad, proveer acceso a servicios básicos y generar resiliencia, los impactos del cambio climático llevarán a 100 millones de personas a la pobreza hacia el 2030².

Los cambios observables transforman la geografía del mundo y de volverse un cambio radical podría impactar en la geografía humana, donde los individuos viven y cómo viven y en la producción económica global (Stern, 2006).

Estos efectos en las diferentes regiones variarán con el tiempo y con la habilidad de los sistemas ambientales y sociales para poder reducir o adaptarse al cambio climático. Aumentos de la temperatura promedio anual de entre 1 y 3 grados Celsius sobre los niveles registrados en 1990 puede afectar positivamente a algunas regiones mientras que daña a otras (IPCC). Sin embargo, los costos netos anuales tenderán a aumentar mientras siga incrementándose la temperatura: "Taken as a whole the range of published evidence indicates that the net damage costs of climate change are likely to be significant and to increase over time" (IPCC, 2007).

Estos datos y estadísticas permiten demostrar que el cambio climático es real, crece a tasas sin precedentes y supone una amenaza para las sociedades a nivel global. Es de suma importancia que el mundo se comprometa a mitigar estos efectos: "The scientific understanding of climate change is now sufficiently clear to justify taking steps to reduce the amount of greenhouse gases in the atmosphere" (U.S. National Academy of Sciences, 2005).

No será posible prevenir el cambio climático en las próximas dos a tres décadas, pero es posible proteger las sociedades y economías de ciertos riesgos a través de la construcción de resiliencia y

² Estadísticas recuperadas del Banco Mundial (2018) y disponibles en:

<http://www.worldbank.org/en/topic/climatechange/overview>. Último ingreso al link el 17/05/2017.

la reducción de los costos. Adaptarse al cambio climático y mitigar sus efectos es esencial e implica un gran desafío para las economías a nivel internacional (Stern, 2006).

2.2. La economía del cambio climático

Los economistas coinciden en que el cambio climático supone un gran desafío para la economía y la escena política al suponer una de las mayores fallas de mercado³. En palabras de Stern: “... (climate change) is the greatest and widest-ranging market failure ever seen” (2006).

Esta literatura considera al clima global como un bien público al ser su utilización indivisible y ya que ningún individuo puede ser excluido de sus beneficios o consecuencias. Por su parte, el cambio climático es considerado una externalidad negativa cuyos costos y daños no son contabilizados o internalizados como resultado de la actividad económica. Contribuyen a la acumulación de estos gases en la atmósfera quienes emiten gases de efecto invernadero mientras generan electricidad, producen en sus fábricas, deforestan bosques, calientan sus casas o usan automóviles. Esto perjudica a todos los individuos y economías. Pero, como lo plantea Stern (2006), el cambio climático se distingue de otras externalidades al ser global en sus causas y consecuencias, por la naturaleza de largo plazo de sus impactos, por la incertidumbre que dificulta la cuantificación de los impactos en la economía, y por el riesgo de un gran e irreversible cambio con efectos económicos no marginales.

Si bien existen numerosos y valiosos estudios sobre la economía y el cambio climático, este trabajo se centrará en las conclusiones de la literatura derivadas del entender al cambio climático como una externalidad. Así, se intentará destacar en esta sección lo que la literatura plantea en términos de la relevancia de la política ambiental para enfrentar esta externalidad negativa y la falla de mercado; la importancia de la coordinación internacional al ser una problemática con causas e

³ El sistema de precios en un mercado competitivo permite abastecer todos los bienes y servicios de una economía. Sin embargo, existen situaciones en las que el mercado no es capaz de asignar los recursos de la economía de manera eficiente. A estas situaciones se las conocen como “fallas de mercado”.

impactos globales; y la necesidad de actuar inmediatamente por el largo plazo de sus consecuencias y la incertidumbre y riesgo en torno a la intensidad e irreversibilidad de sus impactos negativos.

Es difícil predecir las consecuencias del cambio climático, pero se conoce lo suficiente como para entender sus riesgos. El intentar reducir los gases de efecto invernadero como resultado de la actividad productiva es entonces indispensable, no obstante, costoso. En un mundo sin regulación ambiental no existen incentivos suficientes para que los privados internalicen los costos de la emisión de dióxido de carbono de sus actividades. Las firmas intentarían actuar como *free-riders* para no tener que ser responsables de los costos de la contaminación que generan. Debido a la creciente importancia de solucionar esta problemática es relevante el rol de la política ambiental para resolver esta falla de mercado, tener equidad y lograr la mitigación de sus riesgos.

Si bien en la literatura las diferentes recomendaciones de política varían, existe consenso sobre la relevancia del rol de la política ambiental en lograr corregir estas fallas de mercado y reducir la externalidad negativa del calentamiento global. Se destaca en los diferentes autores la necesidad de comprometerse como objetivo de política a reducir las emisiones. Las diferencias de enfoque entre diferentes autores radican en la duración de estas políticas y en el diseño de las mismas. Por ejemplo, según Stern (2006) éstas deben ser permanentes, mientras que Acemoglu (2012) destaca que con políticas temporarias es posible obtener estos resultados. Se expandirá esta comparación más adelante en este trabajo.

Aunque la política ambiental es de suma importancia para mitigar el cambio climático, adoptar medidas unilaterales no es suficiente. En el centro del debate ambiental se destaca la importancia de la coordinación internacional para reducir las emisiones. Al ser una problemática global existen incentivos para un comportamiento de *free-riding* en el que algunos países intenten evitar los costos de la intervención ambiental. De existir este *free-riding*, sería imposible para la economía mundial mitigar el cambio climático y evitar las amenazas a la humanidad y al crecimiento económico en las sociedades (Acemoglu, 2014 y Barret, 1994).

Es importante destacar que las emisiones tienen el mismo efecto más allá de donde se hayan originado. Se convierte en un problema de acción colectiva internacional con todas las dificultades

de generar una acción coherente y evitar el comportamiento de *free-riding*. Si los países no logran tener una perspectiva clara de los objetivos de estabilización de los gases de efecto invernadero en el largo plazo, las acciones adoptadas no serán suficientes para reducir significativamente las amenazas del calentamiento global (Stern, 2006).

Diferentes organismos internacionales han resaltado que la cooperación internacional es indispensable. Según el Banco Mundial, “Achieving the goals of the Paris Agreement will require coordinated global action at an unprecedented scale and speed” (2018⁴). Asimismo, el Fondo Monetario Internacional destaca en su World Economic Outlook que: “Climate change is a negative global externality of potentially catastrophic proportions and only collective action and multilateral cooperation can effectively address its causes and consequences” (2017⁵).

La cooperación debe estar presente en todas las dimensiones de mitigación del cambio climático, ya sea en la fijación de los precios a las emisiones de dióxido de carbono y sus mercados, la aceleración de la innovación y el desarrollo de tecnologías limpias, la reversión de las emisiones del uso de la tierra y la ayuda a los países menos desarrollados a adaptarse a las mayores amenazas del cambio climático.

Con respecto a la mitigación, sus costos son complejos de estimar con certeza debido al riesgo e incertidumbre de los efectos del cambio climático. Sin embargo, gran parte de la literatura sugiere que los costos de actuar ahora son menores comparados a los riesgos y costos de no actuar. La demora en tomar medidas de protección ambiental agrava el problema y las acciones futuras incurrirán mayores costos.

Algunos autores tienen una postura pesimista con respecto a los costos de la mitigación ya que consideran que la única alternativa para preservar el medio ambiente es desacelerando el

⁴ Disponible en: <http://www.worldbank.org/en/topic/climatechange/overview>. Último ingreso al link el 17/05/2017.

⁵ Recuperado en: <https://blogs.imf.org/2017/10/10/global-economic-upswing-creates-a-window-of-opportunity/>. Última revisión al link el 17/05/2017.

crecimiento económico y la producción. Existe una literatura de *decrecimiento económico*⁶ que plantea esta hipótesis y organizaciones ambientales como Greenpeace adoptan esta postura.

Sin embargo, gran parte de la literatura sugiere que la mitigación, tomar acciones para reducir las emisiones, es vista como una inversión, un costo incurrido ahora y en las décadas siguientes para evitar los riesgos de las severas consecuencias a futuro. Si estas inversiones se hacen sabiamente, los costos son manejables y habrá un amplio margen de oportunidades para el crecimiento y el desarrollo (Stern, 2006).

Asimismo, una amplia literatura destaca que de invertir en tecnologías limpias los costos de reducción del calentamiento global se verían reducidos: “greater international co-operation to accelerate technological innovation and diffusion will reduce the costs of mitigation” (Stern, 2006). Considerando los estudios en la transición a energías limpias de literatura reciente de cambio tecnológico dirigido y medio ambiente, es necesario un estímulo inicial de política ambiental para lograr la inversión en tecnologías limpias, pero luego se genera un efecto de *path dependency* que convergerá a un equilibrio de crecimiento sustentable con bajas emisiones sin costos excesivos (Acemoglu et al, 2012).

A lo largo de esta Tesis se enfatizan las conclusiones principales de la literatura referentes a la importancia del desarrollo de tecnologías que ayuden a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. La motivación de centrarse en esta acción para la mitigación del cambio climático se debe a que este fenómeno fue mayormente causado por la utilización de combustible fósil en las industrias. Es de suma importancia la política ambiental para estimular la innovación en tecnologías limpias ya que no existen incentivos en el mercado para desarrollarlas. Asimismo, es necesaria la coordinación internacional para lograr significativas reducciones en las emisiones y no generar incentivos a que la producción con tecnologías sucias sea reubicada en países sin regulaciones ambientales.

⁶ Esta postura se concibe con las ideas del Club de Roma y los debates de los límites al crecimiento (Meadows et al, 1872). Para expandir esta propuesta léase Georgescu-Roegen (1971) y Daly (1997)

Asimismo, si tomamos el ejemplo de la innovación en tecnologías limpias, demorar la acción implicaría costos sustanciales en el futuro debido a la brecha tecnológica resultante entre los sectores limpios y sucios además del costo directo del cambio climático. Al demorar la acción, precisaría de un tiempo de desaceleración de crecimiento económico en el futuro (Acemoglu, 2012).



Universidad de
San Andrés

3. Cambio tecnológico dirigido y el medio ambiente

Para lograr una transición a economías con bajas emisiones de dióxido de carbono es imprescindible desarrollar y adoptar nuevas tecnologías limpias que contribuyan a disminuir las emisiones de la actividad productiva. En palabras de Acemoglu: “One of the central challenges facing the world economy is reducing carbon emissions, which appears to be feasible only if a successful transition to clean technology is induced” (2014, p. 37).

Como se ha destacado en el capítulo anterior, la literatura del cambio climático resalta la relevancia del diseño de política ambiental. Debido a las externalidades ambientales en las que los privados no internalizan el costo en productividad agregada por la degradación ambiental resultantes de sus acciones, se plantea que el mercado no podrá generar la innovación suficiente ni obtener suficiente investigación y desarrollo en dirección a tecnologías limpias. Asimismo, se discute que, de utilizar tecnologías existentes, los problemas ambientales no pueden tratarse en muchos casos o tratarse con un costo significativamente mayor (Popp, Newell, Jaffe, 2009). Por ello, proveer incentivos para desarrollar tecnologías que ayuden a reducir el cambio climático es central para la política ambiental. La pregunta entonces es, si es posible re-direccionar los incentivos para impulsar las innovaciones limpias a través de la política ambiental y qué políticas pueden lograr este objetivo.

Estudios recientes se han enfocado en analizar cómo la política ambiental puede diseñarse para estimular la transición a energías limpias y, de esta forma, reducir el cambio climático. Dentro de esta literatura se analizará el *cambio tecnológico dirigido* que permite ilustrar la importancia de políticas ambientales para re-direccionar el cambio tecnológico y lograr objetivos ambientales, la relevancia de la coordinación internacional y la importancia de actuar inmediatamente. Si bien esta literatura destaca recomendaciones de política ambiental no será el objeto de esta tesis analizar en detalle el diseño de políticas óptimas ya que es una literatura muy amplia que ameritaría un nuevo trabajo de investigación.

Los primeros estudios sobre el efecto de varias políticas en el desarrollo de energías limpias se han enfocado en modelos que asumen a la tecnología como exógena (Stern, 2006). No solo la naturaleza de largo plazo del cambio climático resalta la importancia de entender la evolución de

la tecnología en las proyecciones de impactos futuros (Popp, Newell, Jaffe, 2009) pero, además, se destaca que el desafío de reducir el calentamiento global, requiere de innovación dirigida a disminuir las emisiones de dióxido de carbono (Aghion et al, 2012).

La literatura del *cambio tecnológico dirigido* se centra en modelos de crecimiento económico con tecnología endógena. Al ser la energía sucia uno de los inputs principales en la mayoría de los sectores de la economía, se debe considerar a la economía como un todo al intentar estudiar el efecto de varias políticas en el desarrollo de energías alternativas que ayuden a mitigar el cambio climático. De esta forma, la teoría de crecimiento económico que sea dinámica y de equilibrio general ha sido una herramienta útil para entender el impacto esta transición en la literatura de las políticas ambientales (Smulders et al, 2014).

Primero se analizará en mayor detalle el concepto de *cambio tecnológico dirigido*. Luego se expondrá el principal modelo de esta literatura que es de Acemoglu et al (2012), sus críticas y extensiones. Tras este análisis nos preguntaremos si es suficiente con que los países tomen medidas unilaterales o si es necesaria la cooperación internacional ya que el calentamiento global afecta a todos.

3.1. Definiendo el concepto de cambio tecnológico dirigido

La literatura del *cambio tecnológico dirigido* se inspira en los estudios sobre el crecimiento endógeno, los recursos naturales y el ambiente, y los estudios sobre el cambio tecnológico inducido. La relación entre los tres primeros conceptos ha ido evolucionando con el tiempo y ha cobrado gran relevancia en las últimas décadas. Hacia la década del setenta, prima el debate sobre los límites al crecimiento económico al asociarse el progreso económico con la explotación de recursos naturales agotables. Sin embargo, se genera un gran cambio en el enfoque de la problemática del medio ambiente y el desarrollo desde el *Earth Summit* en 1992 en Río de Janeiro donde se considera la posibilidad de un "desarrollo sustentable". En el marco de estas discusiones, el debate del cambio climático y la posibilidad de lograr un crecimiento sostenible que reduzca la contaminación gana importancia (Ekins, 2000).

Si bien existe un mayor consenso en la actualidad sobre la compatibilidad entre los objetivos económicos y ambientales, aún se debaten las políticas ambientales que permitirán la convivencia de ambas prioridades. Dentro de estas discusiones, cómo entender la relación entre estas políticas y el cambio tecnológico ha sido muy estudiado.

Con respecto al cambio tecnológico, éste suele considerarse como neutral en la teoría de crecimiento económico moderna. Se considera que el producto aumenta sin considerar las distintas proporciones de los factores. Sin embargo, el cambio tecnológico no siempre es neutro, sino que puede estar sesgado o direccionado a beneficiar algunos factores de producción más que otros. El cambio tecnológico puede ser localizado a través de diferentes instrumentos de política y, de esta forma, mejorar la productividad direccionada hacia un cierto ratio de capital-trabajo o técnicas específicas (Atkinson y Stiglitz, 1969 y Acemoglu, 2015). Se explica en mayor detalle este concepto en el anexo 1.

El considerar al cambio tecnológico como localizado o dirigido hacia ciertas técnicas y factores de producción es más ampliamente aceptado en la actualidad al ser utilizado para responder diferentes problemáticas. El rol de la tecnología apropiada o inapropiada en el crecimiento económico, el cambio tecnológico con un sesgo en la educación, inequidad de salarios, la relación de las nuevas tecnologías y el impacto en el comercio, son ejemplos de preguntas que necesitan de un cambio tecnológico sesgado y direccionado y no pueden explicarse con cambio tecnológico neutral (Acemoglu, 2015).

Se revisará en este trabajo las contribuciones de Acemoglu et al (2012), quien utiliza esta literatura en el marco de la problemática del cambio climático. De esta forma, introducen modelos de primera generación de cambio tecnológico endógeno como el de Romer (1990) con límites ambientales e innovación considerando una variedad de tecnologías contaminantes (sucias) y no contaminantes (limpias) sobre las que se pueden direccionar las innovaciones.

3.2. La política ambiental y *path dependency*

Para estudiar la respuesta de las diferentes tecnologías a la política ambiental, Acemoglu et al (2012), introducen límites ambientales en un modelo de crecimiento con innovación. El modelo tiene dos sectores, uno de ellos utiliza tecnologías que contaminan el medio ambiente, i.e., tecnologías sucias mientras que el otro utiliza tecnologías limpias. Existe un único bien final que puede producirse por ambos sectores. Hay un grupo de investigadores fijo y finito que son maximizadores de ganancia y direccionan su innovación hacia la mejora de la calidad de la tecnología en alguno de los dos sectores. Los incentivos económicos determinan hacia qué sectores se dirige la investigación y desarrollo (I&D). Se asume que la innovación es más productiva mientras mayor sea la investigación en ese sector.

Como lo plantea Acemoglu et al (2012) en su literatura temprana de *cambio tecnológico dirigido*, la innovación se dirige a los diferentes sectores basado en dos efectos: el efecto precio y el tamaño del mercado. Estas son las fuerzas que influyen la rentabilidad relativa de investigar en innovación en cada uno de los sectores. El primer efecto, el cambio en los precios relativos, genera incentivos a desarrollar tecnologías para el sector que produce bienes más caros o tecnologías que usan factores de producción más caros. El segundo efecto, el tamaño del mercado, incentiva al desarrollo de tecnologías que tienen un mayor mercado. La influencia de estos efectos y sus magnitudes relativas dependen de tres factores: la elasticidad de sustitución entre los dos sectores; el nivel relativo de desarrollo de las tecnologías entre ambos; y si el *input* sucio depende de recursos agotables. Estas características afectarán la estructura de equilibrio y la dinámica de las políticas ambientales que permiten un crecimiento sostenible o maximizan el bienestar intertemporal.

Estos autores concluyen que, dada la presencia de externalidades ambientales, un equilibrio sin regulación, i.e., de *laissez-faire*, no es óptimo. Sin una intervención de la política ambiental, dada la ventaja inicial de las innovaciones sucias, se continuará expandiendo la innovación y producción en este sector. Se generará un *path dependency* en el que debido a la previa innovación en tecnología sucia las firmas serán más propensas a innovar en este tipo de tecnologías. Este

equilibrio puede llevar a que la calidad del medio ambiente se reduzca por debajo de niveles aceptables para la vida humana y se genere un “desastre ambiental”.

La política ambiental es entonces necesaria para prevenir los riesgos del cambio climático y mitigar sus efectos. Si se consideran los modelos en los que la tecnología es exógena, existen tres tipos de respuestas de política ambiental. Las diferencias surgen de los supuestos tomados por cada uno. En un extremo, Nordhaus plantea que es necesaria una intervención gradual y limitada. En el largo plazo el crecimiento se vería modestamente reducido por las regulaciones adoptadas. Stern (2009), plantea una situación más pesimista; propone intervenciones inmediatas y extensivas de naturaleza permanente más allá de los costos económicos que implican. En el extremo más pesimista, Acemoglu et al (2012) destaca la visión de Greenpeace según la cual, el crecimiento debe frenar para salvar al planeta.

A diferencia de la literatura con tecnología exógena, los estudios del *cambio tecnológico dirigido* y el medio ambiente plantean que cuando las tecnologías son suficientemente sustitutivas, una intervención temporaria puede ser suficiente para enfrentar la problemática ambiental. Es posible evitar el desastre ambiental al redirigir el cambio tecnológico con la adopción de políticas regulatorias óptimas o subóptimas, como impuestos al carbono o subsidios a la investigación. Estos resultados no implican una intervención estatal permanente sino sólo temporaria. El argumento radica en que una vez que las tecnologías limpias sean lo suficientemente avanzadas, ya no será necesaria la intervención estatal para que la investigación se centre en estas tecnologías. De esta forma, Acemoglu et al (2012) muestran que es posible proteger el medio ambiente sin afectar el crecimiento en el largo plazo con una intervención temporaria.

Al referirse a esta intervención temporaria, Acemoglu et al (2012) recomiendan la introducción de impuestos a las emisiones de carbono y subsidios a la investigación y desarrollo en tecnologías limpias. Una regulación ambiental óptima debe incluir ambas políticas, el impuesto a las emisiones de carbono para reducirlas y controlarlas, y subsidios a la investigación para influenciar la dirección de la investigación. Sin embargo, no es el objetivo de este trabajo explorar con mayor detalle las políticas ambientales óptimas sino destacar la relevancia de que exista un rol del

gobierno para poder lograr objetivos ambientales y entender la naturaleza temporal de estas medidas.

La intervención es requerida y ésta debe de ser inmediata. Las demoras en intervenir son más costosas y mientras menor sea la demora de la respuesta de política menor será la transición de bajo crecimiento. Esto se debe especialmente al tamaño del mercado y la ventaja inicial en las tecnologías sucias. Demorar la acción implicaría costos sustanciales debido a la brecha tecnológica resultante entre los sectores limpios y sucios que hace más propensa la innovación en tecnologías sucias, sumado a los costos directos del cambio climático. Demorar la acción, precisaría de un tiempo de desaceleración de crecimiento económico en el futuro y se llegaría a un desastre ambiental.

Podría plantearse que el uso de un recurso agotable en la producción en el sector sucio ayuda a lograr una transición al desarrollo de innovación limpia en un equilibrio de *laissez-faire*. Esta hipótesis se justifica en que cuando el recurso agotable es necesario en la producción de las tecnologías sucias, el mercado genera los incentivos para dirigir la investigación hacia los sectores más limpios, y estos incentivos del mercado serán suficientes para la prevención de un desastre ambiental. Se generará un movimiento natural desde las tecnologías sucias a las limpias mientras que aumenten el precio del combustible fósil y los costos de su extracción, al ser este recurso agotable y acercarse a su límite biofísico de extracción. No obstante, debido a la presencia de externalidades ambientales y de conocimiento sobre cómo ponerle un precio correcto a este recurso agotable, un equilibrio sin regulación es Pareto subóptimo. Para lograr una asignación socialmente óptima se debería introducir un instrumento de política ambiental como impuesto a la utilización de tecnología sucia o un subsidio a la investigación en tecnología limpia (Acemoglu et al, 2012).

Un análisis cuantitativo simple de esta literatura sugiere que, dada una alta elasticidad de sustitución entre tecnologías limpias y sucias, la regulación ambiental óptima debe incluir un cambio inmediato a la investigación en tecnologías limpias seguido de una transición a la producción de las mismas. Esta conclusión es robusta con diferentes tasas de descuento incluidos los rangos de tasas utilizados por los estudios previos (Stern y Nordhaus), un aspecto que deriva en diferentes conclusiones de políticas en los modelos de tecnología exógena. Se enfatiza el *path*

dependency que destaca la necesidad de acción inmediata. Asimismo, ofrece el resultado de que las intervenciones temporarias, con un foco en mantener las innovaciones en tecnologías limpias pueden ser suficiente para lograr objetivos de política ambiental.

Solucionar el cambio climático es complejo y existen *trade-offs* entre los desafíos ambientales y la situación actual de la economía global que se encuentra muy por debajo del pleno empleo, pero es importante comprometerse a ofrecer soluciones de política específicas a cada país (Heutel et al, 2013).

3.3. Principal crítica: efecto derrame de conocimiento

El modelo de Acemoglu et al (2012) es uno de los primeros estudios que utilizan los aprendizajes de la literatura del *cambio tecnológico dirigido* para el análisis de la política ambiental para mitigar el cambio climático. La principal crítica de otros autores que han analizado este modelo se centra en que estos autores no han considerado los posibles *efectos derrame (spillovers)* del conocimiento de la investigación de otras firmas.

La investigación y desarrollo en este modelo se compone de un grupo fijo y finito de científicos, en el que hay un efecto de *crowding-out* perfecto en el esfuerzo de investigación. Si bien la existencia del efecto derrame intertemporal no implica una sub-oferta de investigación al mantenerse esta variable fija, podría influenciar la dirección del cambio tecnológico si divergen los beneficios futuros relativos (Heutel et al, 2013). En este sentido, se plantea en las críticas al modelo que: “climate policy under endogenous technical change is only likely to raise output in the long run if knowledge spillovers are higher among clean technologies than dirty ones, where the R&D effort would otherwise be directed” (Gillingham et. al., 2008).

Considerando algunos de los ejemplos expuestos en Heutel et al (2013), podría analizarse el modelo de Gillingham et. al. (2008), quienes analizan diferentes modelos de investigación y desarrollo inducido en los que se consideran distorsiones en los mercados de investigación y desarrollo preexistentes, sustituibilidad o complementariedad entre la generación de conocimiento

y el producto, y la elasticidad de la oferta de la investigación. Según el autor, es posible determinar si las políticas ambientales que inducen a la innovación en tecnologías limpias pueden desplazar la innovación en otros sectores, lo que puede reducir el producto agregado. A diferencia del modelo de Acemoglu, se consideran los efectos derrame del conocimiento. Que estos generen externalidades positivas que se explican en el que los retornos sociales sean mayores a los retornos privados de la investigación, es muy importante en costo de las políticas climáticas y tecnológicas.

Mattauch et al (2012) incorporan a su modelo efectos derrame de aprendizaje en el sector con tecnologías limpias en lugar de investigación y desarrollo dirigido. Sus resultados muestran que, si bien es posible adoptar políticas intervencionistas modestas en el caso en el que la elasticidad de sustitución entre los sectores es alta, los efectos en términos de costos de bienestar son muy altos al estar la tecnología encerrada en un camino de innovación sucia.

El análisis de efectos derrame es extendido por Smulders and de Nooij (2003) que agregan al modelo de Acemoglu, efectos derrame intrasectoriales. Lo que buscan analizar es si un cambio en la dirección del cambio técnico puede acelerar el crecimiento agregado. Sus resultados sugieren que los costos directos de una política ambiental para conservar la energía son mayores a los beneficios de innovación inducida.

Goulder and Schneider (1999) también incorporan los efectos derrame intrasectoriales en un modelo de equilibrio general multi-sectores. Distinguen entre conocimiento apropiable y no-excluyente. Asimismo, asumen retornos decrecientes de los dos tipos de conocimiento en la función de producción de cada bien intermedio de la industria. Muestran que el cambio técnico endógeno reduce los costos de una meta de reducción de contaminación dado pero que los costos de las políticas son positivos, lo que lleva a un efecto de *crowding-out* con mayor importancia que el efecto de efectos derrame.

Considerando el modelo de Acemoglu, sus críticas y extensiones, se puede concluir que, para la mayoría de estos autores, las oportunidades del cambio tecnológico reducen los costos de adoptar y lograr los objetivos ambientales. Sin embargo, muestran que, si el efecto derrame de

conocimiento no es significativo y mayor en las innovaciones en tecnología limpia que en la sucia, las políticas de cambio climático pueden tener consecuencias negativas en el crecimiento.

3.4. La cooperación internacional

Los beneficios de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero son globales ya que el cambio climático afecta a todos los países. Como estos beneficios son disfrutados por todos existen incentivos para un comportamiento de *free-riding* para evitar los costos de la intervención ambiental⁷. El comportamiento de *free-riding* no permitirá una reducción significativa de la emisión de gases de efecto invernadero ya que es necesaria una reducción a escala global. Es por ello relevante analizar la política ambiental a nivel internacional y no solo individual:

“At the heart of the environmental debate is the issue of how to organize the international coordination of policy intervention” (Acemoglu et al, 2014, p. 513).

Para estudiar esta coordinación global es importante entender el rol de los países considerando las diferentes fases de desarrollo en las que se encuentran. Si los países desarrollados, a quienes la literatura denomina como el “Norte”, *dirigieran* su cambio tecnológico hacia tecnologías limpias y facilitasen la difusión de las mismas al resto de los países se podría intentar reducir significativamente las emisiones de dióxido de carbono y evitar un desastre ambiental. Debido al efecto derrame de conocimiento de los países desarrollados, los países en desarrollo, considerados como el “Sur” podrían imitar las tecnologías provenientes del Norte y así adoptar tecnologías limpias sin haber introducido política ambiental dirigida hacia estas tecnologías. En palabras de Acemoglu et al: “This makes a case for unilateral policy intervention by the developed countries, even if the developing countries would not take any action” (2014, p. 528). En este escenario, es necesario facilitar las transferencias de tecnología del Norte al Sur y mejorar la capacidad del Sur para absorber las tecnologías del Norte, y de esta forma, la mitigación del cambio climático podría ser significativa (Acemoglu et al, 2014).

⁷ Hoel (1991) muestra que, si los costos ambientales son convexos y un país adopta una política ambiental estricta, los otros países tienen incentivos a relajar sus políticas ambientales y actuar como free-rider

Sin embargo, aunque la estrategia de dirección del cambio tecnológico analizada en el párrafo anterior pudiese ser exitosa como política unilateral, la existencia del comercio internacional en el mundo actual puede afectar significativamente el juego estratégico de los países en diseñar y adoptar políticas ambientales: “International trade is seen as a channel which typically weakens unilateral policy” (Acemoglu et al, 2014, p.515). Esto se debe a que se podría generar una ventaja comparativa de tecnologías sucias en el Sur si se introducen políticas ambientales solo en el Norte, como, por ejemplo, de introducción de impuestos a las tecnologías sucias. Existirían los incentivos a trasladar este tipo de industrias sucias a aquellos países en los que no existan impuestos a su producción⁸. De esta forma, los países en desarrollo se convertirían en un “refugio de contaminación”. En este caso, una política unilateral en el Norte, sin coordinación global, podría incrementar indirectamente la producción sucia debido a que estas actividades serían reubicadas en el Sur. En este escenario, la intervención ambiental en el Norte no necesariamente garantiza que el Sur imite las tecnologías limpias en el largo plazo y, de esta forma, no permite garantizar una reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Como el calentamiento global afecta a todos los países, el que se siga produciendo de manera sucia en algunos países no permite reducir las emisiones de dióxido de carbono significativamente. De esta forma, la existencia de comercio internacional plantea la relevancia del rol de los gobiernos para coordinar políticas ambientales a nivel global que sean beneficiosas para la sociedad sin ser tan costosas como de internalizar ese costo individualmente.

Como se ha asumido a lo largo de este capítulo, la tecnología sucia está inicialmente más desarrollada que la tecnología limpia, y de esta manera, el equilibrio en un mundo sin regulación derivaría en un desastre ambiental. En el capítulo 4 se mostrarán estimaciones de la actual brecha tecnológica, donde las tecnologías sucias son más desarrolladas.

Solo bajo un comercio internacional mínimo podría evitarse un desastre ambiental sin la necesidad de coordinación internacional. Esta hipótesis plantea que una vez que el Norte se compromete a

⁸ Si bien los estudios empíricos más tempranos muestran evidencia inconclusa del efecto de refugios de contaminación, los estudios recientes muestran la relevancia de este efecto. Véase Levinson y Taylor (2008), Copeland y Taylor (2004) y Aichele y Felbermayr (2012).

desarrollar tecnologías limpias, el cambio tecnológico puede dirigirse a este sector e inducir al Sur a adoptar estas tecnologías. Este resultado se daría si las tecnologías limpias y sucias fuesen altamente sustitutas (Acemoglu, 2014).

Otros autores han alcanzado las mismas conclusiones a través del análisis de modelos de cambio tecnológico entre el Norte y el Sur. Di Maria y Smulders (2004), construyen un modelo de Norte-Sur con cambio tecnológico dirigido en el que el Norte desarrolla nuevas tecnologías y el Sur, exógenamente, imita una fracción de las innovaciones del Norte en cada periodo. De abrirse al comercio internacional, se reubicaría la innovación hacia el sector donde exporta el Norte. Entonces, si el Norte exporta el bien más limpio, esto reduce la contaminación ya que el Sur imitaría las tecnologías limpias. Hémons (2013) también desarrolló un modelo Norte-Sur y concluye que el Norte puede prevenir un desastre ambiental adoptando medidas unilaterales que incentiven al Norte a desarrollar tecnologías limpias. Esto lleva al Norte a desarrollar ventaja comparativa y reduciría las emisiones en el Sur también.

Sin embargo, dado que en el mundo actual existe un comercio internacional fuerte, introducir políticas solo en los países desarrollados, el Norte, sin tomar acciones en los países en desarrollo, el Sur, no es óptimo. La innovación en tecnologías limpias únicamente en el Norte es necesaria, pero es improbable que sea suficiente para solucionar la problemática ambiental. En sus estudios, Acemoglu et al (2012 y 2014) plantean que la política ambiental óptima incluye impuestos a las emisiones de carbono y subsidios a la investigación y desarrollo en tecnologías limpias. Éstas deben adoptarse en todos los países.

Se plantea que sería poco rentable para el Sur imitar las tecnologías limpias del Norte debido a la tendencia a crear refugios de contaminación en estos países. Múltiples equilibrios podrían suceder. Sin embargo, existe el riesgo de que los científicos del Sur se coordinasen en imitar la tecnología sucia, se especialicen por completo en la producción del bien sucio y, de esta forma, logren que la imitación limpia sea poco rentable. En este escenario el Sur se encontraría en una trampa de producción de insumos sucios, conocida en la literatura como *dirty input production trap*. Para evitarlo, la política ambiental óptima sugiere implementar regulación ambiental en los países desarrollados y en desarrollo.

La principal conclusión de esta discusión es la importancia del rol de los gobiernos en coordinar las expectativas que sean beneficiosas para todas las sociedades y a un costo menor que de incurrir estas acciones a nivel individual.

Asimismo, con estas conclusiones se invita al debate sobre la negociación entre países en el eje de la mitigación del cambio climático internacional. Una situación a modo de ejemplo de estos debates es la que propone Acemoglu (2014), en la que una economía emergente puede discutir que al ser los países desarrollados quienes han contribuido, en mayor medida, al calentamiento global, por qué los países en desarrollo no tienen esa posibilidad en el presente. Sin embargo, como planteamos anteriormente, estas economías ahora tienen la posibilidad de imitar las tecnologías limpias inventadas en el Norte.

Sin embargo, surgen nuevos cuestionamientos a considerar como los costos de la adopción de las tecnologías del Norte, la regulación internacional que pueda dificultar la difusión de estas tecnologías en el Sur, y cómo ayudar a países en desarrollo a financiar la transición a economías más limpias. Asimismo, podría plantearse cómo deben actuar los países frente a aquellos que teniendo la posibilidad de imitar o adoptar las tecnologías limpias del Norte prefieren actuar como refugios de contaminación y así no incurrir en los costos de ser más verdes. Una vez destacada la importancia de la coordinación global, es importante entender estas problemáticas y otras que pueden surgir del debate en torno al cambio climático a nivel global en futuros estudios.

4. La evidencia empírica

Si bien esta literatura provee intuición teórica valiosa, es importante revisar la evidencia empírica relacionada con ella previo a derivar recomendaciones específicas de política. Diferentes áreas requieren de atención como la naturaleza del progreso tecnológico, el grado y forma de los efectos derrame, y la sustitución entre tecnologías de producción limpias y sucias (Heutel y Fischer, 2013).

Como se ha analizado en el capítulo anterior, la literatura del *cambio tecnológico dirigido* y el medio ambiente se centra en la relevancia de estudiar el cambio tecnológico endógeno del crecimiento para analizar la política ambiental. Esta conclusión no es nueva, pero esta literatura enfatiza el *path dependency* que destaca la necesidad de acción inmediata. Asimismo, ofrece el resultado de que las intervenciones temporales, que se centran en mantener las innovaciones en tecnologías limpias pueden ser suficientes para lograr objetivos de política ambiental.

Existen estudios previos a la literatura de *cambio tecnológico dirigido* que permiten entender la relación entre tecnologías sucias y limpias como resultantes de políticas ambientales. Entre ellos podemos mencionar a Popp (2002), quien analiza el efecto de los precios de energía en las innovaciones cuyo objetivo es hacer un uso más eficiente de la energía. A través del análisis de datos de patentes en Estados Unidos entre 1970 y 1994 concluye que los precios de la energía y el conocimiento previo de las firmas son significativos para explicar la innovación adoptada. Newell, Jaffe y Stavins (1999) estudian la industria de los aires acondicionados y muestran evidencia de una innovación inducida y lo mismo en Crabb y Johnson (2010) a través del estudio de la tecnología automotriz. Asimismo, Hassler, Krussell y Olovsson (2011) observan una transición hacia tecnologías más eficientes, i.e., aquellas que consumen menor energía, luego de los shocks en el precio del combustible. Sin embargo, estos autores no estudian el *path dependency* en la dirección de este cambio tecnológico.

Los dos estudios principales que presentan evidencia sobre este *path dependency* en el marco de las políticas ambientales son el de Aghion et al (2012) y Acemoglu et al (2014) que serán explicados a continuación. El primer estudio presenta evidencia empírica en la industria automotriz

y el segundo se centra en el sector energético estadounidense. Tanto la industria automotriz como el sector energético contribuyen ampliamente a las emisiones de dióxido de carbono globales.

4.1. Evidencia empírica: política ambiental y *path dependency*

Los automóviles son uno de los mayores contribuyentes a la generación de gases de efecto invernadero. Según estadísticas de la *International Energy Agency* en 2009, el transporte en ruta es responsable de 16,5% de las emisiones de dióxido de carbono globales, mientras que el transporte en total representa un 22,1%. Otra característica de los automóviles para testear la literatura de *cambio tecnológico dirigido* y medio ambiente es que son un buen ejemplo de productos sustitutos ya que los autos eléctricos e híbridos pueden considerarse sustitutos de los autos con motor de combustión interna. Es importante notar que pueden existir retornos decrecientes a la innovación sucia, aunque los autos sean sustitutos que sean responsables de una parte del re-direccionar el cambio tecnológico hacia las tecnologías limpias. Para ello, analizar la historia de innovación de una firma o país es relevante para estimar su efecto en la trayectoria de innovación a futuro (Aghion et al, 2012).

Aghion et al (2012) proponen analizar empíricamente si el *cambio tecnológico dirigido* puede ser usado para mitigar el cambio climático analizando la industria automotriz. Para ello, estudian con datos de panel las innovaciones en esta industria para analizar si las firmas redirigen el cambio tecnológico en respuesta a los precios del combustible en el contexto del efecto de *path dependency* en la innovación. Los precios del combustible actuarían como un proxy de los impuestos a las emisiones de carbono. Los autores estudian la innovación en la industria automotriz, distinguiendo entre patentes de energía sucia y limpia en 80 países en varias décadas.

Analizando las estadísticas que presentan los autores, las patentes en tecnología sucia han aumentado persistentemente desde 1978 hasta el 2000, pero han ido decreciendo desde el 2000 al 2005, año hasta donde se realiza el estudio. El número de patentes limpias fue bajo por una década hasta 1992, comienza a crecer desde 1995 (con un crecimiento anual promedio de 23%), llegando a su mayor valor en el 2002. Consecuentemente, mientras el número de patentes limpias representa

solo el 10% del número de patentes sucias anotadas anualmente durante los 1980s, en el 2005 llega al 60%. Estas estadísticas son ilustradas en el anexo 2.

Sus resultados destacan que las firmas son más propensas a innovar en tecnologías limpias mientras mayor sea el impuesto a los precios del combustible. Siguiendo la literatura de *cambio tecnológico dirigido*, también observan un *path dependency* en el tipo de innovación por parte de los *efectos derrame* agregados y de la historia de innovación propia de las empresas. En su análisis, simulan aumentos en los impuestos a las emisiones de dióxido de carbono necesarios para que las tecnologías limpias sobrepasen las sucias.

La innovación limpia es estimulada por aumentos en los precios del combustible que incluyen impuestos (que actúa como proxy para impuestos a las emisiones de carbono) mientras que esto desincentiva la innovación sucia.

Existe una evidencia fuerte de un *path dependency* en el sentido en que las firmas que están más expuestas a la innovación limpia son las más propensas a direccionar su investigación a innovaciones limpias en el futuro (efecto derrame). De manera similar, las firmas con una historia de innovación sucia en el pasado tienen más incentivos a enfatizar sus esfuerzos de investigación y desarrollo en la innovación sucia en el futuro.

Los resultados anteriores son observados en tecnologías puramente limpias o puramente sucias. Sin embargo, también consideran innovaciones en uso eficiente del combustible, al que denominan innovaciones “grises”. Si bien existen límites a cuán eficiente puede transformarse la combustión interna de un automóvil, estas mejoras pueden ayudar en parte a reducir el cambio climático. Los resultados para estas tecnologías se asemejan a los anteriores, pero con un efecto menor al de las tecnologías puramente limpias.

Que suceda el *path dependency* tanto en tecnologías limpias y sucias destaca el deseo de actuar ahora para cambiar los incentivos a la innovación que mitigue el cambio climático. Como el stock de innovación sucia es mayor a la limpia, el efecto de *path dependency* va a tender a encerrar a las economías en un escenario de altas emisiones, incluso después de la introducción de impuestos a

las emisiones de carbono moderados o subsidios a la investigación y desarrollo en energías limpias. Muestra la importancia de actuar ahora y luego relajar la política ambiental en el futuro mientras el stock de conocimiento se mueve en la dirección de tecnologías limpias. Aumentos en los precios de las emisiones de dióxido de carbono pueden traer un cambio en esta dirección. Un aumento del 40% en los precios del combustible en los resultados del modelo de Aghion (2012) respecto al precio de 2005 permite que los stocks en innovación limpia superen el stock de innovación sucia luego de 15 años.

4.2. Estimaciones de brecha tecnológica e inacción

La literatura teórica ha asumido que la tecnología sucia esta inicialmente más desarrollada que la tecnología limpia. Esta brecha existente entre ambas incentiva la innovación sucia y justifica la necesidad de introducir una política ambiental inmediatamente ya que mientras más se intensifique esta brecha, mayores serán los costos y riesgos de demorarse en actuar. La brecha tecnológica, los costos en el bienestar de la demora en adoptar políticas ambientales y los aumentos de temperatura que esto traería aparejado son estimados por Acemoglu et al (2014).

Para ello, los autores utilizan micro-data del sector energético estadounidense que es obtenida del *Census Bureau* de donde toman una muestra de firmas innovadoras en este sector que están en operación entre los años 1975-2004.

En la teoría se ha discutido que, si las tecnologías sucias son inicialmente más avanzadas que las limpias, la potencial transición a las últimas será difícil porque la investigación en este sector posee menor conocimiento y desarrollo que la investigación en tecnologías sucias. La brecha tecnológica existente entre ambos tipos de tecnologías desmotiva los esfuerzos de investigación dirigidos hacia tecnologías limpias.

Los autores estiman la distribución de las diferencias tecnológicas iniciales entre tecnologías limpias y sucias. En la mayoría de las líneas de producción se observa una moderada diferencia en el desarrollo entre las tecnologías sucias y las limpias, en las que las primeras son más

desarrolladas que en las segundas. Sin embargo, existen numerosas líneas de producción en las que existe una amplia brecha inicial entre los sectores limpios y sucios, beneficiando al sector contaminante. Y, solo en solo algunos casos, las tecnologías limpias son más avanzadas que las sucias⁹.

El porcentaje de líneas de producción en las que existe una brecha tecnológica es del 90%. En solo 9% de los casos la tecnología limpia es más avanzada por solo una reducida diferencia de desarrollo. Mientras que en energía sucia se llega hasta un 11% con mayores niveles de desarrollo comparado con el caso en que las tecnologías limpias superan a las sucias. En la figura 5, puede observarse la distribución de las brechas tecnológicas donde los números positivos indican que la tecnología sucia es más avanzada.



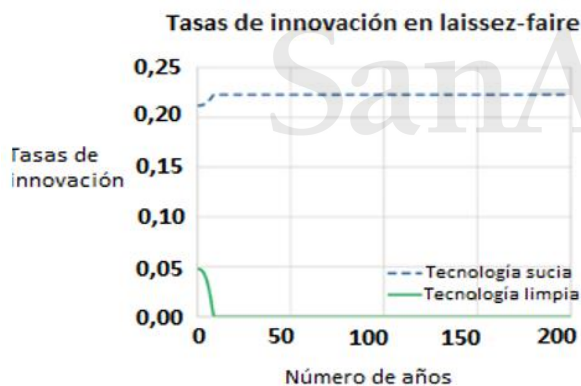
Fuente: Acemoglu et al (2014)

⁹ Para calcular las diferencias en desarrollo entre tecnologías, los autores desarrollan estimaciones del stock acumulativo de tecnologías limpias y sucias inventadas por las firmas en la muestra. Industrias SIC3 (Standard Industrial Classification 3) son utilizadas para estimar las diferentes líneas de productos. La distribución tecnológica inicial es calculada en tres pasos. Primero, calculan la suma de las patentes de cada firma entre 1975-2004 y la distribución de empleo entre las industrias SIC3 en estos sectores en el mismo período de tiempo. Luego asignar el stock acumulativo de patentes entre las industrias SIC3 usando la distribución de los empleos. Para cada industria, suman las patentes asignadas desarrolladas por las firmas energéticas limpias y sucias. La suma de las patentes entre todas las firmas refleja la calidad de desarrollo de las tecnologías.

Dada la distribución inicial de la brecha tecnológica, es más rentable innovar en el sector sucio en un escenario sin regulación ya que, en gran medida, la investigación y desarrollo será dirigida a la tecnología sucia. Para evitar que siga creciendo esta brecha, favoreciendo así a la tecnología sucia, es importante actuar y hacerlo inmediatamente.

A las tasas de innovación que se generarían, las brechas tecnológicas y la rentabilidad de las tecnologías sucias aumentaría relativamente frente a las tecnologías limpias, y la investigación y desarrollo limpio convergerá a cero (véase figura 6). De esta manera, en el largo plazo, las tecnologías limpias desaparecerían por completo y las sucias se difundirán por toda la economía. La implicancia de este resultado de innovación es el incremento sostenido de la producción con energía sucia y mayores emisiones de dióxido de carbono. Asimismo, en este escenario se estima un aumento de la temperatura global en 11 grados Celsius en los próximos 200 años. Las tasas de innovación bajo *laissez-faire* y la evolución de la temperatura en este escenario pueden observarse en las figuras 6 y 7.

Figura 6:



Fuente: Acemoglu et al (2014)

Figura 7:



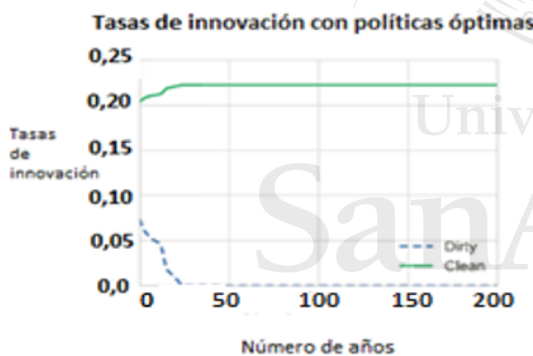
Fuente: Acemoglu et al (2014)

Este escenario sin regulación es comparado con un escenario en el que se adoptan instrumentos de política ambiental. Estos autores consideran como una política óptima la combinación de subsidios a la investigación y desarrollo de tecnología limpia e impuestos a las emisiones de dióxido de carbono. Si bien esta Tesis no se centra en el análisis de políticas óptimas en la literatura al ser

motivo de un nuevo estudio, se tomarán los resultados de la introducción de política ambiental sin adentrarse en el detalle de cuáles políticas serían óptimas y no se compararán los costos de estas políticas contra otras alternativas.

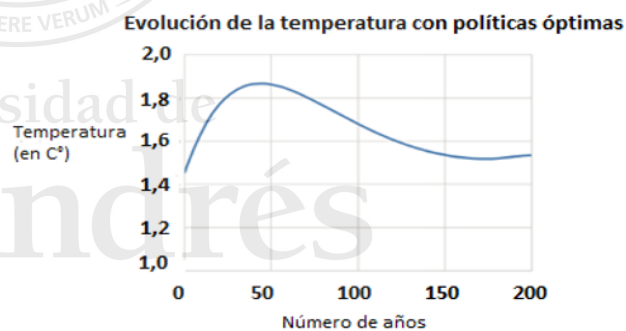
En el escenario en el que el gobierno se compromete con el diseño de política ambiental sugerido por los autores, la tasa de innovación de las tecnologías sucias convergerá a cero mientras que aumentan las tasas de innovación limpia. La teoría explica estos resultados exponiendo que estas tasas son estimuladas por la adopción de regulación ambiental temporal y luego se mantienen por el efecto de *path dependency* en la investigación y desarrollo de las tecnologías limpias. En este escenario, se estima que el aumento de la temperatura será menor a los 2 grados Celsius y que la temperatura se revierte y comienza a disminuir luego de cuarenta años. Es importante analizar diferentes situaciones para diferentes políticas, pero sirve como una primera comparación para entender la importancia de tomar acción. Las figuras 8 y 9 permiten ilustrar estas estimaciones.

Figura 8:



Fuente: Acemoglu et al (2014)

Figura 9:



Fuente: Acemoglu et al (2014)

La literatura ha planteado que la demora en introducir regulación ambiental puede incurrir en mayores costos en el futuro al aumentar la brecha tecnológica que motiva la innovación en tecnologías sucias y por los costos directos del cambio climático, como los costos de enfrentar desastres naturales o los costos a la salud humana durante el período sin regulación. Acemoglu et al (2014), estiman los costos en bienestar de mantenerse por cincuenta años en un escenario de *laissez-faire* y luego adoptar las políticas ambientales consideradas en las estimaciones anteriores,

i.e., impuestos a las emisiones de carbono y subsidios a la investigación y desarrollo en el sector limpio. Comparado con lo expuesto en la figura 8, en el que se adoptan estas mismas medidas inmediatamente, de demorarse en actuar, se generaría una pérdida de bienestar de 1.7%. Esta pérdida es modesta ya que, al haberse mantenido las tecnologías sucias por un mayor intervalo de tiempo, el consumo ha aumentado en este período haciendo que la pérdida no sea tan agresiva. Sin embargo, como en estos cincuenta años la brecha tecnológica aumenta entre los sectores limpios y sucios, un cambio rápido al introducir política ambiental no es deseable. Según sus estimaciones, la transición a tecnologías limpias se lograría luego de trescientos años con todos los riesgos a la humanidad y a la economía que esto puede generar en esos cientos de años sin reducir significativamente las emisiones de dióxido de carbono.



5. Reflexiones finales:

El cambio climático es un fenómeno que ha cobrado mayor relevancia en la escena política. Los avances científicos han permitido entender los efectos irreversibles y potenciales riesgos del creciente y alarmante calentamiento global para la humanidad y las economías. Si bien es difícil predecir sus costos es clara la urgencia y necesidad de tomar acciones para mitigar estos riesgos.

La mitigación del cambio climático es un desafío para la economía a nivel global al ser una externalidad negativa que posee causas y consecuencias internacionales, efectos de largo plazo en la humanidad y las sociedades, la incertidumbre de cuantificar su impacto y la irreversibilidad y peligro de sus efectos. Las firmas internacionales y los individuos contribuyen a la generación de gases de efecto invernadero y estas consecuencias afectan a todo el planeta.

Es por ello que tomar medidas para mitigar el cambio climático es indispensable en el plano internacional. Las principales conclusiones en la literatura sobre la necesidad de actuar destacan la relevancia del rol de la política ambiental, la necesidad de la coordinación internacional y la urgencia en tomar medidas de reducción de las emisiones de gas invernadero inmediatamente por los mayores costos y riesgos de demorarse en actuar.

Una de las acciones indispensables para reducir el calentamiento global es lograr la transición a procesos de producción que utilicen tecnologías limpias, i.e, tecnologías que no contribuyan a la acumulación de gases en la atmósfera. Es posible observar las conclusiones principales de la literatura del cambio climático en el desarrollo e introducción de tecnologías limpias en el marco de la literatura de cambio tecnológico dirigido y el medio ambiente.

En la actualidad existe un mayor desarrollo y avance de las tecnologías sucias frente a las limpias, esta brecha está presente en la mayoría de los sectores productivos. Sin una regulación ambiental, las firmas son más propensas a continuar en un camino de innovación sucia debido a su conocimiento previo en estas tecnologías; se generaría un *path dependency* hacia estas tecnologías. Para lograr incentivar la innovación limpia es importante la introducción de instrumentos de política ambiental que permitan estimular la investigación en este tipo de tecnologías. Una vez que

las políticas ambientales logran impulsar la innovación limpia, las políticas ya no serán necesarias al generarse la inercia de un camino de tecnologías limpias (Acemoglu et al, 2012).

Es necesario que estos esfuerzos por migrar a tecnologías limpias sean internacionales ya que no se generará suficiente reducción de las emisiones si no cooperan todos los países. Se necesita de coordinación internacional en esta transición. Que estas políticas sean internacionales y consideren las diferentes fases de desarrollo de los países es importante. Se necesita innovación y liderazgo en esta innovación: que los países desarrollados impulsen esta transición y faciliten la difusión a los países menos desarrollados. Es una problemática que puede solucionarse con el esfuerzo colectivo. Si bien aún existen diferentes preguntas en torno a cómo se debe organizar esta coordinación, es imprescindible el compromiso de todos los países. Es interesante expandir los estudios existentes a dar respuestas y recomendaciones a este problema de acción colectiva internacional.

El que sea suficiente adoptar políticas ambientales temporales muestra un escenario más optimista frente a otros autores que creen necesario el cese de actividades productivas para poder proteger el medio ambiente o la literatura de tecnología exógena que consideran las políticas ambientales como permanentes. Existe una amplia literatura referida a las recomendaciones de políticas óptimas y respecto a los costos económicos y costos en términos de desarrollo que las diferentes políticas pueden provocar. Es relevante expandir este trabajo considerando el diseño de políticas.

Una última contribución general de la literatura de *cambio tecnológico dirigido* y el medio ambiente es la urgencia en actuar debido a que demorarse implicaría mayores costos y el agravamiento de los impactos en la humanidad. Es importante tomar acciones ahora, adoptar políticas ambientales dirigidas a cada país, sus necesidades y capacidades, y lograr la cooperación internacional. Estas conclusiones son observadas en la industria automotriz y en estimaciones con datos del sector energético estadounidense. Ampliar los estudios empíricos de esta literatura sería interesante.

Estas contribuciones son importantes de considerar para los hacedores de política y organismos internacionales. Es necesario debatir en el centro de la escena política global cómo organizar a los

países para coordinarse en la mitigación del cambio climático. A nivel país y a nivel agregado es necesario tomar medidas ahora para lograr una estabilidad macroeconómica y un crecimiento sostenible con el medio ambiente.



Universidad de
San Andrés

6. Bibliografía:

- Acemoglu, D. (2002). Directed Technical Change. *Review of Economic Studies*, 69(4):781–810.
- Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L., y Hémous, D. (2012). The Environment and Directed Technical Change. *The American Economic Review*, 102 (1):131–166.
- Acemoglu, D., Akcigit, U., Hanley, D., y Kerr, W. (2014). ‘The Transition to Clean Technology’, NBER Working Paper No. 20743.
- Acemoglu, D., Aghion, P., y Hémous, D. (2014). The Environment and Directed Technical Change in a North-South Model. *Oxford Review of Economic Policy*, 30 (3):513–530.
- Acemoglu, D. (2015). Localised and biased technologies: Atkinson and Stiglitz’s new view, induced innovations, and directed technological change. *The Economic Journal*, 125:443–463.
- Aghion, P., Dechezleprêtre, A., Hémous, D., Martin, R., y van Reenen, J. (2012), ‘Carbon Taxes, Path Dependency and Directed Technical Change: Evidence from the Auto Industry’, NBER Working Paper No. 18596.
- Ahmad, S. (1966). On the theory of induced invention. *The Economic Journal*, 76:344–57.
- Atkinson, A.B. and Stiglitz, J.E. (1969). ‘A new view of technological change’, *The Economic Journal*, 79:573–78.
- Barrett, S. (1994), ‘Self-enforcing International Environmental Agreements’, *Oxford Economic Papers*, 46, 878–94.
- Crabb, J. M. y Johnson, D. K. N. (2010). Fueling Innovation: The Impact of Oil Prices and CAFE Standards on Energy-Efficient Automotive Technology. *The Energy Journal*, 31(1):199–216.
- Di Maria, C., y Smulders, S. A. (2004), ‘Trade Pessimists vs Technology Optimists: Induced Technical Change and Pollution Havens’, *The B.E. Journal of Economic Analysis and Policy*, 4(2), Article 7.
- Ekins, P. (2000). *Economic growth and the environmental sustainability: the prospects for green growth*. Routledge, London, UK.

- Felder, S., y Rutherford, T. F. (1993), ‘Unilateral CO2 Reductions and Carbon Leakage: The Consequences of International Trade in Oil and Basic Materials’, *Journal of Environmental Economics and Management*, 25(2), 162–76.
- Gillingham, K., Newell, R., y Pizer, W. (2008). Modeling endogenous technological change for climate policy analysis. *Energy Econ.*, 30: 2734–2753.
- Goulder, L., y Schneider, S. (1999). Induced technological change and the attractiveness of CO2 abatement policies. *Resour. Energy Econ.*, 21:211–253.
- Hémous, D. (2013), ‘Environmental Policy and Directed Technical Change in a Global Economy: The Dynamic Impact of Unilateral Environmental Policy’, CEPR Discussion Paper 9733.
- Heutel, G., y Fischer, C. (2013), ‘Environmental macroeconomics: environmental policy, business cycles, and directed technical change’, NBER Working Paper No.18794
- Hoel, M. (1996), ‘Should a Carbon Tax be Differentiated Across Sectors?’, *Journal of Public Economics*, 59, 17–32.
- Mattauch, L., Creutzig, F., y Edenhofer, O. (2012). Avoiding Carbon Lock-In: Policy Options for Advancing Structural Change. Working Paper 1, Department of Climate Change Economics, TU Berlin.
- Newell, R. G., Jaffe, A. B., y Stavins, R. N. (1999). The Induced Innovation Hypothesis and Energy-Saving Technological Change. *The Quarterly Journal of Economics*, 114(3):941–975.
- Nordhaus, W. D., y Boyer, J. (2000). *Warming the World: Economic Models of Global Warming*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Nordhaus, W. D. (1994). *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Nordhaus, W. D. (2007). A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change. *Journal of Economic Literature*, 45(3):686–702.
- Popp, D. (2002). Induced Innovation and Energy Prices. *The American Economic Review*, 92(1):160–180.
- Popp, D., Newell, R. G., y Jaffe, A. B. (2009). *Energy, the Environment, and Technological Change*. NBER Working Papers 14832, National Bureau of Economic Research, Inc.

- Romer, P.M. (1990). ‘Endogenous technological change’, *Journal of Political Economy*, 2(C): 71–102.
- Smulders, S., y de Nooij, M., (2003). The impact of energy conservation on technology and economic growth. *Resource and Energy Economics*, 25 (1), 59–79.
- Smulders, S., Toman, M., y Withagen, C. (2014). Growth theory and ‘green growth’. *Oxford Review of Economic Policy*, 30 (3):423–446.
- Stern, N. (2006). *The Stern Review on the Economics of Climate Change*. HM Treasury, London, UK.
- Stern, Nicholas. (2009). *A Blueprint for a Safer Planet: How to Manage Climate Change and Create a New Era of Progress and Prosperity*. London: Bodley Head.

Recursos virtuales:

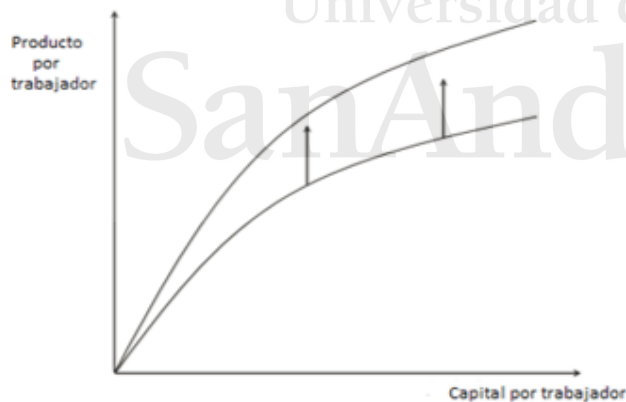
- Climate Change Overview. Banco Mundial. Recuperado el 5 de mayo de 2018 de <http://www.worldbank.org/en/topic/climatechange/overview>
- Lagarde, C. (5 de octubre de 2017). “A Time to Repair the Roof”. Fondo Monetario Internacional. Recuperado el 5 de mayo de 2018 de <https://www.imf.org/en/News/Articles/2017/10/04/sp100517-a-time-to-repair-the-roof>
- Fifth Assessment Report, Summary for Policymakers, 2014. IPCC. Recuperado el 26 de abril de https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf
- Global Climate Change. NASA. Recuperado el 6 de mayo de 2018 de <https://climate.nasa.gov/>
- World Economic Outlook, October 2017. Fondo Monetario Internacional. Recuperado el 5 de mayo de 2018 de <https://blogs.imf.org/2017/10/10/global-economic-upswing-creates-a-window-of-opportunity/>

7. Anexo:

Anexo 1: Explicación de cambio tecnológico dirigido en Acemoglu (2015):

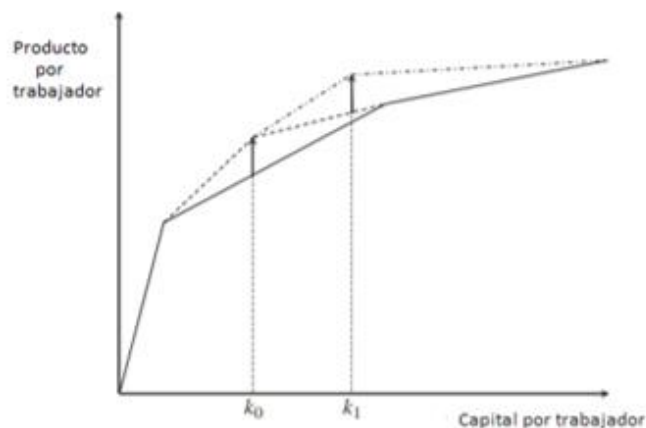
La literatura del crecimiento económico moderno asume que las mejoras tecnológicas pueden verse como aumentos en la productividad de todos los factores, i.e., en todas las combinaciones de capital-trabajo. Esta literatura considera al progreso tecnológico como neutral. La definición neutral de Hicks supone que se crean las mismas ganancias proporcionales en producto más allá de las proporciones de los factores. La definición de neutral de Harrod que es central en la teoría económica es similar a la de Hicks. En ‘A New View of Technological Change’, Atkinson y Stiglitz (1969), adoptan una postura diferente a la ortodoxa de este momento al asumir que es más plausible considerar que el cambio tecnológico es localizado y mejora la productividad de las actividades o técnicas usadas actualmente y técnicas similares a las utilizadas que tengan ratios de capital-trabajo similares (*neighbouring techniques*), y no en todas las actividades.

Figura A: Una mejora tecnológica aumenta la productividad en cantidades similares en ratios de capital-trabajo



Fuente: Acemoglu (2015)

Figura B: Una mejora tecnológica aumenta la productividad en los ratios de capital-trabajo actuales o en ratios similares (neighbouring capital-labor ratios), sin efecto en la productividad en otros ratios capital-trabajo



Fuente: Acemoglu (2015)

En la figura A puede observarse una versión estilizada de la postura ortodoxa. Por el contrario, en la figura B, se muestran las mejoras en la técnica actualmente en uso que se corresponde con el actual ratio de capital-trabajo (k_0) junto con una mejora en técnicas con ratios capital-trabajo similares (k_1). De la figura B, puede entenderse al cambio tecnológico como sesgado ya que la pendiente de la función de producción cambia de manera diferentes frente a los distintos ratios de capital-trabajo. El progreso tecnológico puede dirigirse hacia ratios de capital-trabajo o técnicas específicas.

Este progreso tecnológico es intuitivo en un contexto de *learning-by-doing* o, como menciona Acemoglu (2015), en un contexto en el que este cambio tecnológico es resultante de la investigación y desarrollo. La actividad de investigación puede re-dirigirse hacia la mejora de algún proceso y se obtendrá un conocimiento específico del mismo.

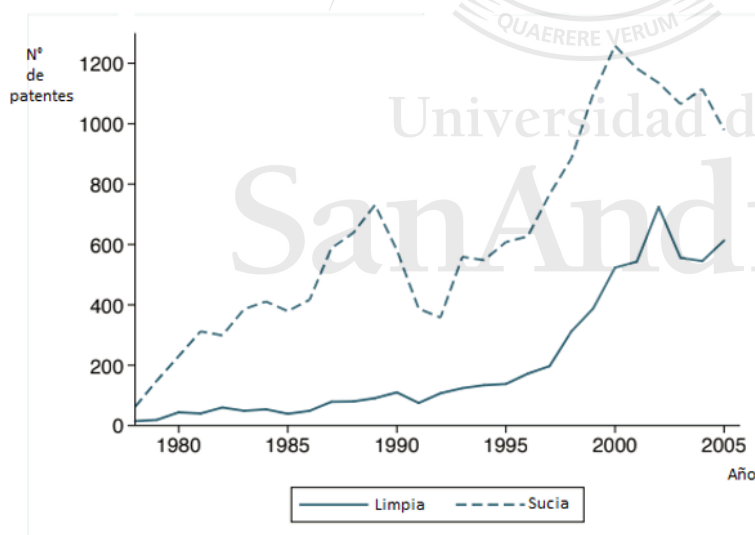
La literatura de innovación inducida, previa al estudio de Atkinson y Stiglitz realizan observaciones similares a estos autores. Estos estudios intentan entender qué tipo de innovaciones son generadas por la economía y cuáles son las implicancias de estas innovaciones en los precios de los factores y de la distribución del ingreso. A diferencia de Atkinson y Stiglitz, no desagregan la función de producción en actividades o técnicas.

Hicks (1932), menciona que un cambio en el precio relativo de los factores de producción puede incentivar la innovación dirigida a economizar el uso del factor que es ahora relativamente más caro. Kennedy (1964), Drandakis y Phelps (1965), Samuelson (1965) y Ahmad (1966) estudian este concepto.

Si bien en la actualidad, la ortodoxia es influyente, los aportes de Atkinson y Stiglitz son cada vez más aceptados. Diferentes preguntas como el rol de la tecnología apropiada o inapropiada en el desarrollo económico, el impacto del comercio en el cambio tecnológico, cambio tecnológico sesgado al trabajo capacitado, entre otros, necesitan considerar un cambio tecnológico localizados, sesgado y dirigido.

Anexo 2: Número de patentes limpias y sucias 1978-2005 en Aghion et al (2012):

Figura C: Número de patentes limpias y sucias entre 1978-2005



Fuente: Aghion et al (2012) con base de datos PATSTAT