Las acciones globales dirigidas a enfrentar el cambio climático, así como la demanda en aumento por el desarrollo y uso de energías sostenibles, tienen consecuencias claves para los mercados de combustibles fósiles, y especialmente para el carbón en tanto el combustible más intensivo en carbono. La eliminación gradual del carbón como fuente energética es una realidad en la mayoría de los países de Europa y en la reciente COP23 (2017) realizada en Bonn, más de 20 países anunciaron una alianza global para salir del carbón. Colombia es el cuarto exportador de carbón térmico del mundo, con un 90% de su producción anual exportada, por lo que resulta urgente considerar estas tendencias globales y emprender acciones para frenar sus negativos impactos para el país.

Este documento describe el panorama actual en los países productores y consumidores de carbón más importantes y analiza las perspectivas para las exportaciones de carbón colombiano. Una evaluación a mediano y largo plazo de los mercados de carbón arroja un pronóstico sombrío: la competencia en aumento de los mercados del Atlántico y Pacífico mantendrán los precios del carbón bajos; la demanda futura de carbón colombiano de los actuales compradores continuará disminuyendo; India y China disminuyen su demanda externa de carbón y compensan su demanda con producción externa, al tiempo que aumenta la preocupación e intentos de regulación frente a la contaminación atmosférica. Estos argumentos se suman a los estudios e informes disponibles tanto en Colombia como a nivel internacional sobre los enormes impactos negativos y costos no cuantificados de la extracción de carbón en los territorios.

Mantener o aumentar los volúmenes de minería de carbón en Colombia debe ser revaluado como objetivo de política pública. Ignorar los riesgos presentados en este documento, así como las crecientes evidencias sobre los impactos socioambientales del carbón, pudiera conducir a un agravamiento de la "maldición de los recursos" y a un colapso de las economías locales que dependen de su extracción, si no se comienza a planificar una transición a mediano plazo hacia economías más diversificadas y sustentables.

OFICINA REGIÓN ANDINA
FUNDACIÓN ROSA LUXEMBURG
www.rosalux.org.ec

No. 1
HACIA UNA COLOMBIA POST MINERÍA DE CARBÓN: APORTES PARA UNA TRANSICIÓN SOCIAL Y AMBIENTALMENTE JUSTA

Número 1

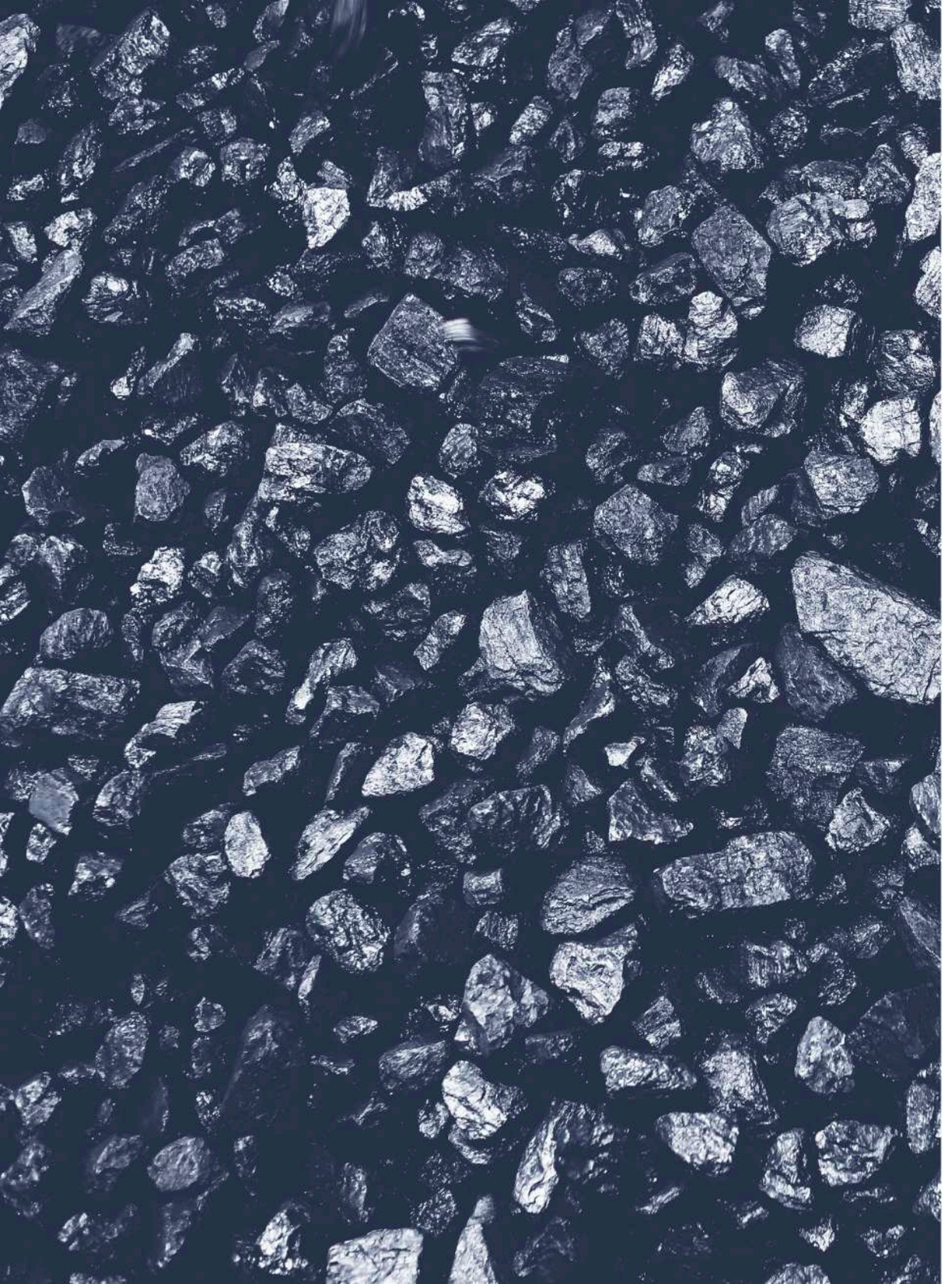
PERSPECTIVAS SOBRE LAS EXPORTACIONES DE CARBÓN COLOMBIANO

EN EL MERCADO INTERNACIONAL DE CARBÓN TÉRMICO HASTA 2030

PAO-YU OEI & ROMAN MENDELEVITCH

Serie
Hacia una Colombia post minería de carbón:
aportes para una transición social y ambientalmente justa

FUNDACIÓN ROSA LUXEMBURG
OFICINA REGIÓN ANDINA



Perspectivas sobre las exportaciones de carbón colombiano

En el mercado internacional de carbón térmico hasta 2030

Serie *Hacia una Colombia post minería de carbón: aportes para una transición social y ambientalmente justa,* Número 1

Perspectivas sobre las exportaciones de carbón colombiano en el mercado internacional de carbón térmico hasta 2030

Fundación Rosa Luxemburg, Oficina Andina
info.andina@rosalux.org.ec
www.rosalux.org.ec

Editora: Laura Rodríguez Ávalos
Textos: Pao-Yu Oei & Roman Mendelevitch
Traducción del inglés: Marcela Portillo
Apoyo editorial: Natalia Ortiz Hernández
Portada: Santiago Mojica
Diagramación de textos: Heidy González
Foto de portada: CC0 Creative Commons
Impresión: Torreblanca Agencia Gráfica

ISBN: 978-958-59855-3-7
ISBN (digital): 978-958-59855-7-5
Impreso en Bogotá, 2018

Este estudio se ofrece como un documento de trabajo para el debate y representa la opinión de los autores.
Esta publicación es de distribución gratuita y fue auspiciada por la Fundación Rosa Luxemburg con fondos del Ministerio Alemán para la Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ).

Obra licenciada bajo Creative Commons
atribución no comercial-SinDerivar

Serie
Hacia una Colombia post minería de carbón: aportes para una transición social y ambientalmente justa
Número 1

Perspectivas sobre las exportaciones de carbón colombiano
En el mercado internacional de carbón térmico hasta 2030

Pao-Yu Oei
Roman Mendelevitch

2018

OFICINA REGIÓN ANDINA
FUNDACIÓN ROSA LUXEMBURG

Resumen ejecutivo

Las sostenidas acciones globales para combatir el cambio climático están teniendo mayores consecuencias en países con combustibles fósiles y en especial en relación con reservas de carbón, por ser el combustible más intensivo en carbono. Dependiendo de distintos escenarios, entre 70-90% del carbón mundial debe permanecer sin quemarse para poder cumplir con la meta acordada internacionalmente de evitar un aumento mayor a 2ºC de la temperatura global promedio. La tecnología de captura, transporte y almacenamiento de carbono no será una opción para prolongar el uso de las centrales eléctricas de carbón. Por ende, apegarse a las metas de descarbonización implica la eliminación de todas las plantas eléctricas a carbón en las próximas décadas. La continuación de las inversiones en activos fósiles crean una "burbuja de carbono", que podría estallar cuando se implementen políticas climáticas rigurosas. Esto resultaría en inversiones estancadas en infraestructura intensiva en carbono tanto de países como de compañías con grandes reservas fósiles. Esto también afectaría a Colombia, ya que se estima que este país tiene alrededor de 5 Gt de reservas probables de carbón.

En la actualidad, Colombia es el cuarto exportador más grande de carbón térmico en el mundo (79,0 Mt en el 2013 y 78,8 Mt en el 2014). Provee grandes cantidades de este producto a clientes europeos y del mediterráneo, pero también suministra algunas cantidades a EE.UU., en la costa del Golfo, como también a Centroamérica y Suramérica. Sin embargo, el consumo de carbón térmico en la OCDE ha disminuido en cerca de un 12% desde 2005. La demanda futura de carbón colombiano en la mayoría de los países europeos y en EE.UU. probablemente seguirá cayendo en las próximas décadas. Algunas razones por las que esto está sucediendo son el aumento de fuentes de energía renovables, estándares ambientales nacionales más estrictos y, en el caso de EE.UU., la oferta alternativa de gas más barato. A nivel mundial, varias plantas de carbón, sumando una capacidad total de más de 165 GW, han sido retiradas desde el 2010 o han anunciado su cierre. La mayoría de estas, sumando 100 GW, está ubicada en EEUU. Por su parte, el consumo de carbón duro por parte de la Unión Europea se ha reducido a la mitad desde 1990.

El futuro de la demanda de carbón en la UE puede ser visto según dos narrativas paralelas, que más o menos siguen una división entre Este y Oeste. La mayoría de los países de Europa occidental han comenzado a recorrer el camino hacia la eliminación gradual del carbón a mediano plazo. Siete pequeños países de la UE ya no tienen carbón en sus matrices energéticas: Bélgica, Chipre, Luxemburgo, Malta y los Países Bálticos (Estonia, Letonia y Lituania). Portugal está planeando la eliminación del carbón para el 2020, seguido por Finlandia, que planea eliminarlo en el transcurso de la década de 2020. El Reino Unido, Dinamarca y Austria han anunciado que

llevarán a cabo su eliminación hasta el 2025. La eliminación de carbón por parte de Alemania, que está menos avanzada, se está pensando para la década de 2040. Otros países del sur y del oeste de Europa (Francia, España, Italia, etc.) están tomando un camino similar, disminuyendo la demanda de carbón a mediano plazo. Como consecuencia de todo esto, el papel de Países Bajos como el centro europeo de importaciones de carbón probablemente se debilitará. Por otro lado, contra todos los esfuerzos de mitigación del cambio climático, algunos países de Europa del Este (más notablemente Polonia y la República Checa) han optado por apoyar la generación de electricidad a partir de carbón, respaldando su industria nacional de carbón. Esto reduce la posibilidad de que haya más importaciones de Colombia. Turquía e Israel, por otro lado, están planeando construir varias plantas de carbón. El carbón colombiano, sin embargo, tendrá que competir con los proveedores locales y con los envíos de Estados Unidos, Sudáfrica y Rusia.

Tradicionalmente, los Estados Unidos han exportado carbón en tiempos de altos precios del carbón y fuerte demanda de las economías europeas, e importado carbón en tiempos de bajos precios del carbón y de una prolongada demanda a nivel nacional. No obstante, esta situación ha cambiado fundamentalmente, debido a la "revolución del *shale gas* (o gas de lutita)" y la creciente participación de las energías renovables. El sector de producción nacional estadounidense se encuentra sometido a una gran presión y los precios cayeron alrededor de 50% entre el 2010 y el 2015. Incluso si la era del gas barato acaba pronto, las regulaciones ambientales actuales prescriben la eliminación del carbón. Este pronóstico sombrío para el sector carbón de Estados Unidos no deja espacio para las exportaciones de carbón colombiano a este país en el futuro. Por el contrario, EE.UU. podría convertirse en un competidor del carbón colombiano en el mercado del Pacífico en el caso improbable de que ceda la actual oposición de los estados de la Costa Oeste de EE.UU. a la construcción de terminales de exportación de carbón del río Powder, de Wyoming.

Brasil seguirá dependiendo principalmente de fuentes de energía renovables para la generación de electricidad, y de las importaciones de gas natural licuado para la generación de energía térmica, en vez de aumentar ampliamente la participación del carbón. Chile se beneficia de un vasto potencial de energía renovable y busca aumentar su oferta. Sin embargo, este país también planea mantener su base de generación eléctrica a partir de carbón para asegurar la disponibilidad de energía, por lo cual continuará dependiendo del carbón importado. Colombia muy probablemente tendrá un rol importante como exportador pero, como se ha señalado, podría enfrentar una competencia cada vez más fuerte de los proveedores de EE.UU. Lo mismo aplica para los futuros suministros a México.

El mercado mundial del carbón térmico tradicionalmente estaba dividido en un mercado del Pacífico y uno del Atlántico, con diferencias entre los precios marcadas por separaciones geográficas y otras condiciones del mercado. Colombia, junto con EE.UU. y Sudáfrica, tiene una posición favorable para abastecer el mercado europeo. Indonesia y Australia se benefician de su cercanía a los mercados de China, Corea, Japón y los países del Sudeste Asiático. Sin embargo, gracias al aumento del comercio entre las regiones, la división tradicional se ha desdibujado y los precios ahora guardan un vínculo más fuerte. Hoy en día, los precios mundiales del carbón térmico son débiles a causa de la desaceleración del crecimiento de la demanda y de un exceso de oferta, como también del bajo precio del petróleo, que contribuye, mediante el suministro de combustible requerido, a la maquinaria para minería y a buques de carga. Como se demuestra en este análisis, en caso de abrirse nuevos mercados para el carbón térmico colombiano, estos estarán ubicados principalmente en la región del Pacífico.

Se espera que la reciente ampliación del Canal de Panamá aumente la competitividad de las exportaciones de carbón térmico colombiano en el mercado del Pacífico, ya que, gracias a esta, los barcos podrían evitar el recorrido alrededor de Suramérica. Sin embargo, el grado en que un proveedor en particular de carbón térmico puede ser sustituido depende de las especificidades de la central térmica y del carbón para la cual está diseñada. El carbón colombiano de alta calidad es compatible con plantas termoeléctricas modernas altamente eficientes. El carbón de Indonesia y Sudáfrica generalmente es de calidad más baja y necesita más preparación y beneficio para poder sustituir el carbón colombiano en calderas de alta presión y supercríticas. Inversamente, las centrales térmicas activadas por carbón en India y el Sudeste Asiático están diseñadas para carbón de baja calidad y no pueden cambiarse con facilidad a otros proveedores que ofrezcan carbón de calidad más alta, como el colombiano.

Actualmente, el mercado del Pacífico está siendo dominado por Indonesia y, en menor grado, por Australia, que pueden proveer carbón con precios más bajos que Colombia. Varios factores desfavorecen la posibilidad de que China se convierta en un gran importador de carbón térmico colombiano, ya que la caída prevista de la demanda de carbón deja poco espacio para las importaciones a gran escala. Sin embargo, los nuevos estándares de calidad para el carbón importado le darían ventaja al carbón colombiano sobre el carbón de baja calidad de Indonesia. La demanda china de carbón importado probablemente disminuirá gracias a que el transporte interno será más fácil, y al programa "coal-by-wire" (carbón por cable). Además, las plantas de carbón de otros países del Sudeste Asiático están diseñadas para el carbón de baja calidad de Indonesia, que tiene un precio bajo debido a las cortas distancias y al fácil acceso marítimo. Por tanto, es muy difícil que el carbón colombiano entre a estos mercados.

Es probable que India decida el futuro de los mercados internacionales de carbón térmico, debido al fuerte aumento

de su demanda proyectada de energía. Incluso en caso de que esto suceda, no es claro si Colombia podría obtener un rol en la provisión del carbón que India necesite. Actualmente, más del 85% de las instalaciones "jóvenes" en India para generación a partir de carbón utiliza una tecnología subcrítica, adaptada para el carbón indio de bajo contenido de energía y alto contenido de cenizas. En Sudáfrica e Indonesia se encuentran tipos similares de carbón, mas no en Colombia. Japón y Corea del Sur están planeando construir nuevas plantas de carbón adaptadas para quemar carbón de alta calidad de Australia, que también podrían utilizar carbón colombiano. Cuando en junio del 2016 se anunció que los primeros envíos de Colombia, de ~0,6 Mt, llegarían a Corea del Sur, esta noticia empezó a difundirse. Dichos envíos representaron sólo una pequeña parte de las importaciones totales de Corea, que en su mayoría vienen de Australia (~5 Mt/mes) e Indonesia (~2-3 Mt/mes), pero aun así hicieron que los precios del carbón bajaran a su punto mínimo en 10 años.

Este estudio examina las posibles tendencias futuras del mercado internacional de carbón térmico, enfocándose en el potencial de exportación de Colombia. El estudio se enfoca en consideraciones comerciales y económicas, y también tiene en cuenta los aspectos de la política climática a futuro. Los hallazgos muestran que una gran parte de las exportaciones colombianas se desvanecerá en los próximos años. Es poco probable que las nuevas centrales térmicas que posiblemente se construyan en otros países compensen la pérdida de estas exportaciones. Además, el crecimiento de la competencia en los mercados de carbón del Atlántico y del Pacífico disminuirá aún más los precios y por ende también los ingresos de las compañías de minería. El número creciente de despidos y quiebras declaradas, incluyendo a tres de las cuatro principales compañías mineras de carbón de EE.UU. en el 2015, podría ser solo el comienzo de una "burbuja de carbono" que devalúe las inversiones en carbono. Más y más seguros y fondos de pensiones están modificando sus portafolios, desviándose de los combustibles fósiles e invirtiendo en sectores más sostenibles. De acuerdo con todo esto, la idea de continuar o, más aún, aumentar los volúmenes de la minería en Colombia debería ser evaluada más cuidadosamente, desde una mirada económica. Ignorar los riesgos descritos podría conducir a más inversiones estancadas en instalaciones de minería, y sería otro ejemplo de cómo el curso que toman los recursos disminuye el crecimiento económico de Colombia, especialmente en La Guajira y Cesar.

Contenido

1. Introducción **1**

2. Introducción al mercado internacional de carbón térmico **5**

2.1 El mercado internacional de carbón térmico y el papel de Colombia 5
2.2 Estructura de costos y formación de precios 8
2.3 Rendimiento del carbón colombiano, en comparación con otros competidores: calidad del carbón, contenido de energía, precio de producción 9

3. Minería de carbón en Colombia **13**

3.1 Estado actual del sector carbón 13
3.2 Actividades mineras 15
3.3 Exportaciones de carbón térmico 17

4. Demanda futura del carbón térmico colombiano: tendencias internacionales **21**

4.1 Tendencias del consumo de carbón en países importadores actuales 21
4.1.1 Alemania 23
4.1.2 Países Bajos 23
4.1.3 Reino Unido 25
4.1.4 Turquía 25
4.1.5 Israel 26
4.1.6 EE.UU. 27
4.1.7 Brasil 29
4.1.8 Chile 29

4.2 Evolución de posibles nuevos socios de exportación 30
4.2.1 China 30
4.2.2 India 31
4.2.3 Japón 32

4.3. Efectos en el sector carbón colombiano 33
4.3.1 Tendencias de socios comerciales existentes 34
4.3.2 Potenciales nuevos mercados de exportación para el carbón colombiano 35

5. Otras tendencias globales que influyen en el futuro consumo de carbón **38**

5.1 ¿Cuál es la influencia de la tecnología CCTS sobre la demanda internacional de carbón? 38
5.1.1 Descripción de la tecnología 38
5.1.2 Bajas probabilidades de lanzamiento de la tecnología hasta el 2030 39

5.2 Políticas climáticas globales dirigidas al consumo de carbón 40
5.2.1 Políticas de demanda para disminuir las emisiones 41
5.2.2 Políticas de oferta 43

6. Conclusión **48**

7. Lista de Referencias **51**

Lista de figuras

Figura 1: Mayores exportadores, importadores y flujos de comercio de carbón térmico en 2013 y 2014 7

Figura 2: Costos indicativos del suministro de carbón térmico a Europa noroccidental, por componente de cadena de suministro y por país, 2010-13, excluyendo impuestos y regalías (en USD/t) 11

Figura 3: Minas de carbón, unidades de generación eléctrica e infraestructura de carbón existente y propuesta en Colombia 14

Figura 4: Volúmenes anuales de producción de las empresas de carbón más grandes de Colombia entre 2008-2013 (en Mt) 15

Figura 5: Principales destinos de exportación del carbón térmico colombiano (en Mt) 18

Figura 6: Participación de la generación por carbón en el mix eléctrico de los socios seleccionados de comercio de carbón colombiano, de 1970 a 2013 (en %) 22

Figura 7: Posible introducción futura de CCTS: expectativas versus realidad 40

Lista de tablas

Tabla 1: Mayores productores y consumidores de carbón térmico en el 2014 (en Mt) 6

Tabla 2: Contenido de energía del carbón por región de producción (en kcal/kg y MJ/t) 9

Tabla 3: Tarifas de los fletes según ruta elegida (en USD/t) 10

Tabla 4: Importadores del carbón colombiano. Proporción del carbón colombiano respecto al total de carbón importado 19

Tabla 5: Ficha informativa del año 2014 para países seleccionados 22

Tabla 6: Políticas reguladoras del lado de la demanda para reducir la generación de energía a partir del carbón 44

Lista de cuadros

Cuadro 1: Efectos externos negativos de la combustión de carbón 3

Cuadro 2: Rastreando el origen del suministro de carbón térmico 8

Cuadro 3: Posibilidad de sustitución de distintas fuentes de carbón, desde el punto de vista de los productores de energía 12

Lista de abreviaturas y siglas

AIE	**Agencia Internacional de Energía**
bcm	**Mil millones de metros cúbicos**
CCS	**Captura y almacenamiento del carbono**
CCTS	**Captura, transporte y almacenamiento del carbono**
CCU	**Captura y utilización del carbono**
CE	**Comisión Europea**
CO_2	**Dióxido de carbono**
CO_2-EOR	**Recuperación Mejorada de Petróleo utilizando CO_2**
COP	**Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático**
EJ	**Exajulios**
FOB	**Free on board (libre a bordo).** Los costos incluyen todo costo desde el momento de la producción hasta la carga del carbón en un buque listo para el envío.
GJ	**Gigajulios**
Gt	**Gigatoneladas**
HELE	**Alta eficiencia y bajas emisiones**
INDC	**Contribución prevista y determinada a nivel nacional**
Mt	**Megatoneladas**
OCDE	**Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos**
PJ	**Petajoule**
t	**Tonelada**
WEO	**World Energy Outlook** (Perspectivas de la energía en el mundo).

El carbón es el combustible fósil que produce más emisiones de gases responsables del cambio climático global (72% de las emisiones relacionadas con energía).

En 2017, Turquía, Europa y Estados Unidos lideraban la importación de carbón colombiano usado para producir electricidad en plantas termoeléctricas.

1. Introducción

Los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), adoptados en la Cumbre sobre el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, en Septiembre del año 2015, incluyen entre sus metas clave afrontar el cambio climático (ONU 2015a). Esta meta fue confirmada por el Acuerdo de París, que busca fijar un límite al aumento de la temperatura global que esté muy por debajo de 2ºC y dirigir esfuerzos para acordar una meta aún más exigente, llevándola a 1,5ºC (ONU 2015b). La necesidad de combatir el calentamiento global es ampliamente aceptada hoy en día por los distintos gobiernos (Líder del G7 2015; Cumbre Mundial de las Regiones 2014), instituciones internacionales (Grupo del Banco Mundial 2015; IPCC 2014), organizaciones de la sociedad civil y grupos religiosos (p. ej. Iglesia Católica: Papa Francisco 2015). El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) calculó un "presupuesto" de la cantidad máxima de emisiones posibles entre 2011 y 2050, para tener una probabilidad mayor al 50% de alcanzar la meta de 2ºC. El presupuesto para estos 40 años se ubica entre 870 y 1.240 mil millones de toneladas de CO_2 (IPCC 2014).

La COP23 realizada en 2017 demostró que existe un ímpetu importante para la eliminación progresiva del carbón (phase-out coal) en algunas economías, como Canada, Dinamarca, Italia, Holanda y el Reino Unido a través de la recientemente formada "Alianza Global para la Eliminación Progresiva del Carbón" (Powering Past Coal 2017). Aún se necesitan políticas concretas para alcanzar estos objetivos, al tiempo que existen otras que aunque no buscan mitigar el cambio climático, sí están contribuyendo a la reducción del consumo de carbón. Este es el caso de la moratoria establecida por China en 2016 a nuevas plantas eléctricas a base de carbón y de minas, así como la reducción de la demanda de carbón en India, en parte debido a la preocupación por la contaminación atmosférica. A pesar de las miradas escépticas que consideran que el mundo no puede funcionar sin carbón, la industria de combustibles fósiles comienza a sentir que sus perspectivas se reducen y esta tendencia no se revertirá incluso considerando el cambio de gobierno en Estados Unidos.

Un reto principal para poder afrontar el calentamiento global es la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). La quema de combustibles fósiles es la principal causa del aumento de las emisiones mundiales de GEI (ver Cuadro 1). Por ende, la mayoría de las reservas mundiales de combustibles fósiles, equivalentes a 11.000 Gt de CO_2, no debe ser quemada (Meinshausen et al. 2009). Entre 82% y 88% de las reservas globales de carbón son consideradas "inquemables", es decir, deben permanecer sin explotarse, en comparación con 35% de las reservas de petróleo y 50% de gas que no podrán usarse frente a la necesidad global de frenar el aumento de las temperaturas (McGlade & Ekins, 2015). Por esto se necesitan, tan pronto como sea posible, políticas efectivas para frenar el combustible fósil y, en particular, el consumo de carbón.

La exploración constante y continua para encontrar nuevos recursos fósiles ha conducido a un cálculo de reservas (11.000 Gt de CO_2) que exceden diez veces el presupuesto permitido (870-1.240 Gt de CO_2) para frenar el aumento de la temperatura global. Esta "burbuja de carbono", como la llaman, podría estallar cuando políticas climáticas más rigurosas obliguen a abandonar reservas previamente descubiertas. Como consecuencia de esto, las inversiones de países y compañías con grandes reservas fósiles en infraestructuras intensivas en carbono quedarían en un limbo. Muchas compañías estatales y fondos de pensiones sufrirían las consecuencias porque han invertido en empresas de recursos naturales y/o de combustibles fósiles. La campaña mundial de desinversión, incluyendo la Carbon Tracker Initiative (iniciativa de rastreo de carbono), está motivando a los y las inversionistas a redirigir sus inversiones de industrias intensivas en carbono a sectores más sustentables. Un número creciente de fondos de pensiones y seguros, incluyendo el Fondo de Pensiones Noruego Global[1] y las compañías de seguros Axa y Allianz, han modificado ya sus estrategias de inversión fuera de los recursos fósiles debido a razones morales y económicas. (Leaton 2011; Marshall 2013; HSBC 2012; Leaton et al. 2014)

Colombia también se verá afectada por las acciones globales para combatir el cambio climático debido a sus dependencia de la exportación de combustibles fósiles. Se estima que este país tiene reservas de crudo que se acercan a los 2,4 mil millones de barriles, 161 bcm de reservas de gas natural, 62 bcm de gas metano de carbón y 5.041 Mt de reservas probables de carbón (EIA 2015a). Más del 90% del carbón extraído en Colombia está siendo exportado en la actualidad, contribuyendo de manera significativa a su PIB total. La reducción del consumo de carbón por parte de sus principales socios de exportación (EE.UU. y Europa) y la caída de los precios del carbón afectarán la economía colombiana.

Por esta razón, este estudio investiga las posibles tendencias futuras del mercado internacional de carbón térmico, enfocándose en el potencial de exportación de Colombia. El estudio se enfoca en consideraciones económicas y de negocios y en aspectos de la política climática, dejando de lado intencionalmente otros problemas asociados a la extracción de carbón en Colombia. Existe, sin embargo, una gran variedad de estudios que ponen distintos focos en aspectos ambientales y de salud (CINEP 2012; CINEP/PPP 2016; CENSAT 2015; Fierro Morales 2014; Greenpeace 2008); en derechos humanos y condiciones laborales (Moor y van de Sandt 2014; Ganswindt, Rötters y Schücking 2013; CAN 2016a; Romero Epiayú y Barón Romero 2013; Hawkins 2014; Chomsky y Striffler 2014; Roa 2013; Coronado Delgado et al. 2014; CINEP/PPP 2014; Roa Avendano et al. 2012) o en las instituciones financieras detrás de las compañías mineras (Schücking 2013).

1. Norwegian Government Pension Fund Global.

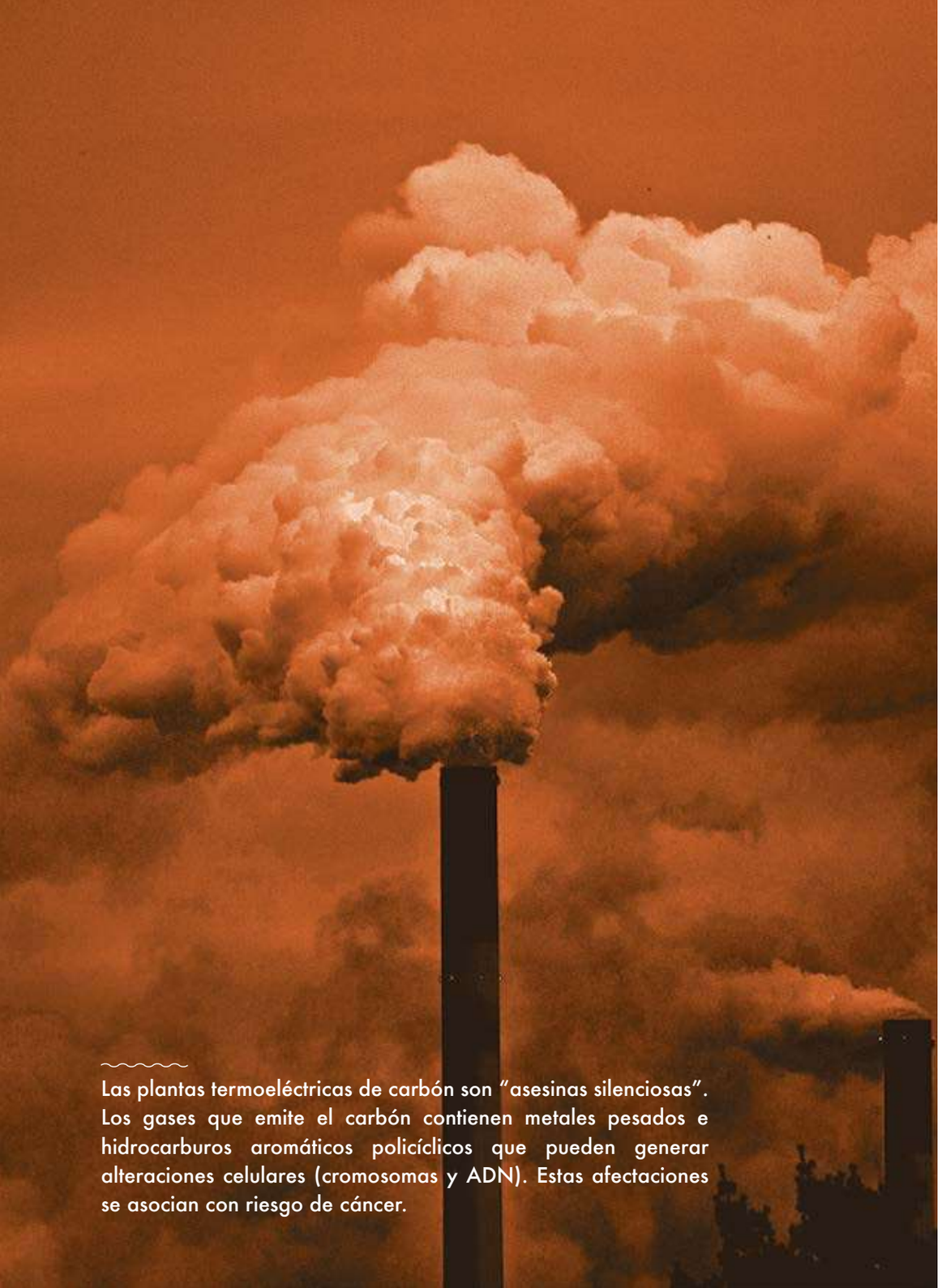
Este documento está estructurado de la siguiente manera: después de la introducción sigue una sección que describe el mercado internacional del carbón térmico y luego un análisis del statu quo del sector de carbón térmico en Colombia en la tercera sección. La cuarta sección examina los destinos actuales y futuros potenciales y clave de las exportaciones de carbón colombianas, aportando ideas sobre la demanda actual de carbón y las tendencias futuras. La quinta sección profundiza en distintas tendencias técnicas y políticas que podrían influir en el futuro consumo del carbón a nivel mundial, antes de que se extraigan conclusiones finales en la sexta sección.

Cuadro 1: Efectos externos negativos de la combustión de carbón

La combustión de combustibles fósiles (carbón, gas y petróleo) implica una lista larga de efectos externos negativos, incluyendo emisiones de dióxido de carbono (CO2), óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SO2), mercurio, polvo, materia particulada fina y ruido (CE 2003). La quema de carbón resulta en altísimos costos externos, calculados entre 80 y 100 €/MWh, según un estudio realizado por Ecofys (2014) para la Comisión Europea (CE). Esto es el doble del precio promedio al por mayor de la electricidad europea (Agora Energiewende 2014).

Adicionalmente, la extracción de recursos conlleva contaminación indirecta y devastación a gran escala, y obliga a miles de personas a cambiar el lugar de su residencia. Las compañías internacionales de recursos, por su parte, obtienen inmensas ganancias y a veces incluso reciben subsidios del Estado ("polluter profits" o "el que contamina, cobra") (Richards y Boom 2015). La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE 2015) publicó un estudio que mejora la comprensión del rango y la magnitud de los subsidios para combustibles fósiles en distintos países. En dicho estudio, contaron cerca de 800 políticas individuales que apoyaron la producción o el consumo de combustibles fósiles en países de la OCDE y en seis grandes economías socias (Brasil, la República Popular China, India, Indonesia, la Federación de Rusia y Sudáfrica) con un valor total de US$160-200 mil millones anuales en subsidios durante el período 2010-2014.

Un estudio global del Fondo Monetario Internacional (FMI 2015) calculó una cifra total de subsidios a combustibles fósiles equivalente al 6,5% del PIB mundial. Este notable monto incluye los costos de subsidios directos e indirectos, así como impuestos a la energía fijados por países por debajo de niveles que reflejen completamente el daño ambiental relacionado con el consumo de energía.



Las plantas termoeléctricas de carbón son "asesinas silenciosas". Los gases que emite el carbón contienen metales pesados e hidrocarburos aromáticos policíclicos que pueden generar alteraciones celulares (cromosomas y ADN). Estas afectaciones se asocian con riesgo de cáncer.

2. Introducción al mercado internacional de carbón térmico

El carbón no es un producto homogéneo, pero comúnmente se categoriza como carbón térmico, carbón de coque o metalúrgico y lignito, con base en sus propiedades materiales y usos. El carbón térmico es el conjunto de los tipos de carbón que generalmente se queman para producir vapor[2]. Alrededor del 70% del carbón térmico es utilizado para producir electricidad y calor, y el resto se usa más que todo para otras actividades industriales que consumen calor (AIE 2015c, III.68).

El carbón térmico es extraído de la superficie o de minas subterráneas, dependiendo principalmente de la profundidad en que se encuentre el manto de carbón (Speight 2012). El carbón bruto se procesa mediante operaciones de trituración, filtración y beneficio/lavado, para cumplir con las especificaciones del cliente. Para transportar el carbón a un puerto o mercado, lo más común es usar ferrocarriles, pero también se usan barcazas de río (así como otros medios de transporte para distancias cortas). Cuando la cadena de suministro lo requiere, el carbón es almacenado en pilas al aire libre o en silos cerrados.

2.1 El mercado internacional de carbón térmico y el papel de Colombia

La demanda a gran escala del carbón térmico se originó en los siglos dieciocho y diecinueve, ya que su uso para dar energía a las máquinas de vapor fue central en la Revolución Industrial y en el crecimiento económico subsiguiente de Europa y Estados Unidos (Fernihough y O'Rourke 2014; Chandler 1972). Hacia comienzos del siglo veinte, el carbón se había convertido en la fuente dominante de energía eléctrica a nivel mundial. Sin embargo, entre comienzos y mediados del siglo veinte perdió poder debido al petróleo y al gas (Smil 2000).

La crisis del petróleo de la década de 1970 provocó la recuperación del mercado de carbón térmico, ya que muchos países que habían importado grandes cantidades de petróleo para la generación de energía eléctrica decidieron diversificar sus fuentes (AIE 1997, 25). El carbón era atractivo como sustituto del petróleo debido a su gran abundancia y bajo precio (Thurber y Morse 2015, 12–13). De 1980 a 2000, el consumo de carbón térmico creció en la mayoría de las regiones dentro y fuera de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (siendo Europa una excepción), y de 2000 a 2005 hubo un gran salto en el consumo de carbón térmico en países como China y el resto de la región Asia-Pacífico (AIE 2014d).

Desde el año 2005, el consumo de carbón térmico en los países de la OCDE ha disminuido alrededor del 12% (AIE 2015c) debido a la reducción del consumo de energía y, sobre todo, del consumo de carbón (AIE 2014e, 172). En este mismo período el

2. El carbón metalúrgico es un carbón bituminoso que se usa para producir coque destinado a la industria del hierro y acero. El lignito es un carbón marrón de baja calidad que también se usa para generar vapor.

consumo de carbón también ha aumentado sustancialmente en países por fuera de la OCDE (AIE 2015c). Este crecimiento rápido de la demanda ha generado un número importante de inversiones en capacidad de suministro e infraestructura de transporte (AIE 2014e, 186). Sin embargo, desde 2015 se observa una desaceleración en el crecimiento de la demanda de carbón en términos globales.

Tabla 1: Mayores productores y consumidores de carbón térmico en el 2014 (en Mt)

Mayores productores en 2014		Mayores consumidores en 2014		
China (3.200 Mt)	Estados Unidos (770 Mt)	China (3.280 Mt)	India (760 Mt)	Estados Unidos (750 Mt)
India (560 Mt)	Indonesia (470 Mt)	(Otros países)		
		Japón (137 Mt)	Corea del Sur (100 Mt)	
(Otros países)		(Otros países)		
Colombia (84 Mt)		Alemania (46 Mt)	Reino Unido (42 Mt)	
Producción mundial 6.150 Mt		Consumo mundial 6.090 Mt		

Fuente: AIE (2015c).

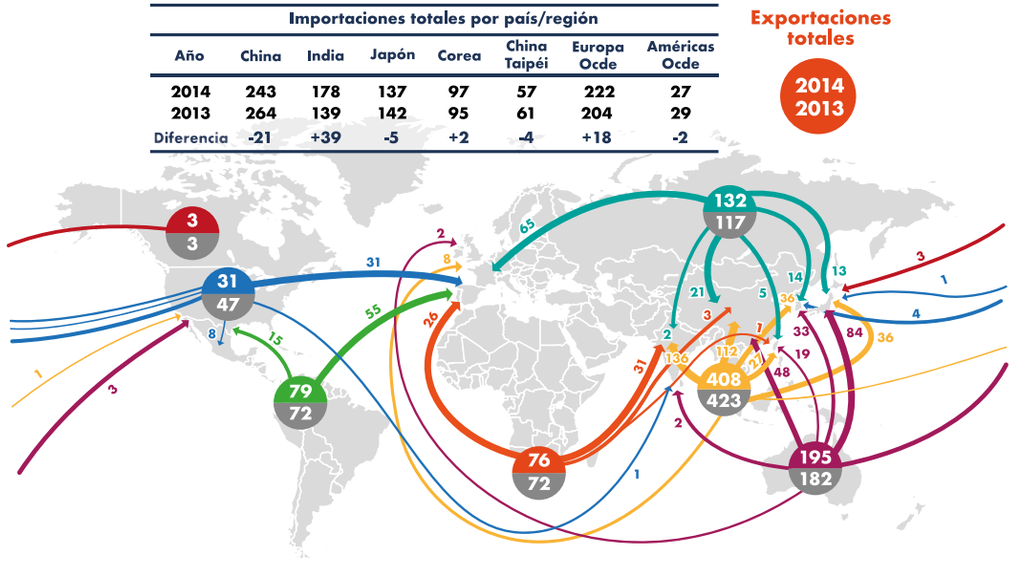
Desde los 80, China ha sido el mayor consumidor de carbón térmico en el mundo. India ha doblado su consumo casi al doble desde el 2005, convirtiéndose en el segundo consumidor más grande de carbón térmico en el 2014 (con base en el tonelaje) – superando por poco a Estados Unidos, que ha disminuido su consumo en la última década en un 20% aproximadamente. Otros grandes consumidores de carbón térmico en las últimas dos décadas han sido Sudáfrica, Japón y Rusia; mientras que, en los 70 y 80, Polonia, el Reino Unido y Alemania también hacían parte de este grupo. Un análisis de Steckel et al. (2015) muestra que, en años más recientes, no sólo China e India han liderado el renacimiento del carbón, sino que éste está ganando poder en numerosos países alrededor del mundo (especialmente en el Sudeste Asiático, pero también en Turquía) que buscan impulsar su crecimiento económico. (AIE 2015c)

Los mayores consumidores de carbón térmico también son sus mayores productores. China ha producido los volúmenes más grandes de carbón térmico desde mediados de los años 80, seguida por Estados Unidos. India ha sido el tercer productor más grande de carbón térmico a nivel mundial desde los años 90, sobrepasando a Sudáfrica. Junto con Australia y Rusia, estos países representan más del 90% de la producción mundial de carbón térmico – del China se lleva 52% del total por sí sola. De manera similar a las tendencias de consumo, Polonia, el Reino Unido y Alemania fueron, históricamente, grandes países productores de carbón térmico que perdieron su participación significativa en el mercado hacia 1990. Colombia es el noveno productor más grande de carbón térmico (84,5 Mt en el 2013 y 81,3 Mt en el 2014). (AIE 2015c)

En la Figura 1 se observan los mayores importadores, exportadores y flujos de comercio del carbón térmico en el 2013 y 2014. El carbón térmico representa 17% de la demanda mundial de carbón y la mayoría es transportado por mar. China es el mayor importador mundial desde finales del 2000, seguida por India. Indonesia, Australia y la Federación de Rusia, seguidas por Colombia y Sudáfrica, son los principales exportadores mundiales de carbón térmico. Gracias a su ubicación geográfica, Sudáfrica y Rusia son "swing suppliers", es decir, son países que exportan a regiones tanto del Pacífico como del Atlántico, según las dinámicas del mercado (AIE/OCDE 2014, 50). Actualmente, Colombia es el quito exportador más grande de carbón (80,2 Mt en el 2013; 80,3 Mt en el 2014) y el cuarto exportador más grande de carbón térmico (79,0 Mt en el 2013; 78,8 Mt en el 2014). De igual modo, Colombia es el mayor proveedor en el mercado del Atlántico, suministrando también algunas cantidades a EE.UU. en la costa del Golfo, y a Centroamérica y Suramérica. (AIE 2015c)

Figura 1: Mayores exportadores, importadores y flujos de comercio de carbón térmico en 2013 y 2014

Importaciones totales por país/región							
Año	China	India	Japón	Corea	China Taipéi	Europa Ocde	Américas Ocde
2014	243	178	137	97	57	222	27
2013	264	139	142	95	61	204	29
Diferencia	-21	+39	-5	+2	-4	+18	-2



Fuente: OCDE/AIE (2015) © IEA/OECD 2015 Medium-Term Coal Market Report, IEA Publishing. Licencia: www.iea.org/t&c.

Cuadro 2: Rastreando el origen del suministro de carbón térmico

El problema del "blood coal" ("carbón ensangrentado") ha sido planteado por muchas ONG (SOMO 2013; Moor y van de Sandt 2014). Este término se acuñó debido a la colaboración y financiamiento de compañías de carbón y organizaciones paramilitares, denunciada por organizaciones sociales de varios países.

A pesar de iniciativas como "Bettercoal" ("Mejor carbón") a nivel industrial (Bettercoal 2016), la cadena de suministro del carbón sigue siendo poco transparente. Esto significa que es difícil determinar el país de origen del suministro de carbón, incluso para expertos que acceden a información sobre la aduana y el transporte (SOMO 2014).

2.2 Estructura de costos y formación de precios

Los costos de capital para la producción de carbón (para pagar actividades de prospección y exploración, y para el desarrollo de minas y de la infraestructura asociada) son relativamente pequeños en proporción con los costos totales (AIE 2014c, 53). Los costos variables son el componente más significativo: costos de la mano de obra, materiales, transporte, impuestos y regalías.

Estos costos varían, especialmente según la distancia al mercado, pero también de acuerdo con el tipo de operación minera, las condiciones para la minería, el mercado laboral local y la productividad (Ritschel y Schiffer 2007; AIE/OCDE 2014, 56). Mientras que las minas a cielo abierto permiten el uso de máquinas a gran escala con baja intensidad de mano de obra, las minas subterráneas requieren procesos de producción a escala más pequeña y con una mayor necesidad de mano de obra. Además, el precio del petróleo influye indirectamente sobre los costos de la extracción del carbón puesto que afecta los costos del combustible para la maquinaria.

En general, los precios mundiales del carbón térmico son bajos a causa de la desaceleración del crecimiento de la demanda y de un exceso de oferta (AIE 2014e, 186), como también del precio bajo del petróleo, que contribuye a suministrar el combustible requerido por la maquinaria para minería y buques de carga. Los precios del carbón térmico se basan, fundamentalmente, en el costo libre a bordo (FOB)[3], las tarifas de los fletes y la tasa de cambio de las monedas. Actualmente, los mercados de carbón se caracterizan por poca preocupación en la seguridad del suministro y más interés en obtener combustible económico en mercados de energía cada vez más competitivos.

3. Los costos FOB incluyen todo costo asumido desde el punto de producción hasta la carga del carbón en un buque listo para el envío.

2.3 Rendimiento del carbón colombiano, en comparación con otros competidores: calidad del carbón, contenido de energía, precio de producción

El carbón térmico no es un bien homogéneo. Diferentes países suministran carbones distintos, con contenidos distintos de humedad, energía, azufre y cenizas. La calidad también se refleja en los precios. Un carbón con un alto contenido de energía y bajo contenido de humedad, azufre y cenizas es el más deseable, y por ende el más costoso (ver cuadro 3).

En Colombia, la calidad del carbón es alta por su alto contenido de energía (USGS 2006), mientras que en Indonesia y Sudáfrica el carbón de alta calidad es muy limitado. En términos de energía, el carbón térmico colombiano tiene una ventaja en cuanto a los precios, gracias a su alta calidad y a los bajos costos de producción en operaciones de minería a cielo abierto. En la Tabla 2 se muestra el contenido de energía del carbón de diferentes lugares.

Tabla 2: Contenido de energía del carbón por región de producción (en kcal/kg y MJ/t)

Nodo	Poder calorífico en kcal/kg	Contenido de energía en MJ/t
EE.UU. Región de los Apalaches	6949	29.075
China Shanxi, Shaanxi, Mongolia Interior	6597	27.600
Australia Queensland	6500	27.196
Sudáfrica	6400	26.778
Colombia	6375	26.673
Australia Nueva Gales del Sur	6300	26.359
Indonesia	5450	22.803
India Occidente	5209	21.793
EE.UU. Cuenca del río Powder	4781	20.004

Fuente: Holz et al. (2015) basado en Platts (2018), Indian Bureau of Mines (2012), Ritschel y Schiffer (2007) y Tewalt et al. (2010).

La infraestructura interna de transporte es otro componente clave en los precios del carbón térmico (ver Figura 2 más abajo). Mientras que en Colombia e Indonesia los depósitos de carbón están ubicados cerca o en la costa (por lo cual disminuyen los costos de transporte), el carbón térmico de Sudáfrica, al igual que el de Rusia, requiere de un largo transporte en ferrocarril, lo que aumenta los respectivos costos monetarios.

Un tercer componente decisivo de los precios del carbón es la distancia del productor de carbón respecto al mercado. Colombia, junto con EE.UU. y Sudáfrica,

tiene una posición favorable para abastecer el mercado europeo. Indonesia y Australia se benefician de su cercanía a los mercados de China, Corea, Japón y países del Sudeste Asiático. La Tabla 3 indica las tarifas promedio de fletes indicativas, calculadas por Holz et al. (2015) para el año 2010.

Vale la pena mencionar que hay dos factores que afectan en gran medida los precios de los fletes: 1) los precios del combustible son un componente principal del costo, y por ende las futuras tarifas de los fletes dependen de los futuros precios del combustible y especialmente de los precios del petróleo; 2) el transporte de carga a granel está sujeto a tendencias generales del comercio internacional, como los ciclos de inversión y la competencia entre y dentro de los mercados.

Debido a los precios actuales del petróleo, que son muy bajos y al enfriamiento del crecimiento económico mundial, las tarifas de los fletes han disminuido considerablemente para el carbón. Por ejemplo, las tarifas para el carbón de Colombia – Puerto Bolívar transportado a Róterdam se han reducido a la mitad; de rangos cerca de 15 USD/t entre 2010-2013 a 8 USD/t en agosto del 2015 (Platts 2015) (ver Tabla 3 y Figura 2).

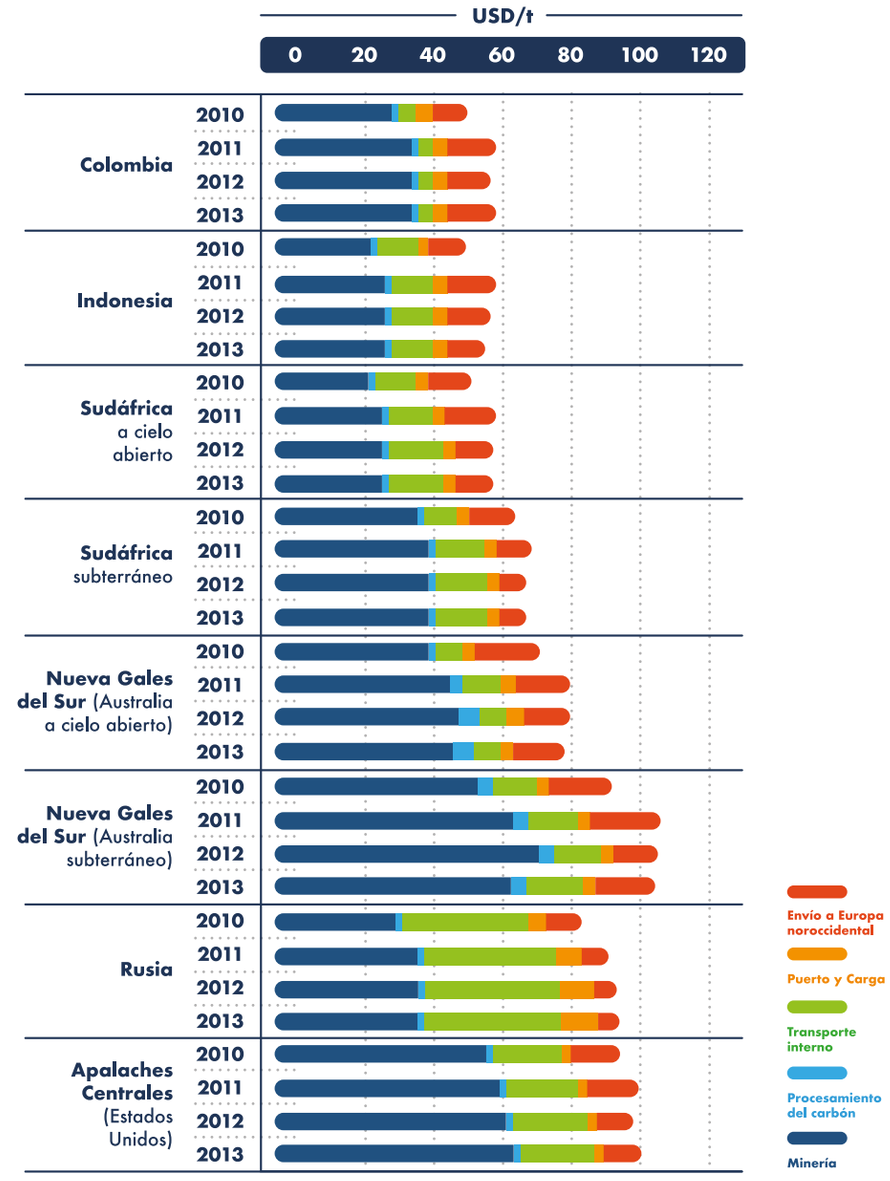
Tabla 3: Tarifas de los fletes según ruta elegida (en USD/t)

DE / A	Róterdam (Países Bajos)	Guangzhou (China)	Yokohama (Japón)	Chennai (India)
Colombia Puerto Bolívar	15,44	18,50	17,55	19,41
Australia Nueva Gales del Sur	20,33	15,25	15,38	16,55
Sudáfrica Richards Bay	16,94	16,42	17,28	15,09
Oeste de EE.UU. Portland, OR	18,08	15,72	15,23	17,97
Indonesia Banjarmasin	19,84	13,76	14,46	13,60

Fuente: Cálculo propio basado en los parámetros de costos calculados por Holz et al. (2015).

La Figura 2 ilustra los costos agregados del minado, el procesamiento del carbón, el transporte interno y la logística portuaria para los principales exportadores de carbón térmico, es decir, Indonesia, Australia, Sudáfrica, Rusia, Colombia y la región de los Apalaches de la Costa Este de EE.UU. La figura ilustra la competitividad relativa del carbón colombiano en el mercado europeo.

Figura 2: Costos indicativos del suministro de carbón térmico a Europa noroccidental, por componente de cadena de suministro y por país, 2010-13, excluyendo impuestos y regalías (en USD/t)



Fuente: AIE/OCDE (2014) © IEA/OECD 2014 Medium-Term Coal Market Report, IEA Publishing. Licencia: www.iea.org/t&c.

Cuadro 3: **Posibilidad de sustitución de distintas fuentes de carbón, desde el punto de vista de los productores de energía**

El carbón térmico es un producto heterogéneo con humedad, contenido de cenizas, contenido de azufre y poder calorífico específicos, que dependen del depósito de origen particular de donde se extrae el carbón. Las plantas termoeléctricas se optimizan mediante el uso de carbón compuesto de una combinación de estos parámetros claves para aumentar la eficiencia de la central y disminuir la necesidad de mantenimiento y el deterioro material. **Por ejemplo, el incremento del contenido de humedad disminuye la eficiencia de la central, ya que reduce la energía utilizable (AIE CIAB 2010, 18). Por otro lado, un alto contenido de azufre requiere una mayor temperatura de los gases de combustión para evitar el punto de rocío ácido y, por ende, también reduce la eficiencia (AIE CIAB 2010, 54).**

Hay tres consecuencias que se extraen de esta observación:

I) El grado en que un tipo de carbón térmico puede ser sustituido depende de las características de la central térmica en la que se utilizará.

II) El carbón colombiano de alta calidad es compatible con plantas termoeléctricas modernas altamente eficientes. El carbón de Indonesia y Sudáfrica necesita más preparación para poder sustituir el carbón colombiano en calderas de alta presión y supercríticas.

III) Inversamente, las centrales térmicas activadas por carbón en India y el Sudeste Asiático están diseñadas para carbón de baja calidad y no pueden cambiarse con facilidad a otros proveedores de carbón de calidad más alta, como el colombiano (AIE 2015a, 440).

3. Minería de carbón en Colombia

3.1 Estado actual del sector carbón

Desde el 2000, la economía colombiana ha logrado atraer inversionistas extranjeros de todas partes del mundo. A finales del 2015, su PIB llegó a $225,6 mil millones de USD después de una década de altas tasas de crecimiento anual. Entre 2004 y 2007, su economía creció en un promedio de 6,2 %/año. Debido a la crisis económica mundial de 2008/2009, el crecimiento económico bajó a 1,9 %/año. Sin embargo, se recuperó poco después, saltando a 4,4 % y 6,6 %. En el 2015, un peso colombiano débil y el precio en descenso de los productos enlentecieron la economía de este país. Sin embargo, con una tasa de crecimiento anual de 3,1%, seguía siendo uno de los países más dinámicos económicamente de América Latina, impulsado por el sector de la construcción y por los servicios financieros y de bienes raíces. (AA 2016)

La economía de Colombia se basa en la agricultura, la industria, el turismo, la minería y la producción de petróleo y gas natural. En cuanto a las exportaciones, Colombia depende fuertemente del petróleo y el carbón térmico. Adicionalmente, las flores, el banano, el níquel y el oro también son importantes bienes de exportación. La mayoría de las exportaciones va a Estados Unidos y la Unión Europea, con quienes Colombia firmó tratados de libre comercio en mayo de 2012 y agosto de 2013, respectivamente.

En 2016, el carbón colombiano fue el segundo producto de exportación más importante (14% de las exportaciones totales), luego del petróleo (26% del total exportado). El sector de petróleo y gas está dominado por compañías del Estado, mientras que el sector carbón está dominado por tres empresas extranjeras (FES 2014):

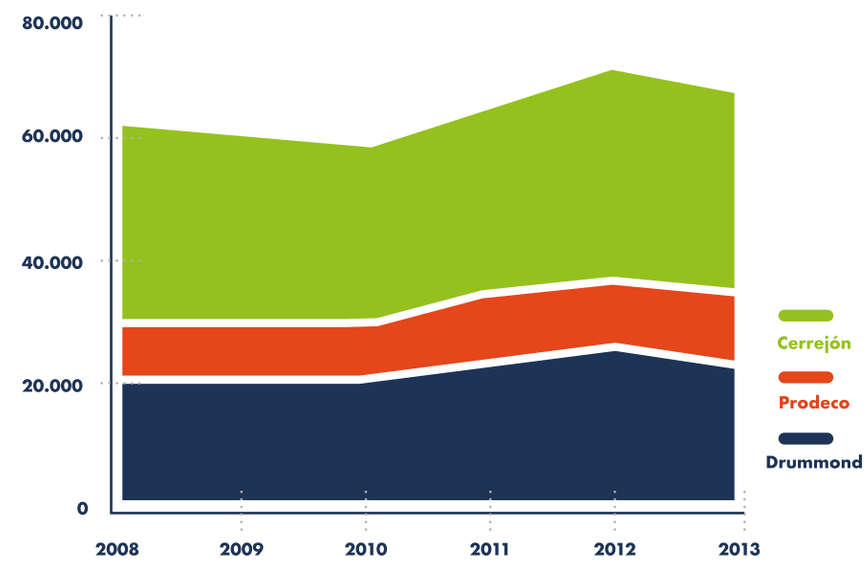
- Cerrejón (cuyo dueño es un consorcio entre BHP Billiton, Anglo American y Glencore; dando empleo a cerca de 15.000 personas);
- Drummond, con sede en EE.UU. (dando empleo a alrededor de 9.000 personas);
- y Prodeco (de Glencore, con sede en Suiza, dando empleo a alrededor de 6.000 personas).

Los volúmenes de producción y exportación han crecido de manera sostenida entre 1990, cuando el país produjo 14 Mt, hasta alcanzar 82Mt en 2012. Tradicionalmente, Colombia exporta 90% del carbón que produce, ya que la generación de electricidad depende en gran medida de la energía hidráulica y requiere sólo cantidades pequeñas para consumo doméstico (USGS 2015). Las exportaciones mensuales de carbón térmico colombiano han aumentado de manera sostenida entre 1992 a enero de 2016, pero empezaron a reducirse en los últimos meses (DIAN-DANE 2016).

Figura 3: Minas de carbón, unidades de generación eléctrica e infraestructura de carbón existente y propuesta en Colombia

Fuente: Elaboración propia, con base en UPME (2014) y USGS (2006).

Figura 4: Volúmenes anuales de producción de las empresas de carbón más grandes de Colombia entre 2008-2013 (en Mt)



Fuente: Representación propia basada en FES (2014, 28).

3.2 Actividades mineras

En el 2011, la minería fue reconocida por el presidente Santos como una de las "cinco locomotoras" para el desarrollo económico. Tradicionalmente, la minería en Colombia ha tenido dos componentes: uno formal, que consiste en actividades de minería de gran escala, y uno informal, que consiste en la minería de pequeña escala. Mientras que las primeras se llevan a cabo por grandes compañías internacionales, la segunda tiene un carácter artesanal y de subsistencia, por lo que es típicamente incierta y carece de las herramientas apropiadas (MINMINAS 2015).

Desde los años 90, y especialmente después de la aprobación de una nueva ley minera en el 2001, la Ley 685, el sector minero ha experimentado una importante transformación. Hoy en día, el gobierno está menos involucrado en el negocio de la minería de carbón en Colombia y se han reformulado las políticas fiscales para atraer la inversión extranjera directa (Dietz 2016).

El Ministerio de Minas y Energía (MINMINAS) es el encargado de la creación de políticas y de la regulación de las actividades mineras en Colombia: la generación, transmisión, interconexión y distribución. El gobierno también aprueba programas de generación y transmisión, y planifica las actividades minera a través de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) (USGS 2006).

Las estimaciones de las reservas de carbón térmico varían de manera significativa. Bright (2011) señala que las reservas colombianas suman 6.434 Mt, mientras que la EIA indica solo 5.041 Mt de reservas probables de carbón (2015a), representando menos del 2% de las reservas mundiales.

La calidad del carbón colombiano es alta y va de lignito a antracita. Sin embargo, la mayoría del carbón está categorizada como carbón térmico, el cual puede ser explotado en minas a cielo abierto con vetas de hasta 7 metros de alto (ibid.). Por ello, el uso industrial del carbón de coque, por ejemplo, en el sector del acero, no es importante para Colombia.

La mayoría de las minas de carbón, y su operación, está ubicada en dos áreas – La Guajira y Cesar. Las dos regiones representaron más del 90% de la producción anual en 2015 (UPME 2016). Los indicadores económicos regionales evidencian que el carbón sigue determinando una buena parte de las economías regionales. En el caso de La Guajira, 52% del PIB regional responde a la explotación del carbón, mientras que en el Cesar esta cifra alcanza 42% (Bayona 2016), mientras que existen muy pocas alternativas económicas para estas regiones.

La mina de carbón "Cerrejón Zona Norte", ubicada en La Guajira, es la mina a cielo abierto más grande de Suramérica, operada por la compañía Cerrejón. Su producción anual alcanzó un punto máximo de 34 Mt en el 2014. El segundo productor más grande de carbón térmico es Drummond Ltd., con sede en EE.UU., y que opera dos minas principales cerca de La Loma, en el departamento del Cesar.

Extracción de carbón a cielo abierto. En 2016, Colombia extrajo 85 millones de toneladas de carbón; Turquía es actualmente el principal comprador.

En enero de 2014, el gobierno colombiano obligó a Drummond a dejar de exportar, debido a la contaminación que se generaba al cargar el carbón a los buques. Drummond fue el primer productor afectado por algunas medidas ambientales implementadas por el gobierno colombiano, que ha estado creciendo recientemente (USGS 2015). El tercer productor más grande, Prodeco, opera su mina "Calenturitas", ubicada entre los municipios de El Paso, La Jagua de Ibirico y Becerril, en el departamento del Cesar. Su producción alcanzó 11 Mt en el 2015.

Otras compañías de minería de carbón más pequeñas que operan en Colombia son (CAN 2016b):

- Murray Energy Corporation (compró Colombia Natural Resources a Goldman Sachs en agosto de 2015; exporta del puerto público de Santa Marta; opera la mina "La Francia" al norte de Colombia; ~ 3 Mt/a);
- Pacific Coal (opera la mina "Cerro Largo" en el departamento del Cesar con ~ 0,6 Mt/a; la mina "La Caypa" en La Guajira con ~1,1 Mt/a; y una operación subterránea de carbón de coque en el departamento de Boyacá);
- Minas Paz del Río (controlada por la compañía brasilera Votorantim; extrae carbón y hierro en el departamento de Boyacá y busca aumentar su producción de carbón a ~2,5 Mt/a);
- y Carbones del Caribe (una filial de Cementos Argos, operando en el área de Puerto Libertador en el departamento de Córdoba, con ~0,4 Mt/año).

3.3 Exportaciones de carbón térmico

La infraestructura de transporte hacia y en los terminales de exportación está siendo o ha sido ampliada recientemente en Colombia. El carbón de las minas de La Guajira y Cesar es transportado por ferrocarril, mientras que el carbón de minas más pequeñas en otras partes del país es transportado por carretera (Bright 2011). La mina "Cerrejón Zona Norte" es un sistema integral; es decir, comprende las actividades mineras, el terminal de exportación de la Costa Caribe en Puerto Bolívar y los ferrocarriles que los conectan (EIA 2015a).

El carbón de los yacimientos de carbón del Cesar es transportado por ferrocarril al puerto de Santa Marta en la Costa Caribe, usando partes de la red ferroviaria Fenoco que cambió de dueños recientemente. Los productores de carbón Coalcorp, Caribe y Prodeco compraron participación en Fenoco, ya que Drummond utilizaba toda la capacidad del ferrocarril anteriormente, afectando las capacidades de exportación de su competencia (Bright 2011).

Debido a una creciente oposición social a operaciones de carga en Santa Marta, se planearon y construyeron nuevos puertos para reemplazar y ampliar las capacidades existentes. Como resultado, Prodeco, el tercer productor más grande de carbón, construyó y ahora opera el "Puerto Nuevo" en Ciénaga, que también se encuentra en

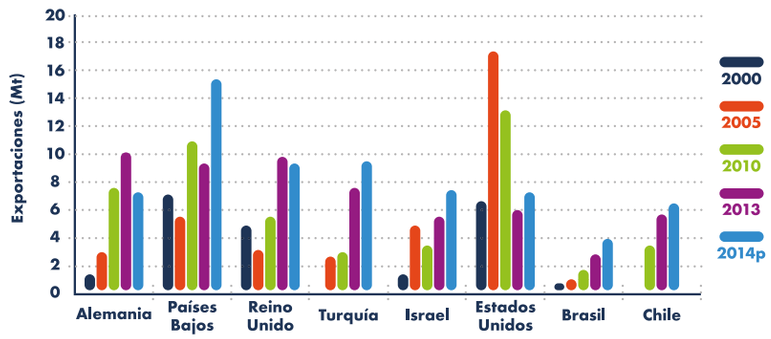
la Costa Caribe, está conectado al sistema ferroviario Fenoco y tiene una capacidad de 21Mt por año. Junto al Puerto Nuevo de Prodeco, Drummond Ltd ha mejorado sus instalaciones de carga directa en "Puerto Drummond", duplicando su capacidad de 30 Mt/año a 60 Mt/año (Bright 2011; Buendia y Gagan 2012; Reuters 2013).

Los principales países importadores del carbón térmico colombiano se muestran en la 5 según sus compras de este recurso entre 2000 a 2014 (Coal Information de la AIE (2015c)[4]. La Tabla 4 detalla los principales socios de Colombia en el comercio de carbón y la participación de este país en el total de sus importaciones. Del 2000 al 2014, la tendencia fue al aumento de las exportaciones colombianas a la mayoría de los países. Sin embargo, Estados Unidos, uno de los socios comerciales más importantes, ha reducido sus importaciones a la mitad en los últimos años.

En la actualidad, la mayoría de las exportaciones va a Europa, particularmente a Países Bajos, el Reino Unido, pero también a otros países europeos. Sin embargo, considerar el mercado europeo por sí solo (con sus principales puertos en Ámsterdam, Róterdam y Amberes [ARA]) no es suficiente puesto que muchas veces los puertos europeos sirven como puntos de distribución hacia otros países y regiones. Esto casi nunca se refleja en las estadísticas porque es muy difícil rastrear el destino específico final del carbón, como se indicó en el Cuadro 2. Estados Unidos, Israel y Turquía son importadores principales de carbón colombiano, a los que se puede acceder por el océano Atlántico. Los socios de importación en Latinoamérica son Brasil y Chile.

Los países ya mencionados son considerados de gran importancia para las exportaciones de carbón térmico colombiano a futuro por lo que en el siguiente capítulo se analizan las principales tendencias de sus potenciales demandas a futuro.

Figura 5: Principales destinos de exportación del carbón térmico colombiano (en Mt)



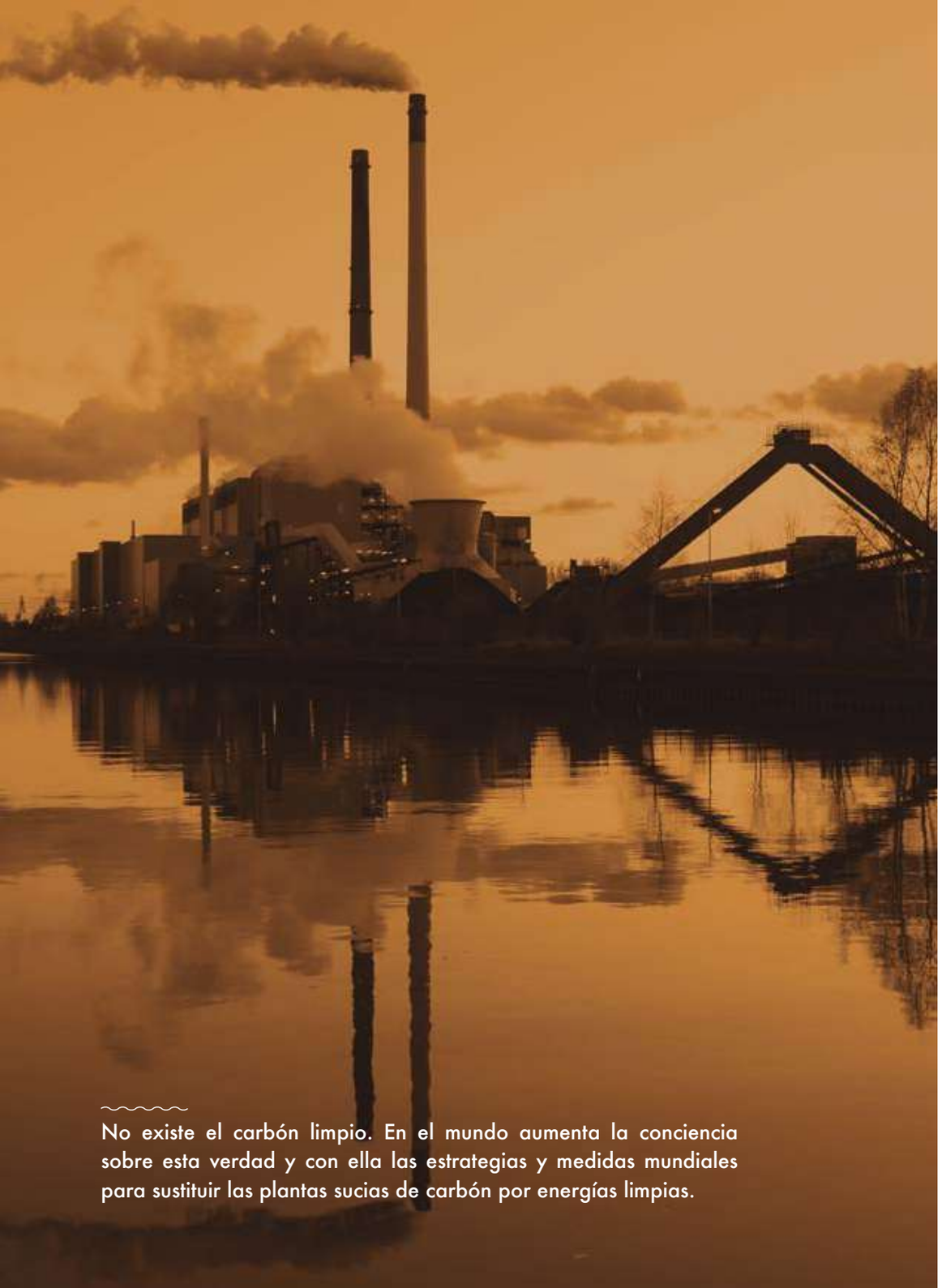
Fuente: AIE (2015c) y VDKI (2015, 51). Las cifras del 2014 se derivan de datos provisionales basados en información recibida a principios del 2015.

4. Las cifras de Alemania eran inconsistentes a partir del 2010, y por ende fueron derivadas de estadísticas de VDKI (2015).

Tabla 4: Importadores del carbón colombiano. Proporción del carbón colombiano respecto al total de carbón importado

País	% de importaciones de Colombia			
(importaciones totales en **2014**)	2005	2010	2013	2014p
Brasil (<10 Mt)	10	41	33	59
Bélgica (<10 Mt)	0	5	12	13
Canadá (<10 Mt)	11	22	34	40
Chile (<10 Mt)		53	60	65
China (>100 Mt)		3	0	0
Dinamarca (<10 Mt)	21	29	39	41
Francia (<10 Mt)	18	23	21	22
Alemania (10-50 Mt)	10	20	17	15
Hong Kong (10-50 Mt)				
India (>100 Mt)		0	0	
Israel (10-50 Mt)		34	41	49
Italia (10-50 Mt)	16	10	11	13
Japón (>100 Mt)		0	0	0
Corea (50-100 Mt)	1	1	0	0
Malasia (10-50 Mt)		0		
México (<10 Mt)		16	17	8
Países Bajos (10-50 Mt)	37	55	42	29
Filipinas (10-50 Mt)				
Polonia (<10 Mt)	2	1	1	1
Portugal (<10 Mt)	44	49	80	88
España (10-50 Mt)	9	28	23	38
Taiwán (50-100 Mt)		4		
Tailandia (10-50 Mt)		1		
Turquía (10-50 Mt)	20	18	34	39
Reino Unido (10-50 Mt)	9	31	26	27
EE.UU. (<10 Mt)	74	83	84	79
Total (1125 Mt)	9	9	8	8

Fuente: Cálculo propio basado en datos de la AIE provenientes del Coal Information (2015c) de la AIE.



No existe el carbón limpio. En el mundo aumenta la conciencia sobre esta verdad y con ella las estrategias y medidas mundiales para sustituir las plantas sucias de carbón por energías limpias.

4. Demanda futura del carbón térmico colombiano: tendencias internacionales

Este capítulo examina posibles tendencias futuras de las exportaciones de carbón térmico colombiano. Luego de una descripción del mercado mundial de carbón térmico, sigue una descripción más detallada de las tendencias en los principales países importadores de carbón colombiano. Después, se hace un balance de los potenciales nuevos compradores y se concluye mostrando las posibles consecuencias para el futuro de las exportaciones colombianas.

El carbón térmico es utilizado predominantemente en el sector de generación de energía eléctrica. Por ello, las cantidades de carbón exportados para este fin dependen de la demanda de electricidad y de la participación del carbón en el combustible para la generación de energía eléctrica. De acuerdo con esto, la forma que el mercado mundial de carbón térmico tome en el futuro será determinada por: 1) la demanda futura de electricidad que depende del carbón térmico, 2) el rendimiento de las fuentes de energía renovables y de la generación nuclear y de gas; 3) las futuras regulaciones ambientales, 4) las futuras medidas de mitigación del cambio climático, y 5) el avance o no de las tecnologías de captura, transporte y almacenamiento del carbono.

El sector del carbón ha crecido continuamente, pero esta tendencia está cambiando. A nivel mundial, algunas plantas de carbón[5] han sido retiradas desde el 2010 o han anunciado su cierre. En Estados Unidos, plantas cuya generación alcanza los 50 GW han cerrado en 2016. Si bien algunos de estos cierres se han dado por el fin de la vida útil de las instalaciones más viejas, muchos cierres también responden a la disminución del uso de plantas de carbón en la última década. Por ejemplo, las centrales eléctricas de EE.UU. e India disminuyeron su capacidad de generación eléctrica en 70% en el año 2004; en 2015 estas mismas plantas disminuyeron su producción a 50% en promedio. La misma tendencia se observa en algunas plantas eléctricas a base de carbón en China y la UE (Shearer et al. 2016). La participación creciente de fuentes de energía renovables más baratas y el exceso de capacidad existente en muchos países son los principales motores de estos acontecimientos. Estos factores han colaborado para que el consumo de carbón duro en la UE muestre una reducción del 50% desde 1990 (ver Eurostat 2016).

4.1 Tendencias del consumo de carbón en países importadores actuales

Los importadores principales tradicionales del carbón térmico colombiano están ubicados en Europa, EE.UU. y, en menor medida, en América Latina. La cantidad de carbón importado por países europeos varía en cuanto a su matriz energética y recursos locales, y por ende deben ser examinados individualmente. La Tabla 5 sintetiza las cifras clave de los países analizados.

5. Sumando capacidades de más de 165 GW.

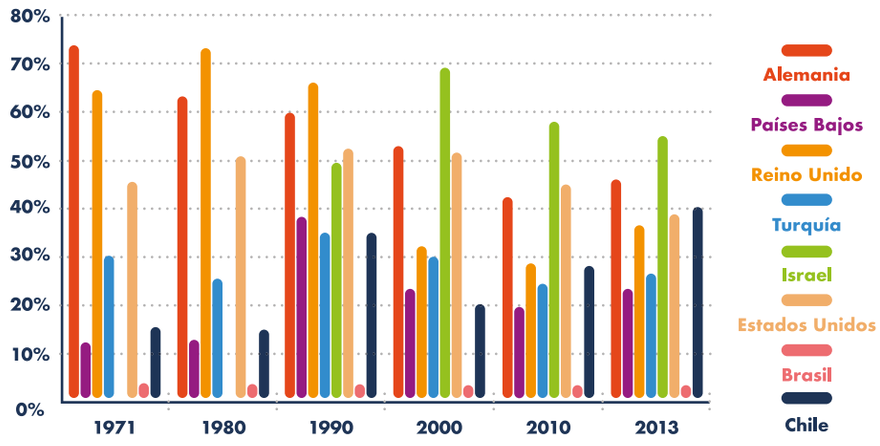
Tabla 5: Ficha informativa del año 2014 para países seleccionados

Países	Nivel de Ingreso	PIB en miles de millones de USD	Población en Millones	Intensidad de emisión de CO_2 en tCO_2/cápita	Tendencia del carbón
Brasil	Ingreso medio-alto	2417	206,1	2,2	Aumentando
Chile	Ingreso alto, OCDE	259	17,76	4,6	Aumentando
China		10351	1364,27	6,7	Cayendo desde 2014
Alemania	Ingreso alto, OCDE	3868	80,89	8,9	Cayendo
India		2042	1295,29	1,7	Aumentando
Israel	Ingreso alto, OCDE	306	8,21	9,0	Cayendo
Países Bajos	Ingreso alto, OCDE	879	16,87	10,1	Cayendo
Turquía	Ingreso medio-alto, OCDE	799	77,53	4,4	Aumentando
Reino Unido	Ingreso alto, OCDE	2990	64,61	7,1	Eliminación gradual a 2025
EE.UU.	Ingreso alto, OCDE	17348	318,91	17,0	Cayendo

Fuente: Grupo del Banco Mundial (2016).

La Figura 6, a continuación, muestra una tendencia a la reducción del uso de carbón en la producción de electricidad en los principales países que compran el carbón de Colombia (AIE 2015c).

Figura 6: Participación de la generación por carbón en el mix eléctrico de los socios seleccionados de comercio de carbón colombiano, de 1970 a 2013 (en %)



Fuente: AIE (2015c).

4.1.1 Alemania

El gobierno alemán orienta esfuerzos hacia el desarrollo de una estructura descentralizada de generación de energía renovable. Una descarbonización completa de la electricidad alemana solo se podría esperar para 2050. Esta política significa la disminución actual y más acentuada hacia futuro del uso de energía nuclear y carbón en la producción de electricidad. Las consecuencias para Colombia son evidentes también: luego de que las importaciones provenientes de Colombia alcanzaran su máximo en el 2011 con 10 Mt, bajaron a 7,3 Mt en el 2014 (AIE 2015c; VDKI 2015).

Cuatro compañías (E.ON, RWE, Vattenfall y EnBW) dominan 73% de la oferta de electricidad de Alemania. Desde 2010, éstas han visto disminuida en 10% su participación en el mercado eléctrico alemán debido al aumento del uso de energía renovable. El gobierno alemán anunció la reducción de la demanda de electricidad en 10% para 2020 y 25% para 2050 (tomando 2008 como el año base para estos porcentajes) (BMWI 2010). Igualmente, tras el accidente nuclear en Fukushima, el gobierno alemán accedió a eliminar gradualmente sus 17 plantas nucleares a 2022. En el 2015 ya nueve plantas habían cerrado.

Por otro lado, en 2010 el gobierno alemán estableció metas concretas para la reducción de gases de efecto invernadero (en 40% para 2020 y hasta 80% en 2050 en comparación con los niveles de 1990). Éstas metas implican la eliminación gradual de la producción de carbón térmico en territorio alemán. También esto podría significar la reducción potencial de las importaciones de carbón, aunque esto último no es tan claro actualmente.

Para reducir la producción de carbón en su territorio, Alemania ha anunciado el fin de los subsidios a la producción de lignito y carbón térmico para la generación eléctrica. Tales subsidios son significativos, pues entre 2009 y 2015 llegaron a sumar entre 1,2 – 1,7 mil millones de euros por año. La otra medida ha sido el anuncio del cierre de varias centrales térmicas de carbón. Este plan anunciado en 2015 supone la eliminación gradual de centrales térmicas de lignito sumando una capacidad total de 2,7 GW entre 2017 y 2019. Para 2010, la producción de carbón térmico era de 3,5 Mt en 2013, en el marco de una tendencia a la baja desde 1990, cuando se registró una producción de 38 Mt.

Esta reducción de la producción de carbón en Alemania estuvo inversamente correlacionada con un aumento de cuatro veces la cantidad de carbón de varios países, incluida Colombia, entre 1990 y 2014. En 1990 se importaron 11,8 Mt, mientras que en el 2000 las importaciones subieron a 23,3 Mt y aumentaron llegaron a 38 Mt, en el 2010. Históricamente, la mayoría de las importaciones viene de Rusia (en el 2013: 11 Mt), Colombia (7,8 Mt) y EE.UU. (7,5 Mt).

4.1.2 Países Bajos

Pese a que Holanda no tiene producción de carbón autóctono y depende completamente de las importaciones internacionales, es un país idóneo para la instalación

de plantas de carbón. Actualmente existen siete plantas en su territorio. Sus grandes costas proveen acceso ilimitado al agua para la refrigeración de las plantas termoeléctricas y tiene dos grandes puertos en los que se recibe el carbón importado. Por esta razón, el país ha atraído grandes inversiones en tecnología carbonífera, en su mayoría de Alemania.

En contraste con la mayoría de los países europeos, los Países Bajos planean también construir nuevas plantas de energía de carbón con una capacidad combinada de 3,5 GW, excediendo así la capacidad de las que fueron abandonadas recientemente. La más grande, "Maasvltake 3" (1100 MW), operada por E.ON, funciona con carbón y biomasa, y obtuvo su permiso de operación en 2016 (industcards 2016). RWE construyó una central térmica de carbón y biomasa de 1600 MW en Eemshaven (Eemshaven A+B), luego de que tribunales cuestionaran el cumplimiento de los lineamientos de protección natural (IWR 2015). Adicionalmente, GDF Suez construyó otra planta termoeléctrica de carbón y biomasa de 800 MW en 2013 que se encuentra en fase de prueba (World Coal 2014).

Países Bajos también ha asumido una política en favor de las energías renovables, aunque la referida instalación de nuevas plantas parcialmente dependientes del carbón apuntan en otro sentido. El Acuerdo Nacional de Energía para el Crecimiento Sostenible[6] publicado en 2013 (SER 2013) plantea la eliminación de cinco de las siete plantas a carbón, que combinadas suman un total de 2693 MW. Tres de las plantas ya fueron cerradas al primero de enero de 2016, y las dos restantes programaron cerrar antes del primero de julio de 2017 (AIE 2014b; industcards 2016).

Debido a estas medidas, en 2015 tribunales holandeses ordenaron al Estado tomar precauciones adicionales ante el cambio climático. Aun así, éste decidió apelar el veredicto de la corte del distrito en La Haya, pese al llamado de los principales científicos, abogados, ciudadanos y compañías.

Aunque los Países Bajos han tenido un consumo máximo de carbón térmico de 10 Mt/a, sus importaciones exceden por mucho esta cantidad. Pese a que hasta 2010 sus importaciones fueron de apenas el doble de su uso anual, en 2012 aumentaron a 20 Mt antes de saltar a 42,5 Mt en 2013 y 44,5 Mt en 2014 (proyectado) (cf. AIE 2015c). En 2013, sus principales socios fueron Colombia, representando alrededor de 18 Mt, Estados Unidos y Sudáfrica.

La mayoría del carbón térmico importado se reexporta a otros países desde sus principales puertos en Róterdam y Ámsterdam. En 2013 se exportaron 31 Mt, de las cuales 28 estaban destinadas a Alemania. Róterdam, especialmente, se ha convertido en el centro energético de Europa, proveyendo instalaciones de almacenamiento y refinerías de carbón térmico, petróleo y GNL, como también una fuerte industria química a sus alrededores (AIE 2014b).

6. National Energy Agreement for Sustainable Growth.

4.1.3 Reino Unido

El mercado de producción de energía eléctrica se divide entre "Los Seis Grandes", compañías productoras de electricidad: British Gas, EDF Energy, E.ON UK, npower (RWE), Scottish Power y SSE. El Reino Unido posee grandes recursos tanto para la energía renovable como para la generada por combustibles fósiles. Además del gas natural, con el que cubren 50% de la demanda interna, el Reino Unido tiene 26 Mt de reservas de carbón en 32 sitios con producción, y otras 12 Mt en minas que no han empezado a producir todavía, lo que deja al Reino Unido con 38 Mt de reservas de carbón (British Geological Survey 2014).

El Plan de Transición hacia una Economía Baja en Carbono[7], publicado en 2009, detalla las políticas energéticas actuales. Este plan busca reducir las emisiones de CO2 para el 2020 en un 18% por debajo de los niveles del 2008, y para el 2050 en un 80% por debajo de los niveles de 1990. En consecuencia, el 40% de la demanda de electricidad deberá ser suplida por fuentes de baja emisión de carbono, incluyendo un 30% de energías renovables. La parte restante será cubierta por la reintroducción planeada de la energía nuclear en 2025, así como por la implementación de la tecnología CCTS (HM Government 2009).

Desde 2010 varias plantas a carbón, con una capacidad combinada de 10,5 GW, se cerraron (8,85GW) o convirtieron a biomasa (1,65 GW) por no cumplir los estándares europeos de emisiones de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno. Con la Ley de Energía 2012-2013, la construcción de nuevas plantas de carbón fue limitada por no cumplir con los "estándares de rendimiento de emisiones" (DECC 2013). En 2015, la secretaria de energía Amber Rudd anunció que se eliminarían gradualmente todas las plantas de carbón del Reino Unido hacia el 2025, y que se restringiría su uso hacia el 2023 (Rudd 2015).

La demanda de carbón ha disminuido entre 1990 y 2000 casi a la mitad por la reducción de la demanda de carbón en las plantas de energía. La producción interna de carbón térmico disminuyó 88% durante este período (de 91 Mt en 1990 a 18,15 Mt en 2010, y eventualmente, a 12,67 Mt en 2013). Como consecuencia de este descenso en la producción en territorio inglés, las importaciones han aumentado. En 2010, las importaciones totales eran de 20 Mt, antes de duplicarse a 43 Mt en 2013. El principal proveedor es Rusia, enviando entre 12 y 19 Mt anualmente, seguido por Colombia (8 - 11,7 Mt anuales) y los Estados Unidos (AIE 2015c).

4.1.4 Turquía

Turquía es una de las economías mundiales de más rápido crecimiento, hoy la 17ª más grande del mundo y la 6ª de Europa (AIE CCC 2014; Grupo del Banco Mundial 2016). En los últimos 5 años, la economía turca ha experimentado importantes cambios, entre ellos la privatización de compañías del estado. En 2009, la participación estatal en la producción de electricidad bajó de 78% a 46%.

7. UK Low Carbon Transition Plan.

La producción de carbón sigue estando en manos del estado. Turquía posee grandes cantidades de recursos carboníferos, en especial grandes cantidades de lignito (11,8 Gt) y a 1,3 Gt de carbón duro, de las cuales 530 Mt son reservas probadas y económicamente recuperables (Ersoy 2015; AIE CCC 2014). Para reducir su dependencia de las importaciones, el gobierno turco aspira a usar recursos nacionales, que se limitan al carbón, lo que explica entonces el afán de Turquía por construir nuevas centrales térmicas a carbón (Hartlieb, Ruppel y Wagner 2016).

La iniciativa más reciente y definitiva con respecto al carbón es la "estrategia carbonífera" de 2014. Este documento reconoce la importancia del carbón nacional para el futuro del sector de energía de Turquía. En primer lugar, el país aspira al pleno uso de las reservas de lignito y carbón duro existentes para la generación de electricidad hasta el 2023. En segundo lugar, se construirían más plantas a carbón que usen principalmente carbón nacional[8]. En tercer lugar, se proyectó el incremento de la producción nacional de carbón y la exploración de nuevos yacimientos de carbón (ISPAT 2015; AIE CCC 2014). Sin embargo, la sociedad civil de Turquía ya ha mostrado los primeros signos de oposición a estos planes (Yeldan y Voyvoda 2015; Şahin et al. 2016).

El uso del carbón térmico aumentó significativamente de 3,1 Mt en 1990 a 22,5 Mt en 2013. Por consiguiente, para cubrir su demanda, Turquía se apoya fuertemente en el carbón térmico importado (AIE 2015c). Turquía se beneficia de su ubicación geográfica, la cual le permite importar recursos de cualquier parte del mundo (AIE CCC 2014), pero las importaciones provienen sobre todo de Colombia, Rusia y Suráfrica (AIE 2015c).

4.1.5 Israel

Debido a su posición geográfica y diferencias históricas en relación con los países vecinos, Israel es una "isla eléctrica", lo que significa que no tiene conexiones con los países cercanos (Niv 2010). Por consiguiente, una gran disponibilidad y fiabilidad de sus fuentes energéticas es de extrema importancia. El mercado está dominado por la Corporación Eléctrica de Israel (IEC), corporación estatal que controla el 77% de los 17 GW de capacidad instalada (Israel Ministry of Environmental Protection 2015). El porcentaje restante se distribuye entre compañías privadas y generadores descentralizados.

Existen dos plantas a carbón en Israel, ambas sobre las costas del Mediterráneo. Las plantas de gas natural aportan un 60% de la demanda de energía (IEC 2012). El país posee una gran cantidad de recursos de gas natural en alta mar, especialmente desde el descubrimiento del yacimiento Leviatán, el campo de gas natural más grande descubierto en la última década. En total, se espera que estos yacimientos tengan unos 700 bcm de gas natural, lo que cubriría su demanda por más de 50 años.

La "Política de integración de fuentes de energía renovables al sector eléctrico de Israel"[9] (2010), actualizada en la última conferencia de cambio climático (COP21) sostiene que, para 2030, la demanda de electricidad se reducirá en un 17%. 13% y 17% de energías renovables serán integrados a la matriz energética en 2025 y 2030 respectivamente. Iniciativas adicionales apuntan a la reducción de emisiones de GEI per cápita a 7,7 t de CO_2 en el 2030 (Israel Ministry of Environmental Protection 2015).

El uso de carbón térmico se ha triplicado desde 1990. Éste es importado en su totalidad desde Colombia, Sudáfrica y Rusia. Tal y como sucede en la generación de electricidad, todo el proceso de importación es manejada por una compañía del estado.

Respecto a proyecciones futuras de la demanda de carbón, existen dos escenarios. En el primero, la demanda no varía significativamente, pero en un escenario alternativo ésta caería bruscamente en casi 100 PJ hasta el 202 por el aumento de la producción de gas y significaría la reducción a la mitad de la demanda de carbón.

4.1.6 EE.UU.

Estados Unidos tiene los recursos más grandes de carbón a nivel mundial (World Energy Council 2013) y una gran mayoría de su producción de carbón consiste en carbón térmico de minas de la cuenca del río Power (PRB), la región de los Apalaches y la cuenca de Illinois (EIA 2015h). La cuenca del río Powder es particularmente interesante para Estados Unidos y para el mercado internacional de carbón térmico, ya que en este lugar el carbón es extraído de minas superficiales baratas y eficientes, por un precio promedio muy bajo de US$ 12,5 por tonelada (AIE/OCDE 2014, 30).

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos ha introducido varias regulaciones que afectan fuertemente el futuro de la generación a base de carbón en EE.UU. desde el 2011 (EPA 2015b; EPA 2015c; EPA 2015d): la regulación de la contaminación atmosférica de las centrales eléctricas que contribuyen a la contaminación del ozono y/o de partículas finas más allá de los límites estatales; y el Plan de Energía Limpia, que regula las emisiones de las plantas de energía existentes.

El uso del carbón térmico apoyó la industrialización y el crecimiento económico de Estados Unidos históricamente, pero ha caído de manera regular en la última década. La participación del carbón en el total de la generación de electricidad cayó de 52,3% en el 2000 a 39,1% en el 2013 (AIE 2015c, III.64). Algunos factores cíclicos, como la recesión de 2008 y 2009, tienen que ver con este comportamiento, pero, a nivel estructural, los generadores de energía eléctrica están cambiándose cada vez más de carbón térmico a gas (AIE 2014e, 195). Esto se debe en gran parte a razones económicas (como el auge de la producción de gas natural de lutita doméstico, cuyo precio es bajo) pero también a las políticas ambientales.

8. Actualmente, existen siete plantas de carbón térmico en total, de las cuales seis funcionan con carbón importado y solamente una con carbón térmico nacional. El total de la capacidad de las plantas de carbón térmico existentes es de 5 GW. Desde finales de 2013, hay catorce plantas de carbón duro (10,3 GW) en fase de aplicación, ocho (3,5 GW) bajo examen de evaluación y cuatro (2,5 GW) que ya cuentan con aprobación y que se están construyendo, lo que suma un total de veintiséis plantas con capacidad de 16,2 GW, programadas para empezar a producir (Deloitte Turkey 2013).

9. Policy of the integration of renewable energy sources into the Israeli electricity sector.

La caída del precio del carbón doméstico contribuyó con el anuncio de la bancarrota en 2016 de varias compañías productoras de carbón (incluyendo a las más importantes empresas de minería de carbón en ese país, Peabody Energy Corporation, Arch Coal Inc. y Alpha Natural Resources) (Sussams y Grant 2015, 18; Mooney y Mufson 2016; EIA 2016). Al mismo tiempo, 271 minas cerraron o dejaron de operar en 2013 (EIA 2015c). La producción de carbón térmico cayó alrededor de un 20% entre 2005 y 2013 (aunque información preliminar del 2014 muestra un incremento muy ligero de la producción, de alrededor de 1%) (AIE 2015c, IV.424).

Las políticas ambientales mencionadas arriba conducirán cada vez más a que las centrales termoeléctricas sean cerradas en vez de remodeladas (AIE 2014e, 196) y a que las adiciones a la capacidad actual de generación de electricidad a partir de carbón sean mínimas (EIA 2015e, 26). Los analistas no creen que estas tendencias sean afectadas por la futura suspensión o revocación de alguna de estas políticas ambientales[10]. Las decisiones de inversión ya se están tomando con base en estas políticas – y, más aún, con base en la economía favorable de los combustibles alternativos (Harvey 2015; Reuters 2015a; Sussams y Grant 2015).

En el contexto de una demanda nacional de carbón es cada vez menor, se ha sugerido que el carbón de la cuenca del río Powder también puede ser competitivo en el mercado internacional, especialmente en el mercado de carbón del Pacífico (AIE 2013, 99). Sin embargo, la infraestructura de exportación es problemática en este caso pues la única manera de exportar carbón desde este punto es a través de los puertos canadienses en Colombia Británica y actualmente estos puertos están usando sus capacidades al máximo. Existen planes para construir terminales de exportación a lo largo de la costa oeste de EE.UU., en Oregón y Washington, pero también hay una gran preocupación por la salud local, los impactos ambientales y las consecuencias que esto tendría en las emisiones mundiales de CO_2 (Western Interstate Energy Board 2015).

Respecto a los efectos de estas potenciales exportaciones de carbón estadounidense en los precios, los escenarios dependerán de los niveles de importación de China, pues éstos son factor dominante para la determinación de precios mundiales (Morse y He 2015). El gobierno estadounidense predice un estancamiento de la producción de carbón en 2030, y hasta ese momento, de un aumento de 0,7% de la tasa promedio de producción.

El uso del carbón para la producción eléctrica también se encuentra en declive. Al menos 40 gigavatios de capacidades de generación a carbón se desmantelarán entre 2013 y 2040, y la participación del carbón en la generación total de electricidad caerá de 39% a 34% en el mismo período (EIA 2015e, 24–26). Estas proyecciones tienen en cuenta el efecto de las regulaciones mencionadas arriba.

10. En la actualidad, el Plan de Energía Limpia ha sido puesto en espera por la Corte Suprema de EE.UU. (Adler 2016).

4.1.7 Brasil

Brasil comenzó un proceso de privatización en 1996 de su sector eléctrico y todavía 60% de la capacidad instalada pertenece a compañías federales o del Estado. Eletrobras domina el mercado y representa el 40% de la capacidad total, mientras que un 9% es controlado por GDF Suez y AES (MME 2015).

Brasil tiene amplias cantidades de recursos fósiles, entre otros las segundas reservas tanto de petróleo de Suramérica (15 millones de barriles) como de gas natural (EIA 2015d). Con cerca de 6.630 Mt, las reservas de carbón térmico de Brasil ocupan el tercer puesto en el hemisferio occidental. Éstas consisten en carbón térmico sub-bituminoso de calidad más bien baja y altos contenidos de cenizas y azufre. Se cree que actualmente hay más depósitos, que se encontrarían si se invirtiera más en la exploración (GMI 2015; Vasconcelos 2015; Román 2014).

Brasil reconoce la necesidad de una amplia expansión de generación eléctrica, de 132 GW a 206 GW de capacidad instalada, para cubrir la demanda futura. La energía renovable seguirá teniendo un papel predominante en el mix eléctrico, y se espera que su participación crezca a 86% en el 2024, más que todo gracias al gran aumento de la energía eólica en la región Noreste y al incremento de la capacidad de la energía hidráulica en el Amazonas. Para cubrir la importante demanda del sureste de Brasil, planea construir centrales térmicas en los estados del sur a partir de gas natural (Ventura 2014)[11].

La producción de carbón brasileña es baja (3,04 Mt en 2014). La mayoría es de baja calidad y se destina a la industria del hierro y el acero. El resto de las industrias utilizan carbón importado de Colombia, Rusia y Suráfrica, generando una tendencia hacia el alza de las importaciones de 0,345 Mt en 1990 a 7,5 Mt en el 2013.

4.1.8 Chile

Chile fue uno de los primeros países en privatizar el sector eléctrico. Esta medida forma parte de las políticas de liberalización económica que lo han llevado a tasas de crecimiento económico por encima del promedio mundial. Este país tiene escasos recursos fósiles (APEC 2006), y por ello depende de las importaciones y de energías renovables, sobre todo la hidráulica. Su producción interna es baja y ocurre en una única mina con 73 Mt de reservas de carbón sub-bituminoso, con un poder calorífico de 4100 kcal/kg.

En años recientes, la sociedad chilena ha mostrado una creciente oposición y preocupación por el mix eléctrico y su enfoque en el carbón. En febrero de 2018, el Ministerio de Energía anunció que este país no construirá nuevas plantas de carbón mientras no exista una tecnología de captura de carbono. En algunas ocasiones, Chile ha decidido usar carbón

11. Hacia finales del 2014, la capacidad de las centrales térmicas era de 21 GW, pero sólo 3 GW correspondían a la capacidad total de las siete plantas a carbón. Cuatro de las siete plantas fueron construidas a finales de 1960/1970. Luego, tres nuevos proyectos empezaron a operar desde el 2012, dependiendo principalmente del carbón colombiano (Vasconcelos 2015).

para la producción eléctrica en respuesta a la inseguridad del suministro de gas natural de Argentina y a las sequías que han afectado la producción hidroeléctrica. En 1990 se usaron 3,23 Mt de carbón térmico para la electricidad, mientras que, en el 2013, el uso de carbón con este fin subió a 10,75 Mt, de las cuales 9,74 Mt fueron importadas, principalmente de Colombia, pero también de los EE.UU. y Australia (AIE 2015c).

Respecto a las políticas energéticas de largo plazo, Chile se balancea entre un discurso gubernamental en favor de las energías renovables (compartido por los ministerios de Medio Ambiente y de Energía) y la realidad de un sector eléctrico frágil y dependiente del aumento de la importación de carbón para fortalecerlo y lograr así cubrir las demandas. Chile se plantea aumentar la participación de las energías renovables (eólica, solar, hidroeléctricas) hasta 58% del total de electricidad al 2024 (Ministerio de Energía 2012). No obstante, desde el 2008, varias centrales termoeléctricas de carbón han sido aprobadas o están ya en construcción, y vendrán más en los próximos años (Ministerio de Energía 2012).

4.2 Evolución de posibles nuevos socios de exportación

La siguiente sección provee un análisis de algunas regiones donde existe un aumento potencial de la demanda de carbón y que, por ende, podrían ser, potencialmente, los futuros nuevos socios de Colombia en la exportación. Se pone un énfasis especial en los dos países más grandes, China e India.

4.2.1 China

Por más de una década, la demanda de carbón térmico en China ha crecido hasta representar más de la mitad del consumo mundial de carbón térmico. Solo en 2013 China consumió 3.400 Mt de carbón térmico (AIE 2015c, III.32). El gran aumento de la demanda de electricidad en la década pasada en China (con la que se genera 78% de la electricidad de ese país) ha sido la causa del aumento de la demanda de carbón (AIE/OCDE 2014, 23). China también tiene la mayor producción de carbón en el mundo y la destina a su consumo interno (AIE 2015c, V.25).

Una razón por la que China importa carbón es el alto costo del transporte dentro del propio país entre las zonas productoras y el destino final. En el 2014, China importó cerca de 7% de su consumo nacional de carbón (230 Mt de carbón térmico), lo que representó 22% del comercio mundial de carbón (AIE 2015c, III.44,III.32, III.40). Otra causa de las importaciones es el aumento de los precios del carbón chino debido a un exceso de oferta y políticas de liberalización de este sector (aunque el gobierno aún tiene la potestad de regular los precios). Por tanto, el carbón importado puede resultar más económico y rentable para la producción de electricidad (Rui, Morse y He 2015, 81–84).

El gobierno chino busca paliar esta situación mediante inversiones en infraestructura de transporte (EIA 2015f, 27) y la integración entre los productores de carbón y electricidad para posibilitar el transporte de carbón por cable ("coal-by-wire") (Rui, Morse y He 2015). De igual modo, se estableció un impuesto del 6% a la importación de carbón para favorecer la producción nacional.

La demanda futura de carbón térmico en China dependerá del crecimiento de sus industrias, las reducciones en la intensidad de las necesidades energéticas y las políticas ambientales. La contaminación local y la escasez de agua en minas y sitios de producción de electricidad también serán factores críticos (Cheng et al. 2016).

En cuanto a las políticas ambientales, China ha mostrado más interés en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y responder a los altos niveles de contaminación del aire por la combustión de carbón. Estas incluyen medidas como: 1) la reducción de la intensidad de carbono del PIB (16% desde 2011); 2) límites al consumo de carbón por el orden de 4200 Mt; 3) reformas estructurales a la oferta para reducir la capacidad de producción de carbón (moratoria de aprobación de nuevas minas; fijación de límites a la producción).

Esto significa una potencial reducción del consumo de carbón en China, sobre todo de coque, puesto que tiene más sustitutos que el carbón térmico. Algunos pronósticos plantean un sostenimiento de la demanda de carbón durante 25 años (AIE 2015a, Tabla 7.2); y en el caso del carbón destinado a la producción eléctrica, se estima que ya la demanda china llegó a su punto máximo. De hecho, la participación del carbón en el mix de combustibles ha disminuido. Las emisiones de carbono relacionadas con la electricidad bajaron en un 1,9 %, lo que refleja la disminución del consumo anual de carbón en un 3,7 % (Slater 2016; Yeo 2016).

Teniendo en cuenta las continuas intervenciones políticas que están realizándose en China, es muy probable que su demanda y oferta del carbón se reduzcan más en el futuro (ver Reformas Estructurales de la Oferta y Plan "Promoviendo el desarrollo organizado del carbón de China").

4.2.2 India

La demanda de carbón térmico en India ha crecido rápidamente en la última década. En 2014, con un consumo de 760 Mt, India se convirtió en el segundo consumidor más grande de carbón térmico a nivel mundial después de China (AIE 2015). 72,8% de la electricidad en India es producida con carbón, según cifras de 2013 (AIE 2015c, III.65).

India tiene una cantidad considerable de reservas de carbón, aunque por lo general se trata de carbón de baja calidad con bajo contenido de energía y alto contenido de ceniza inherente. Aunque la producción ha aumentado, el sector de producción de carbón de India se ha rezagado debido a condiciones estructurales (limitaciones de infraestructura de transporte, conflictos sobre tierras, baja productividad, etc.) (Carl 2015, 124). Por esta razón, las importaciones de carbón térmico han crecido más del doble en los últimos años, alcanzando las 180 Mt en 2014 y representando

casi una cuarta parte de la demanda nacional (y 17 % del comercio total de carbón térmico a nivel mundial) (AIE 2015c).

El futuro crecimiento de la demanda de carbón será moldeado por el crecimiento de la economía de India, el aumento de la electrificación para superar altos niveles de pobreza energética (AIE 2015a, 448) y, hasta cierto punto, las políticas ambientales. Algunos objetivos notables del gobierno indio son: 1) reducir la intensidad de carbono del PIB en un porcentaje entre 33 y 35% entre el 2005 y el 2030; aumentar la participación de los combustibles no fósiles en la capacidad de generación de electricidad a 40% al 2030 (Government of India 2015a); 3) aumentar la capacidad de generación solar a 100 GW y la capacidad del total de las energías renovables a 175 GW a 2022 (Government of India 2015c). Adicionalmente, India introdujo un impuesto sobre el carbón importado que aumentó de 0,8 USD en el 2010 a 3,2 USD, para el período 2015-2016 (Mittal 2014; Ministry of Finance 2015).

¿Hasta qué punto la demanda de carbón térmico seguirá siendo satisfecha por las importaciones?. A corto plazo, las importaciones probablemente seguirán creciendo, aunque factores logísticos, como la capacidad portuaria, podrían restringir este crecimiento (AIE 2015a, 518). A largo plazo, sin embargo, teniendo en cuenta que el carbón importado es considerablemente más costoso que el doméstico el gobierno de India está apuntando a lograr ser autosuficiente (Reuters India 2015). Se ha fijado una gran meta para la producción nacional de 1.500 Mt por año al 2020, pero su éxito dependerá de si las restricciones a la producción pueden ser superadas (EIA 2015b).

La calidad del carbón es otro factor a tener en cuenta. La mayoría (85%) de la maquinaria india "joven" es específica para las características del carbón indio (bajo contenido de energía y alto de ceniza). En caso de que se deba usar carbón importado, éste debe ser mezclado, lo que reduce la eficiencia de la central (AIE 2015a, 440). El gobierno anunció planes de establecer una regulación que obligue a que las nuevas centrales a partir de carbón utilicen tecnología supercrítica (Government of India 2015b), lo cual tendría el efecto de generar una dependencia casi total del carbón importado (Commonwealth of Australia 2015[a], 82-83).

4.2.3 Japón

Japón tiene la tercera economía más grande del mundo y es el quinto país con más emisiones de CO_2. Solía tener reputación de ser un líder climático y fue el anfitrión de la primera conferencia internacional sobre el clima en 1997 en Kyoto. Sin embargo, tras la conferencia sobre cambio climático en París en el 2015, el futuro de las políticas climáticas de Japón sigue siendo muy incierto. Las metas de Japón para la reducción de emisiones (26% para el 2030 y 80% para el 2050) no cumplen con los objetivos de evitar el aumento de la temperatura mundial de 2°C. Por estar ubicado en una isla, Japón es altamente vulnerable a los impactos del cambio climático y por ende

tiene razones para cumplir las metas de descarbonización. No obstante, Japón es el único miembro del G7 que está planeando abrir docenas de nuevas plantas de carbón, poniendo en riesgo las metas climáticas tanto nacionales como mundiales.

El mercado de electricidad de Japón, que es el segundo más grande en la OCDE, está dominado en 76% por diez monopolios regionales integrados verticalmente y por la antigua compañía nacional de desarrollo eléctrico (llamada JPower).

Después del accidente nuclear de Fukushima (2011), el gobierno ordenó el cierre de todas las 54 plantas nucleares que estaban operando y proveyendo el 30% de la electricidad de Japón en ese momento. Esta carencia fue compensada principalmente por gas natural licuado (subiendo de 29% a 43%), petróleo (8% a 18%) y carbón (25% a 28%). Las fuentes de energía renovables, y en particular la energía solar fotovoltaica, han aumentado su participación en la electricidad de forma constante y se estima que alcanzarán el 7% en el 2016. En el 2015, cinco primeras plantas nucleares empezaron a operar de nuevo, mientras que otras ocho lo harán en 2016 (Yanagisawa et al. 2015).

Las políticas actuales apuntan a complementar este aumento de la capacidad nuclear con la construcción de nuevas plantas de carbón. Los planes existentes de construir 47 nuevas plantas de carbón representan 22,5 GW, el doble de todos los demás miembros del G7 juntos (Dimsdale 2016). Hasta el momento, sólo se ha empezado a construir cuatro plantas de carbón con una capacidad combinada de 1,9 GW.

Además, Japón es el mayor financiador del carbón en el extranjero y un promotor de las plantas de carbón de alta eficiencia y bajas emisiones (HELE) (Grandia 2016). Las plantas de carbón HELE son adecuadas para quemar carbón australiano de alta calidad, pero también podrían usar carbón colombiano. A pesar de que el nivel de eficiencia de estas plantas es más alto, su construcción es incompatible con la meta de 2°C, como lo muestra un estudio realizado por Ecofys (Wong, Jager y Breevoort 2016).

4.3 Efectos en el sector carbón colombiano

Los hallazgos presentados en los capítulos anteriores muestran claramente que el mercado mundial de carbón térmico va a cambiar en muchos sentidos en las próximas décadas. Esto hace que sea complicado generar proyecciones precisas. El World Energy Outlook de la AIE (2015a) plantea varios escenarios sobre las futuras tendencias del carbón.

1) El Escenario de Nuevas Políticas (NPS) asume que los esquemas de las políticas climáticas discutidas seguirán en práctica. Aunque estas medidas sean insuficientes para limitar el calentamiento global a 2°C, impactan el mercado mundial de carbón térmico. La disminución del consumo en la UE, EE.UU. y China es compensada por el aumento del consumo en África, el Sudeste Asiático e India.

2) Un escenario más estricto y acorde con la meta de 2ºC (450ppm) conlleva una considerable reducción en la UE y en Japón. El consumo en China y Estados Unidos se recorta en un 50%, en comparación con las cifras del 2015. Las reducciones adicionales del consumo de carbón en países de Asia se complementan con la constante demanda de India.

3) Otro escenario del New Climate Institute (2016) concluye que, para cumplir con la meta de 2º C, la participación del uso de carbón para la producción de electricidad (sin la tecnología de captura de carbón) debe reducirse del 40% actual al 20% para el 2020 y al 8% para el 2030, antes de su eliminación completa en la década del 2040.

4) Para limitar el aumento de la temperatura global de modo que sea mucho menor que 2º C, y para dirigir esfuerzos para incrementar la meta a 1,5º C, como sugiere el Acuerdo de París sobre el Cambio Climático (ONU 2015b), las reducciones del consumo de carbón deben ser aún más fuertes y rápidas.

4.3.1 Tendencias de socios comerciales existentes

Los principales importadores del carbón térmico colombiano están ubicados en Europa, Estados Unidos y, en menor medida, en Latinoamérica. El futuro de la demanda de carbón en la Unión Europea tiene dos escenarios paralelos. El primer escenario tiene que ver con los países del Este (especialmente Polonia y República Checa), los cuales han optado por apoyar la generación de electricidad a partir de carbón, en contradicción con todos los esfuerzos para enfrentar el cambio climático. Como resultado de esto, las compañías de minería de carbón de estos países que estaban bajo presión económica por la caída de los precios del carbón a nivel mundial empezaron a recibir subsidios del Estado o fueron renacionalizadas. Esto reduce la posibilidad de que haya más importaciones de Colombia.

Los países de Europa Occidental plantean un segundo escenario. Éstos han comenzado a recorrer el camino hacia la eliminación gradual del carbón a mediano plazo. Siete pequeños países de la UE ya no tienen carbón en sus matrices energéticas: Bélgica, Chipre, Luxemburgo, Malta y los Países Bálticos. Portugal y Finlandia están planeando la eliminación del carbón para el 2020. El Reino Unido, Dinamarca y Austria llevarán a cabo la eliminación gradual hasta el 2025 (CAN 2016c; Jacobsen 2014). La eliminación de carbón por parte de Alemania, que está menos avanzada, se planea para la década de 2040 y existe el consenso general de que el gobierno alemán debe obligarse legalmente a cumplir las metas de reducción de CO_2. Francia, España e Italia están tomando un camino similar, disminuyendo la demanda de carbón a mediano plazo. Como consecuencia de todo esto, el papel de Países Bajos como el centro europeo de importaciones de carbón se debilitará probablemente.

Por su parte, Estados Unidos ha exportado carbón en tiempos de altos precios y fuerte demanda de las economías europeas, y también ha importado carbón en tiempos de bajos precios y de una prolongada demanda a nivel nacional. No obstante, esta situación ha cambiado fundamentalmente, debido a la "revolución del *shale gas* (o gas de lutita)" y la creciente participación de las energías renovables. El sector de producción doméstica de carbón en Estados Unidos está bajo gran presión y los precios cayeron hasta un 50% entre 2010 y 2015. Incluso si la era del gas barato acaba pronto, las regulaciones ambientales actuales prescriben la eliminación gradual del carbón. Con la reciente eliminación del marco de acción "Clean Power Plan", el futuro del consumo doméstico de carbón en EEUU resulta incierta. Este panorama del sector carbón de Estados Unidos no deja espacio para exportaciones de carbón colombiano en el futuro. Por el contrario, EE.UU. podría convertirse en un competidor en el mercado del Pacífico en el caso improbable de que se reactive la construcción de terminales de exportación de carbón para carbón del río Powder (Wyoming) que actualmente enfrenta una gran oposición de los estados de la Costa Oeste de EE.UU.

Brasil seguirá dependiendo principalmente de fuentes de energía renovables para la generación de electricidad, y de las importaciones de GNL para la generación de energía térmica, en vez de aumentar la participación del carbón. Chile se beneficia de un vasto potencial de energía renovable y busca aumentar su oferta, por lo que planea mantener la generación eléctrica a partir de carbón. Aunque también desarrollará sus recursos nacionales, Chile continuará dependiendo del carbón importado. Colombia muy probablemente tendrá un rol importante como exportador, pero podría enfrentar una competencia cada vez más fuerte de los proveedores de EE.UU. Lo mismo aplica para los futuros suministros a México.

Turquía e Israel, por otro lado, están planeando construir varias plantas de carbón. El carbón colombiano, tendrá que competir con los proveedores locales y con los envíos de Estados Unidos, Sudáfrica y Rusia.

4.3.2 Potenciales nuevos mercados de exportación para el carbón colombiano

Como se demostró en el análisis anterior, si el carbón térmico colombiano tiene oportunidades en nuevos mercados, estos estarán principalmente en la región del Pacífico. Se espera que la reciente ampliación del Canal de Panamá aumente la competitividad de las exportaciones de carbón térmico colombiano en el mercado del Pacífico porque los barcos podrían evitar el recorrido alrededor de Suramérica (Bright 2011). Esta esperanza impulsó la construcción del "Puerto Brisa" en Dibulla, La Guajira. Esta terminal de 30 Mt anuales se usaría para exportaciones destinadas a China y el Sudeste Asiático, gracias a que su ubicación está cerca del Canal de Panamá (Puerto Brisa 2015; Buendia y Gagan 2012). Adicionalmente, se ha negociado con inversionistas chinos para la ampliación del "Puerto

Buenaventura" en la costa Pacífica y para una conexión ferroviaria. Aunque fue anunciada en el 2011, estas negociaciones habían cesado hasta que China recientemente confirmó que busca socios locales, lo que probablemente aceleraría la ampliación del puerto (Buendia y Gagan 2012; Volckhausen 2014). No obstante, también hay quienes critican este proyecto y dudan fuertemente de su viabilidad económica y que algún día se materialice (ERGO 2011).

Varios factores atentan contra la posibilidad de que China se convierta en un gran importador de carbón térmico colombiano. En la actualidad, el mercado del Pacífico está dominado por Indonesia y, en menor grado por Australia, que puede proveer carbón a China a precios más bajos que Colombia. Los nuevos estándares de calidad para el carbón importado le darían ventaja a Colombia sobre el carbón de baja calidad de Indonesia. Por otro lado, la demanda china de carbón importado probablemente disminuirá gracias a que el transporte interno será más fácil, y al programa "coal-by-wire" [12].

Es probable que India decida el futuro de los mercados internacionales de carbón térmico. Teniendo en cuenta el fuerte aumento proyectado de la demanda de electricidad en India, su mix de combustible estará en el centro de la demanda de carbón térmico. Si fallan los ambiciosos planes indios de ampliar la generación a partir de energía renovable, India aumentará su consumo de carbón, pero incluso si esto sucede, no es claro si Colombia podría obtener un rol en la provisión de este carbón. Actualmente, más del 85% de las instalaciones "jóvenes" para generación a partir de carbón utilizan una tecnología sub-crítica adaptada para el carbón indio de bajo contenido de energía y alto contenido de cenizas. En Sudáfrica e Indonesia se encuentran tipos similares de carbón. El carbón colombiano y el australiano serían más adecuados en caso de que se regule que las centrales térmicas deben contar con tecnología supercrítica, lo que significaría nuevas oportunidades dentro del mercado.

Japón y Corea del Sur están planeando construir nuevas plantas de carbón adaptadas para quemar carbón de alta calidad de Australia, que también podrían utilizar carbón colombiano. En junio del 2016 se anunciaron los primeros envíos de Colombia, de ~0,6 Mt, llegarían a Corea del Sur. Estos envíos representaron sólo una pequeña parte de las importaciones totales de Corea, que en su mayoría vienen de Australia (~5 Mt/mes) e Indonesia (~2-3 Mt/mes), pero aun así hicieron que los precios del carbón bajaran a su punto mínimo en 10 años (Gloystein 2016). Las plantas de carbón del Sudeste Asiático, por otro lado, están diseñadas para el carbón de baja calidad de Indonesia, que tiene un precio bajo debido a las cortas distancias y al fácil acceso marítimo. Por tanto, es muy difícil que el carbón colombiano entre a este mercado.

12. El programa "coal by wire" es una estrategia del gobierno chino para surtir de energía a las principales ciudades utilizando carbón de plantas ubicadas a cientos o incluso miles de kilómetros de distancia. El carbón es quemado en centrales eléctricas cerca de los yacimientos para ser convertido en electricidad que luego es transportada por cables (wires). La meta es producir la mitad de la electricidad a base de carbón cerca de las minas donde éste es extraido y luego transportarla por cable hacia otros lugares (MP 2.5).

Embarque de carbón. El carbón transportado en camiones, vias férreas y buques de carga libera un polvo microscópico (materia fina particulada - $MP_{2.5}$) que juega un rol importante en enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

5. Otras tendencias globales que influyen en el futuro consumo de carbón

Este capítulo analiza distintas tendencias políticas y técnicas que podrían influir en el futuro consumo de carbón a nivel mundial. Se pone especial énfasis en la tecnología de captura, transporte y almacenamiento del carbono (CCTS), y en las posibles políticas de demanda y oferta.

5.1 ¿Cuál es la influencia de la tecnología CCTS sobre la demanda internacional de carbón?[13]

5.1.1 Descripción de la tecnología

La tecnología de captura, transporte y almacenamiento del carbono (CCTS) recibe el apoyo de muchas compañías de electricidad por combinar la producción de electricidad a partir de carbón con la descarbonización. La tecnología consiste en tres etapas, empezando por la captura del CO_2 que proviene de fuentes de emisión, como plantas eléctricas o instalaciones industriales. En la segunda etapa, se transporta el CO_2 a un sitio de almacenamiento subterráneo donde luego, en la tercera etapa, se comprime en formaciones geológicas apropiadas. La mayoría de los estudios se refieren a esta tecnología como CCS, olvidando la "T" que representa el transporte como parte importante de la cadena.

La idea de que la CCTS podía ser parte de un camino hacia un sistema de energía sostenible surgió a finales de los 90 y se volvió incluso más prominente tras un informe especial del IPCC (2005). Esta tecnología aspira a quemar combustibles fósiles sin producir los efectos externos negativos de las emisiones de CO_2, para complementar las tecnologías de las energías renovables y nucleares, que son bajas en carbono. La Hoja de Ruta (2009) de la AIE calcula que reducir las emisiones de CO_2 en 50% en el 2050, en comparación con el nivel de 1990, sin el uso de la CCTS, podría aumentar los costos mundiales de mitigación hasta en 71%. Los costos aumentarían aún más (se calculan rangos entre 29 y 297%), si se tratase de un escenario apropiado para alcanzar la meta de 2°C sin el uso de la tecnología CCTS, según el informe más reciente del IPCC (2014).

No obstante, la combinación a gran escala de la cadena de valor de la CCTS no ha sido comprobada aún, según registra una publicación especial de Gale et al. (2015). Varias experiencias muestran que la aplicación de la CCTS como una tecnología de descarbonización para el sector eléctrico es improbable, ya que las energías renovables son una alternativa menos costosa. Las únicas aplicaciones a pequeña escala que existen de la CCTS son una combinación de esta tecnología en la llamada Recuperación Mejorada de Petróleo utilizando CO_2 (CO_2-EOR) (Hirschhausen, Herold y Oei 2012). No obstante, estos conceptos de captura y utilización del carbono (CCU), incluyendo la CO_2-EOR o la producción de urea, tienen un potencial mundial limitado y muy pocos efectos de mitigación de CO_2.

13. Las secciones sobre CCTS sintetizan hallazgos de Hirschhausen (2012), Oei et al. (2014) y Mendelevitch (2014).

En procesos de CO_2-EOR, la mayoría del CO_2 inyectado se disemina en el almacenamiento subterráneo. Además, el petróleo extraído adicionalmente está conduciendo a más emisiones (Gale et al. 2015).

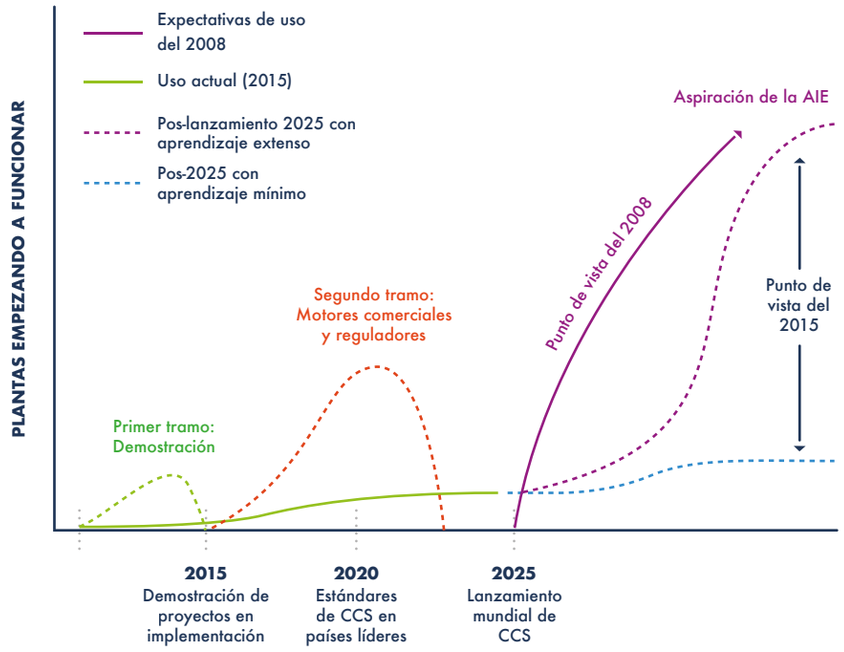
5.1.2 Bajas probabilidades de lanzamiento de la tecnología hasta el 2030

Eckhause y Herold (2014) muestran que el éxito de un lanzamiento global de la tecnología tecnología de captura, transporte y almacenamiento del carbono (CCTS) dependería de los esquemas estatales de financiación existentes. La Comisión Europea intentó financiar numerosos proyectos de distintas tecnologías de captura (pre-combustión, post-combustión, oxicombustión), distintas fuentes (plantas de energía eléctrica, industria) y numerosos países (DE, ES, FR, GB, IT, NL, PL, RO), a través del Programa Energético Europeo para la Recuperación (PEER) y dos programas NER300 (reserva de nuevos entrantes) de seguimiento (Lupion y Herzog 2013). No obstante, durante el proceso, todos los proyectos retiraron sus aplicaciones, se cerraron o han seguido aplazando su decisión final sobre la inversión durante varios años (Hirschhausen, Herold y Oei 2012).

Aún existe una discordancia cognitiva en la predicción de los modelos "top-down" (de arriba hacia abajo) que permite que se pongan esperanzas en la tecnología CCTS y en las experiencias "bottom-up" (de abajo hacia arriba). Por un lado, algunos modelos de sistemas a largo plazo de energía insisten en la necesidad de la CCTS para alcanzar escenarios ambiciosos de descarbonización (IPCC 2014). La Hoja de Ruta (Roadmap) 2050 de la UE aún proyecta un promedio de 133 GW de capacidad de generación eléctrica usando la tecnología CCTS al 2050, lo que equivale a la captura de 1 Gt de CO_2 al año (CE 2011). El World Energy Outlook de la AIE (2014e) incluso calcula más de 800 GW de capacidad de CCTS instalada a nivel mundial al 2040 en su escenario de 450 ppm. Por otro lado, los primeros en moverse, como EE.UU., Canadá, Noruega y el Reino Unido, han cambiado de enfoque y ahora ponen su atención en la CO_2-EOR, que no tiene mucho que ver con la idea original de la mitigación de CO_2 a través de la CCTS, ya que el nuevo petróleo o gas extraído conduce a emisiones adicionales de CO_2 (Gale et al. 2015; MIT 2007).

Los países europeos que solían tener amplia investigación y desarrollo, y ambiciosos objetivos de demostración, como Países Bajos, Alemania y Polonia, han dejado de lado sus proyectos piloto. Las dos naciones del mundo que más carbón queman están realizando sus propias investigaciones modestas (China) o ignorando la tecnología CCTS por completo (India), en vez de interesarse por volverse beneficiarios de esta (Wuppertal Institute 2012; GCCSI 2014). Se calcula que la probabilidad de que la tecnología CCTS alcance la madurez tecnológica antes del 2030 es muy baja. Esto excluiría la opción de que las plantas de carbón capturen su emisión de CO_2 y conllevaría a la necesidad de eliminar todas las plantas de carbón en las próximas décadas para cumplir con las metas de descarbonización.

Figura 7: Posible introducción futura de CCTS: expectativas versus realidad



Fuente: Reiner (2016).

5.2 Políticas climáticas globales dirigidas al consumo de carbón[14]

Las políticas climáticas mundiales se pueden organizar usando distintos criterios. Una manera común es según criterios de demanda y oferta. Las políticas que están dirigidas hacia los consumidores se conocen como políticas del lado de la demanda, mientras que las que se dirigen a la producción se conocen como políticas del lado de la oferta.

Otra manera frecuente de organizar las políticas es según su enfoque general. Los instrumentos económicos basados en el mercado pueden tomar la forma de impuestos/subsidios, permisos comercializables/créditos o ajustes fiscales en fronteras, y están diseñados para influir en la toma de decisiones de empresas capaces de maximizar las ganancias (Kolstad et al. 2014, 364). Estos instrumentos buscan incentivar el comportamiento deseado de los actores privados y pueden requerir de estrategias adicionales si el comportamiento no es el esperado o si carecen de viabilidad política.

Los enfoques puramente reguladores son otra alternativa. Estos establecen una norma (estándar) que la entidad regulada debe cumplir para no recibir una sanción. Los híbridos, entre enfoques basados en el mercado y reguladores, son ampliamente aplicados (regulación por incentivos). Adicionalmente, hay programas de información y provisiones de bienes y servicios por parte del gobierno que pueden utilizarse como instrumentos adicionales para alcanzar los objetivos climáticos.

14. Esta sección toma mucho de Collins y Mendelevitch (2015) y Oei et al. (2014a).

5.2.1 Políticas de demanda para disminuir las emisiones

Estas políticas proveen incentivos indirectos para reducir el consumo de carbón y son las que más han recibido atención en la literatura académica y las que se han puesto en práctica más comúnmente. Los instrumentos que dan precios al carbono dan un precio explícito a las emisiones (directamente, como un impuesto al carbono, o indirectamente, a través de un esquema "cap-and-trade" (de límites y comercio) (OCDE 2013b)). Estos instrumentos se han implementado (o están por ser implementados) en 39 países y, a nivel jurisdiccional, en otros 3 países (Kossoy et al. 2015, 22).

Hay muchos otros instrumentos políticos que dan un precio implícito al carbono, como los impuestos al uso de energía, los estándares de emisión o las normas para usar fuentes de energía de bajas emisiones. Otras políticas del lado de la demanda incluyen medidas para promover la eficiencia de la energía y un consumo reducido de esta. Todos estos tipos de instrumentos políticos se usan en muchos países y pueden servir para otros objetivos, además de para reducir las emisiones (OCDE 2013b) [15].

Los instrumentos basados en el mercado que dan precios al carbono son, en teoría, los instrumentos políticos más eficientes para reducir las emisiones (e.g. Stavins 2003). Los resultados prácticos al parecer apoyan esta teoría y muestran que los esquemas "cap-and-trade" y los impuestos al carbono generan más reducción a un costo más bajo, en comparación con otros instrumentos políticos (OCDE 2013c). Sin embargo, una implementación o diseño inadecuados podrían socavar la efectividad de estos instrumentos. Por ejemplo, antes de comenzar el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la UE (ETS, por sus siglas en inglés), se predijo que su efectividad sería reducida a causa de una asignación sub-óptima de los permisos (Kemfert, Diekmann y Ziesing 2004), y ahora esto ha sucedido en la práctica (Ellerman, Valero y Zaklan 2015; Neuhoff et al. 2015). El ETS de la Unión Europea y otros instrumentos económicos similares implementados mundialmente sólo han generado bajos precios de carbono (€5 por tonelada de CO_2 en promedio, en el 2014 (AIE 2015b, 23). Sin embargo, los precios del carbono deben ser más altos para que el carbón sea sustituido en el sector de la generación de energía eléctrica (por ejemplo, un cálculo reciente sugiere que el precio que conduciría al cambio de carbón a gas en Europa sería de €40 (Gray 2015, 49). Adicionalmente, es probable que se necesiten precios de carbono incluso más altos para producir el cierre de los generadores a partir de

15. El Instituto de Investigación Grantham tiene una base de datos de la legislación climática a nivel mundial que incluye los detalles de distintas políticas que se han implementado (Grantham Research Institute 2015).

carbón que están viejos y completamente devaluados (AIE 2014a, 17).

El hecho de que no haya una participación completa en la política climática global hace que las políticas de demanda sean susceptibles a fugas de carbono; es decir, que las actividades intensivas en emisiones pasan a los países no-participantes y que aunque los países participantes logren reducir las emisiones, estas aumentan en los países no-participantes (ver e.g. Felder y Rutherford 1993; Sinn 2008). Richter (2015) ofrece un resumen de los estudios empíricos sobre el efecto de fuga de carbono, cuya existencia es indiscutible pero controversial en cuanto a su magnitud.

Ex-ante, se observa que la elasticidad-precio de la oferta del carbón es crucial para la magnitud del efecto, con una mayor elasticidad conduciendo a mayores efectos de fuga (Burniaux y Oliveira Martins 2012). Usando modelos de equilibrio general que incorporan la interacción entre el comercio y el medio ambiente, los estudios han encontrado tan solo tasas moderadas de fuga (Felder y Rutherford 1993; Paltsev 2001; Di Maria y Werf 2008). Por su parte, Babiker (2005), quien critica las suposiciones demasiado simplistas sobre el mercado y la estructura de la industria, calcula que habrá altas tasas de fuga de carbono. Arroyo-Currás et al. (2015), empleando un marco de evaluación integrada, identifican una fuga limitada de 15%, si Estados Unidos, la Unión Europea y China actúan como regiones pioneras.

En un estudio empírico ex-post del efecto del Protocolo de Kioto en las emisiones de GEI, Aichele y Felbermayr (2015) encuentran un cambio en los patrones de producción de bienes intensivos en emisiones y, en este cambio, la evidencia de una fuga de carbono de cerca de un 8%. Si este porcentaje se combina con hallazgos anteriores de Aichele y Felbermayr (2012), la tasa de fuga de carbono estimada sería de aproximadamente 40%.

Los autores del "Symposium on 'International Climate Negotiations'" (Simposio de "Negociaciones Internacionales sobre el Clima") (Gollier y Tirole 2015; Weitzman 2015; Cramton, Ockenfels y Stoft 2015) publicado en "Economics of Energy & Environmental Policy" (Economía de la Energía y Política Ambiental) arguyen a favor de un precio de carbono fijo, para cerrar la grieta que permite la fuga y para alcanzar una política global de carbono en las negociaciones internacionales sobre el cambio climático. Por el contrario, Stiglitz (2015) razona a favor de un enfoque flexible y diferenciado que incluya impuestos al carbono, sistemas de "cap-and-trade" y mecanismos reguladores, pero también un fondo verde ("green fund") que represente la responsabilidad compartida.

También se ha teorizado sobre una "paradoja verde" ("green paradox"), según la cual las expectativas que se tengan de las políticas de demanda podrían conducir a los productores de recursos a aumentar sus tasas actuales de extracción para maximizar el valor actual neto (Sinn

2015). Mientras que Haftendorn, Kemfert y Holz (2012) sugieren que, en la práctica, la paradoja verde no es relevante para el mercado de carbón térmico, Bauer et. al (2013) observan una reducción de los precios del carbón a corto plazo, debido a políticas climáticas estrictas.

La Tabla 6 describe varias posibles políticas reguladoras del lado de la demanda para reducir la generación de electricidad a partir de carbón. Estas políticas incluyen una eficiencia mínima del combustible o mayores requisitos de flexibilidad, precios nacionales mínimos para permisos de emisión de CO_2, mecanismos de capacidad, un límite a las emisiones residuales para las plantas a carbón, estándares de rendimiento de emisiones y políticas para regular las redes de transmisión. Algunos países de la Unión Europea, como también del otro lado del Atlántico, han tomado la iniciativa de adoptar medidas complementarias; específicamente, el Reino Unido (estándares de rendimiento de emisiones (EPS, por sus siglas en inglés) de CO_2 y un precio base de carbono), Estados Unidos (EPS) y un plan adicional para dar de baja las instalaciones más antiguas) y Canadá (EPS).

5.2.2 Políticas de oferta

En el contexto de poco progreso en cuanto a la demanda, la literatura sobre políticas que se dirigen a la oferta del carbón está tomando fuerza. Un tipo de política de oferta busca remover directamente las reservas de carbón de la producción, bien sea parcialmente, enfocándose en las reservas de alto costo de extracción para una eficiencia económica (Harstad 2012), o bien sea, de manera más extrema, cerrando progresivamente toda la industria carbonífera (Collier y Venables 2014).

Otro tipo de política de oferta es el impuesto de agotamiento (depletion tax), o alternativamente la cuota de agotamiento, que es análogo con la política de demanda del impuesto al carbono (o, para la cuota de agotamiento, el presupuesto de carbono). Por ejemplo, Richter et al. (2015) propusieron un impuesto al contenido de energía del carbón térmico, recaudado por una coalición de grandes exportadores de carbón. Su modelo muestra que una recaudación de impuestos por una coalición de grandes exportadores es preferible a la recaudación de un impuesto por un solo exportador de carbón, y que los impuestos sobre la producción generan mejores resultados que los de la exportación (aunque señalan que aplicar impuestos sobre la producción podría ser políticamente contencioso).

Una política de oferta para el carbón podría también tomar la forma de un régimen de licencias de exportación, adoptado por una coalición de grandes exportadores de carbón, en analogía con el régimen de garantías para las exportaciones de uranio, basado en el razonamiento de que la regulación de la exportación de mercancías según su uso nocivo o inmoral es un principio ampliamente aceptado y que debería extenderse al carbón (A. Martin 2014). Lazarus, Erickson y Tempest (2015) dan una taxonomía comprensiva de las políticas climáticas de oferta.

Tabla 6: **Políticas reguladoras del lado de la demanda para reducir la generación de energía a partir del carbón**

Medida propuesta	Efecto esperado	Posibles ventajas	Posibles fallas	Propuesto/discutido por
Reforma EU-ETS (Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la UE)	Indicadores de precios por medio de la introducción de una reserva de estabilidad del mercado (MSR); medidas adicionales: 900 millones de permisos europeos (EUA) aplazados directamente en MSR; inicio del MSR en 2017 en lugar de 2021	Instrumento para la UE; además, ningún efecto de fuga por las fronteras toca a tantos sectores como la electricidad	Reformas estructurales inciertas desde la perspectiva actual; el alcance de los impactos es impredecible a causa del alto excedente de certificados	Gobierno alemán (2014)
CO_2 precio base	Los certificados de CO_2 se volverán más caros	Inversión en seguridad de los operarios	Los precios viables probablemente sean muy bajos como para resultar en un cambio de lignito a gas natural en el corto plazo	BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN (2014)
Eficiencia mínima	Cierre de plantas de energía ineficientes	Uso más eficiente de las materias primas	Las turbinas de gas de ciclo abierto (OCGT) podrían verse afectadas también; procesos de prueba y medición complejos y demorados	BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN (2009)
Requisitos de flexibilidades	Cierre o señalamiento de plantas de energía inflexibles	Mejor integración de las fluctuantes fuentes de energía renovable	Las turbinas de gas de ciclo combinado (CCGT) podrían verse afectadas también; procesos de prueba y medición complejos y demorados	Matthes et al. (2012)
Ley de eliminación de carbón	Producción máxima [TWh] o permiso de emisiones [tCO_2] para las plantas	Plan fijo de eliminación gradual del carbón y planeación de la inversión en seguridad	La salida de subastas de subsidios sería difícil de predecir	Greenpeace (2012), DIE LINKE (2014)
Estándar de rendimiento de emisiones (por unidad; para nuevas platas y modernizaciones)	Restricciones a las nuevas plantas y modernización (sin captura de CO_2) [< x g/MWh]	Prevención de inversiones en plantas con alta producción de CO_2 (futuramente abandonadas)	Menor reducción de emisiones a corto plazo	IASS Potsdam (2014), Ziehm et al. (2014), BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN (2015), Oei et al. (2014; 2014b)
Estándar de rendimiento de emisiones (límite de emisiones para plantas existentes)	Reducción del factor de carga de las plantas de carbón depreciadas (p. ej. > 30y) [< x g/MW]	Preservación de las capacidades de generación	El impacto económico en la eficiencia de plantas de energía podría llevar al cierre de edificios más viejos	IASS Potsdam (2014), Ziehm et al. (2014), BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN (2015); Oei et al (2015)
Mecanismos o reserva de capacidad para plantas a carbón	Incentivo para la construcción de plantas de menor producción de CO_2 cuando sean incluidos los criterios ambientales	Apoyo a las plantas de gas; mover las plantas de carbón a una reserva para reducir sus emisiones y prevenir embotellamiento del suministro	Dificultad para establecer criterios alineados con las leyes de apoyo estatal de la UE si los pagos se dieran solo a unidades seleccionadas	Matthes et al. (2012), Reitz et al. (2014; Reitz, Gerbaulet, von Hirschhausen, et al. 2014); Oei et al (2015)
Contribución financiera al clima	Recaudación adicional para viejas plantas con alta producción de CO_2	Limitar las emisiones de la mayoría de instalaciones de alta producción de CO2; preservar las capacidades; compatible con EU-ETS	Las unidades más viejas podrían volverse poco rentables si la cuota es demasiado alta	BMWI (2015), Oei et al. (2015)

Fuente: Representación propia basada en Oei et al. (2014a).

Collier y Venables (2014) defienden que, en la ausencia de participación completa en políticas climáticas globales, una política de oferta enfocada sería más efectiva para la reducción de emisiones de combustión de carbón que una política de demanda. En particular, la fuga de carbono es minimizada bajo una política de oferta, más que bajo una de demanda, si la elasticidad-precio de la demanda es alta en relación con la elasticidad-precio de la oferta – el que se considera el caso del carbón a largo plazo (Collier y Venables 2014).

Se considera que también se podría eliminar la amenaza de una paradoja verde con una política de oferta bien diseñada – en particular, una que apunte al cierre de los depósitos de carbón de alto costo (Hoel 2013). Otro beneficio de las políticas de oferta es que logran resultados predecibles y observables con costos bajos de transacción (Collier y Venables 2014). También se ha sugerido que las políticas climáticas de oferta pueden conllevar grandes reducciones de emisiones por un costo marginal dado, y limitar la sobreproducción de combustibles fósiles y los efectos asociados del "monopolio de carbono" (Lazarus, Erickson y Tempest 2015). Nueva fuente importante: (Hagem y Storrøsten 2016).

Una importante consideración en relación con las políticas de oferta tiene que ver con la pregunta sobre si los productores deberían ser compensados por la pérdida de ganancias asociada con el carbón que no es producido. Un número de estudios sugieren que, bajo una política de cuotas de agotamiento distribuidas libremente, las rentas de escasez mejoradas para los combustibles fósiles extraídos compensan la pérdida de ganancias (Eisenack, Edenhofer y Kalkuhl 2012; Kalkuhl y Brecha 2013; Asheim 2013). Esto sería similar para una política que confisque reservas petrolíferas (Asheim 2013). Estos hallazgos indican que no hay necesidad de una compensación total bajo estas políticas. Sin embargo, los pagos compensatorios entre productores pueden ser necesarios todavía para aliviar los efectos distribucionales internos, a través de los cuales los productores con reservas de costos bajos de extracción se benefician a expensas de otros productores (Asheim 2013).

A la fecha, la experiencia con la implementación de políticas de oferta ha sido limitada. El concepto de preservar las reservas de combustible fósil tiene precedentes en la iniciativa Yasuni-ITT, la cual fue una propuesta del gobierno ecuatoriano en 2007 para preservar las reservas de petróleo, pero que a fin de cuentas no fue implementada (P. L. Martin 2014). Una iniciativa reciente que apunta directamente a la futura oferta de carbón es la campaña "No new coal mines" (No a las nuevas minas de carbón). La iniciativa es apoyada por el Australia Institute y está a favor de la suspensión global de nuevas minas de carbón, la cual debió ser debatida en la conferencia climática de Paris en 2015 (Denniss 2015).

Pilas de carbón en un puerto marítimo. La combustión espontánea de carbón expuesto al sol genera mezclas complejas de gases tóxicos. La inhalación sostenida de estos gases aumenta el riesgo de cáncer.

6. Conclusión

Las acciones mundiales continuas para combatir el cambio climático están teniendo mayores consecuencias en los países que producen combustible fósil, y especialmente en los que dependen de las reservas de carbón, ya que este es el combustible más carbono intensivo. La tecnología de captura, transporte y almacenamiento de carbono (CCTS) no será una opción para prolongar el uso de centrales eléctricas de carbón. Por ende, apegarse a las metas de descarbonización implica la eliminación de todas las plantas a carbón en las próximas décadas. Esto también afectará a Colombia, ya que se estima que este país tiene alrededor de 5 Gt de reservas probables de carbón. La gran mayoría del carbón extraído está siendo exportada actualmente, principalmente a Europa, EE.UU., Brasil y Chile. Sin embargo, la demanda de carbón en la mayoría de los países europeos y en EE.UU. está disminuyendo y probablemente seguirá en ese camino en las siguientes décadas. Las razones para esta disminución son el aumento de la participación de las fuentes de energía renovables, estándares ambientales nacionales más estrictos y, en el caso de EE.UU., la oferta alternativa de gas más barato. Distintos países ya han cerrado las plantas de carbón o están definiendo en qué momento de las siguientes décadas lo harán. Para Colombia, la consecuencia de esto será que tendrá más competencia en un entorno de precios bajos. Los mercados que aún tienen probabilidades de crecer, específicamente el de Turquía y el de la región de Oriente Medio y Norte de África, serían abordados por Estados Unidos y Sudáfrica, lo que disminuiría los ingresos potenciales. Otros potenciales países consumidores, como Polonia o la República Checa, probablemente usarán subsidios y medidas de re-nacionalización para proteger a las compañías nacionales de las importaciones extranjeras, como las de Colombia.

El pronóstico del sector carbón de Norteamérica no deja espacio para futuras exportaciones de Colombia a Estados Unidos. Hay mucha presión sobre el sector nacional de producción y los precios han bajado en hasta un 50 % del 2010 al 2015. Por el contrario, Estados Unidos podría convertirse en un competidor en el mercado del Pacífico, si es que cede la actual oposición de los estados de la Costa Oeste de EE.UU. a la construcción de terminales para la exportación desde Wyoming de carbón del río Powder. En Latinoamérica aún quedan Brasil, Chile y México como importadores de carbón, pero Colombia podría enfrentarse a más competencia, proviniendo de distintos proveedores del mercado de carbón tanto del Atlántico como del Pacífico.

Tal vez Colombia encontraría una oportunidad al enfocar su interés en el mercado de carbón del Pacífico. Esta estrategia estaría apoyada por la reciente ampliación del Canal de Panamá y los planes inciertos de ampliar el "Puerto Buenaventura" en la Costa Pacífica colombiana. Actualmente, el mercado del Pacífico está siendo dominado por

Indonesia y, en menor grado, Australia. No obstante, es probable que la demanda de carbón importado en China caiga, debido a que se facilitará el transporte interno de carbón y a la pronosticada disminución de la demanda de carbón. Las plantas de carbón en India y el Sudeste Asiático están usando principalmente carbón de baja calidad de Indonesia, que puede proveer carbón a precios bajos, gracias a que las distancias son cortas y el acceso marítimo es fácil. Esto hace que para Colombia sea muy difícil entrar en estos mercados. Sería más probable que las nuevas centrales térmicas construidas en Japón o Corea del Sur utilizaran el carbón colombiano, además del de Australia. Sin embargo, el aumento de la competencia conduciría a una reducción de los precios del carbón también en el mercado del Pacífico.

Este estudio examina las posibles tendencias futuras del mercado internacional de carbón térmico, enfocándose en el potencial de exportación de Colombia. El estudio se enfoca en consideraciones comerciales y económicas, y también tiene en cuenta los futuros aspectos de la política climática. Los hallazgos muestran que la mayor parte de las exportaciones de carbón disminuirá notablemente en los próximos años. Es poco probable que las nuevas centrales térmicas que posiblemente se construyan en otros países compensen la pérdida de estas exportaciones. Además, el crecimiento de la competencia en los mercados de carbón del Atlántico y del Pacífico disminuirá aún más los precios y por ende también los ingresos de las compañías de minería. El número creciente de despidos y quiebras declaradas, incluyendo a tres de las cuatro principales compañías de minería de carbón de EE.UU. en el 2015, podría ser sólo el comienzo de una burbuja de carbono que devalúe las inversiones en carbono. Cada vez más seguros y fondos de pensiones están modificando sus portafolios, invirtiendo en sectores más sostenibles.

De acuerdo con todo esto, la idea de continuar o, más aún, aumentar los volúmenes de la minería en Colombia debería ser evaluada más cuidadosamente, desde una mirada económica. Ignorar los riesgos descritos anteriormente podría conducir a más inversiones estancadas en instalaciones de minería, y sería otro ejemplo de cómo el curso que toman los recursos disminuye el crecimiento económico de Colombia, especialmente en La Guajira y Cesar.

Frente al panorama del decrecimiento progresivo de los ingresos por carbón para Colombia, resulta clave y apremiante iniciar una transición hacia industrias alternativas en las regiones de extracción de carbón es de suma importancia, independientemente de las fechas proyectadas de cierre de la mina. El sector carbonífero colombiano es similar al de muchos otros países en que está dominado por un pequeño número de empresas privadas internacionales. Estas compañías se enfocan en la extracción de carbón en Colombia, pero rápidamente reducirán cualquier inversión una vez que el negocio deje de ser rentable. Como consecuencia, los países exportadores, como Colombia, corren el riesgo no solo de perder gran

parte de su ingreso estatal, sino también de ser dejadas con regiones monoproductoras (como es el caso del Cesar y La Guajira) que enfrentarán serias dificultades para transitar hacia sectores alternativos más sustentables, si comienzan tarde una transición.

Por esta razón, la continuación e incluso el aumento de los volúmenes de exportación de carbón en Colombia deben evaluarse de manera más cercana desde una perspectiva económica, tomando en cuenta las realidades del mercado y las tendencias, así como las llamadas "externalidades locales". Ignorar los riesgos actuales del mercado de carbón podría conducir al estancamiento de inversiones en infraestructura minera y de transporte, brindando un ejemplo más de cómo la maldición de los recursos puede enlentecer el desarrollo económico de las regiones.

En un entorno de alta competición y de altos riesgos, las operaciones mineras continuarán enfrentando una presión creciente que llevará al cierre de minas de carbón y al consecuente estancamiento de inversiones. Cada vez más fondos de pensión y de seguros internacionales están desinvirtiendo del carbón e invirtiendo en sectores más sostenibles. Las empresas internacionales que quedan en el negocio del carbón probablemente concentrarán sus negocios en aquellas minas con los costos más bajos y la mejor calidad de carbón. Con un modelo de negocios que se enfoca en la maximización de los beneficios a corto plazo, estas empresas actuarán para aumentar el apoyo gubernamental a sus operaciones y para reducir la rendición de cuentas sobre los negativos efectos locales. Lo último incluye costos ambientales y de salud, así como los costos asociados a la baja remuneración de la mano de obra en relación con las regulaciones laborales de otros países. Como resultado, aquellos países con gobernabilidad débil y con los estándares regulatorios más bajos en cuanto a materias ambientales y de seguridad pudieran permanecer más atractivos para la inversión, pero aquellos con los mayores costos socioambientales a largo plazo.

Agradecimientos

Nos gustaría agradecer a Kristina Dietz, Ferdinand Muggenthaler, Laura Rodríguez y Sebastian Rötters por sus valiosas ideas, críticas y comentarios, con respecto a las particularidades del mercado colombiano de carbón. También agradecemos al grupo de investigación CoalExit, financiado por el Ministerio Federal de Educación e Investigación de Alemania, así como a Felipe Corral Montoya, Jan Ilsemann, Franziska Holz. La usual cláusula de exención de responsabilidad aplica.

7. Lista de Referencias

AA. 2015. "Chile - Wirtschaft." Berlín, Alemania: Auswärtige Amt. http://www.auswaertiges-amt.de/DE/Aussenpolitik/Laender/Laenderinfos/Chile/Wirtschaft.html.

2016. "Kolumbien." Berlín, Alemania: Auswärtige Amt. http://www.auswaertiges-amt.de/DE/Aussenpolitik/Laender/Laenderinfos/01-Laender/Kolumbien.html.

Adler, Jonathan H. 2016. "Supreme Court Puts the Brakes on the EPA's Clean Power Plan." *The Washington Post*, Febrero 9. https://www.washingtonpost.com/news/volokh-conspiracy/wp/2016/02/09/supreme-court-puts-the-brakes-on-the-epas-clean-power-plan/.

Aichele, Rahel y Gabriel Felbermayr. 2012. "Kyoto and the Carbon Footprint of Nations." *Journal of Environmental Economics and Management* 63 (3): 336–54. doi:10.1016/j.jeem.2011.10.005.

2015. "Kyoto and Carbon Leakage: An Empirical Analysis of the Carbon Content of Bilateral Trade." *Review of Economics and Statistics* 97 (1): 104–15. doi:10.1162/REST_a_00438.

AIE. 2009. "Technology Roadmap - Carbon Capture and Storage." Agencia Internacional de la Energía. París, Francia.

——. 2012. "Oil&Gas Security Chile." http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/chile_2012.pdf.

——. 2013. *Medium-Term Coal Market Report 2013*. Medium-Term Coal Market Report. AIE. http://www.oecd-ilibrary.org/energy/medium-term-coal-market-report-2013_mtrcoal-2013-en.

——. 2014a. "Energy, Climate Change and Environment: 2014 Insights." Energy, Climate Change and Environment. París, Francia: Agencia Internacional de la Energía, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. http://www.oecd-ilibrary.org/energy/energy-climate-change-and-environment_9789264220744-en.

——. 2014b. "Energy Policies of IEA Countries: The Netherlands 2014 Review." Agencia Internacional de la Energía. http://dx.doi.org/10.1787/9789264210462-en.

——. 2014c. "World Energy Outlook Special Report 2014: World Energy Investment

Outlook." World Energy Outlook. http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/weo-2014-special-report---investment.html.

——·. 2014d. *Coal Information 2014*. Coal Information. AIE. http://www.oecd-ilibrary.org/energy/coal-information-2014_coal-2014-en.

——·. 2014e. *World Energy Outlook 2014*. World Energy Outlook. París, Francia: International Energy Agency, OECD Publishing. http://www.oecd-ilibrary.org/energy/world-energy-outlook-2014_weo-2014-en.

——·. 2015a. *World Energy Outlook 2015*. World Energy Outlook. París, Francia: International Energy Agency, OECD Publishing. http://www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/6115271e.pdf?expires=1448556316&id=id&accname=ocid195153&checksum=B307C9BC7DFBD042C599EF4D6BE236CF.

——·. 2015b. "World Energy Outlook Special Report 2015: Energy and Climate Change." World Energy Outlook. http://www.worldenergyoutlook.org/energyclimate/#d.en.143801.

——·. 2015c. *Coal Information 2015*. Coal Information. AIE. http://www.oecd-ilibrary.org/energy/coal-information-2015_coal-2015-en.

AIE CCC. 2014. "Prospect for Coal and Clean Coal Technologies in Turkey." Londres, Reino Unido: AIE Clean Coal Center.

AEI CIAB. 2010. "Power Generation from Coal - Measuring and Reporting Efficiency Performance and CO2 Emissions". Paris, France: IEA Coal Industry Advisory Board.

AIE/OCDE. 2014. *Medium-Term Coal Market Report 2014 - Market Analysis and Forecasts to 2019*. Medium-Term Coal Market Report. OECD Publishing. http://www.oecd-ilibrary.org/energy/medium-term-coal-market-report-2014_mtrcoal-2014-en.

Agencia Internacional de la Energía. 1997. *International Coal Trade : The Evolution of a Global Market*. París, Francia; Washington D.C.: OCDE ; Centro de Washington OCDE [distribuidor].

Agora Energiewende. 2014. Comparing electricity prices for industry. An elusive task - illustrated by the German Case. Berlin: Agora Energiewende

APEC. 2006. "Chile." En *Energy Demand and Supply Outlook*. Singapur.

Arroyo-Currás, Tabaré, Nico Bauer, Elmar Kriegler, Valeria Jana Schwanitz, Gunnar Luderer, Tino Aboumahboub, Anastasis Giannousakis y Jérôme Hilaire. 2015. "Carbon Leakage in a Fragmented Climate Regime: The Dynamic Response of Global Energy Markets." *Technological Forecasting and Social Change* 90, Part A (Enero): 192–203. doi:10.1016/j.techfore.2013.10.002.

Asheim, Geir B. 2013. "A Distributional Argument for Supply-Side Climate Policies." *Environmental and Resource Economics* 56 (2): 239–54. doi:10.1007/s10640-012-9590-2.

Babiker, Mustafa H. 2005. "Climate Change Policy, Market Structure, and Carbon Leakage." *Journal of International Economics* 65 (2): 421–45. doi:doi:10.1016/j.jinteco.2004.01.003.

Bauer, Nico, Ioanna Mouratiadou, Gunnar Luderer, Lavinia Baumstark, Robert J. Brecha, Ottmar Edenhofer y Elmar Kriegler. 2013. "Global Fossil Energy Markets and Climate Change Mitigation – an Analysis with REMIND." *Climatic Change*, Octubre, 1–14. doi:10.1007/s10584-013-0901-6.

Bayona, E. (2016). "¿Cuál ha sido el aporte de la minería de carbón al bienestar social de los departamentos del Cesar y La Guajira, Colombia? Análisis de las finanzas públicas y privadas." En: *Voluntarismo financiero y atraso económico en América Latina. El mercado de capitales en la industrialización*, 501–75. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Economía.

bettercoal. 2016. "Bettercoal: Defining Standards. Refining Practice." 2016. http://bettercoal.org/.

BMWI. 2010. "Energiekonzept Für Eine Umweltschonende, Zuverlässige Und Bezahlbare Energieversorgung." Berlín, Alemania: Ministerio Federal de Economía y Energía.

——·. 2016. "Kohle." http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Konventionelle-Energietraeger/kohle,did=190808.html.

Boren, Zachary Davies. 2016. "China Stops Building New Coal-Fired Power Plants." *Energydesk*. Marzo 24. http://energydesk.greenpeace.org/2016/03/24/china-crackdown-new-Coal-power-plants/.

Bright, Paul. 2011. "Coal in Colombia." *World Coal*. Octubre 2. http://www.worldcoal.com/coal/10022011/Coal_in_Colombia/.

British Geological Survey. 2014. "Surface Mined Coal Statistics." http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/mines/coal/occ/home.html.

Buendia, Vanessa y Olivia Gagan. 2012. "IJ Infrastructure Investment Guide: Colombia." Londres, Reino Unido: Infrastructure Journal.

Bundesnetzagentur. 2014. "Stromerzeugung Der Vier Größten Stromversorger in Deutschland Im Jahresvergleich 2010 Und 2014." http://de.statista.com/statistik/daten/studie/186645/umfrage/anteil-der-groessten-stromerzeuger-an-der-stromerzeugung-in-deutschland/.

Burke, Paul y Hua Liao. 2015. "Is the Price Elasticity of Demand for Coal in China Increasing?" CCEP Working Paper. Centre for Climate Economics & Policy, Crawford School of Public Policy, The Australian National University. http://econpapers.repec.org/paper/eenccepwp/1506.htm.

Burniaux, Jean-Marc y Joaquim Oliveira Martins. 2012. "Carbon Leakages: A General Equilibrium View." *Economic Theory* 49 (2): 473–95. doi:10.1007/s00199-010-0598-y.

Caldecott, Ben, Gerard Dericks, Daniel J. Tulloch, Lucas Kruitwagen y Irem Kok. 2016. "Stranded Assets and Thermal Coal in Japan: An Analysis of Environment-Related Risk Exposure." Working Paper. Sustainable Finance Programme. Oxford, Reino Unido: Escuela Smith de Empresa y Medio Ambiente, Universidad de Oxford.

CAN. 2016a. "Ditch Coal: The Global Mining Impacts of the 2 UK's Addiction to Coal." Coal Action Network.

——. 2016b. "Ditch Coal: The Global Mining Impacts of the 2 UK's Addiction to Coal - Appendix IV." Coal Action Network.

——. 2016c. "Belgium Says Goodbye to Coal Power Use." Climate Action Network Europe, Ania Drazkiewicz. Abril. http://www.caneurope.org/can-and-press/952-belgium-says-goodbye-to-coal-power-use.

Carl, Jeremy. 2015. "The Causes and Implications of India's Coal Production Shortfall." En *The Global Coal Market: Supplying the Major Fuel for Emerging Economies*, editado por Mark C. Thurber y Richard K. Morse. Cambridge University Press.

CAT. 2015. "Climate Action Tracker." Ecofys, Climate Analytics, PIK, New Climate Institute. Diciembre. http://climateactiontracker.org/indcs.html.

CE. 2011. "Energy Roadmap 2050." COM(2011) 885 final. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, Consejo, Comité Económico y Social Europeo y Comité de las Regiones. Bruselas. http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0885:FIN:EN:PDF.

CENSAT. 2015. "La desviación del Arroyo Bruno: Entre el desarrollo minero y la sequía." Bogotá: CENSAT, Agua Viva.

Chandler, Alfred D. 1972. "Anthracite Coal and the Beginnings of the Industrial Revolution in the United States." *Business History Review* 46 (2): 141–81. doi:10.2307/3113503.

Cheng, Iris, Harri Lammi, Martin Baker, Alexandra Dawe, Cornelia Ihl, David Santillo y Nina Schulz. 2016. "The Great Water Grab: How the Coal Industry Is Deepening the Global Water Crisis." Greenpeace International.

China Coal Resource. 2015. "China Releases Clean Coal Action Plan 2015-2020." Mayo 6. http://en.sxcoal.com/117736/NewsShow.html.

Chomsky, Aviva y Steve Striffler. 2014. "Labor Environmentalism in Colombia and Latin America." *WorkingUSA* 17 (4): 491–508. doi:10.1111/wusa.12135.

CINEP. 2012. "Informe nacional Colombia. Extractivismo asociado con minería y explotación de hidrocarburos." En *Informe sobre democracia y desarrollo en América Latina 2012-2013. Las organizaciones y las movilizaciones sociales por la defensa de los recursos y bienes naturales: Un desafío para la democracia y el desarrollo en América Latina. Una mirada desde la sociedad civil.* Asociación Latinoamericana de Organizaciones de Promoción al Desarrollo A.C. http://www.alop.org.mx/?q=informe-democracia-y-desarrollo.

CINEP/PPP. 2014. "Impactos socioterritoriales de la explotación minera en los departamentos del Cesar y La Guajira. En: *La minería de carbón a gran escala en Colombia: Impactos económicos, sociales, laborales, ambientales y territoriales*. Bogotá: Friedrich-Ebert-Stiftung.

——. 2016. "Minería, conflictos agrarios y ambientales en el sur de La Guajira." Bogotá: CINEP/PPP.

Collier, Paul y Anthony J. Venables. 2014. "Closing Coal: Economic and Moral Incentives." *Oxford Review of Economic Policy* 30 (3): 492–512. doi:10.1093/oxrep/gru024.

Collins, Kim y Roman Mendelevitch. 2015. "Leaving Coal Unburned: Options for Demand-Side and Supply-Side Policies." 87. DIW Roundup. Berlín, Alemania: Instituto Alemán para la Investigación Económica (DIW Berlin). http://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.526889.de/diw_roundup_91_en.pdf.

Commonwealth of Australia. 2015a. "Coal in India." http://www.industry.gov.au/Office-of-the-Chief-Economist/Publications/Pages/Coal-in-India.aspx.

2015b. "Resources and Energy Quarterly" 4 (4). http://www.industry.gov.au/Office-of-the-Chief-Economist/Publications/Documents/req/REQ-June15.pdf.

Coronado Delgado, Sergio, Zohanny Catrileo-Arboleda Mutis, Martha Cecilia García Velandia, Ana María Restrepo, Álvaro Delgado, and Jerry de Jesus Gravito. 2014. "Minería y conflictos en el Caribe Colombiano. Hacia una ecología política de la minería de carbón." Bogotá: CINEP.

Cramton, Peter, Axel Ockenfels y Steven Stoft. 2015. "An International Carbon-Price Commitment Promotes Cooperation." *Economics of Energy & Environmental Policy* 4 (2). doi:10.5547/2160-5890.4.2.aock.

DECC. 2013. "Energy Act." https://www.gov.uk/government/collections/energy-act.

——. 2015. "Fuel Used in Electricity Generation and Electricity Supply." Londres, Reino Unido: Departmento de Energía y Cambio Climático.

——. 2016. "Updated Energy and Emissions Projections 2015." Londres, Reino Unido: Departamento de Energía y Cambio Climático.

Deloitte. 2015. "European Energy Market Reform. Country Profile: Netherlands.".

Deloitte Turkey. 2013. "The Energy Sector: A Quick Tour for the Investor." Ankara, Turquía.

Denniss, Richard. 2015. "Moratorium on Coal Mines Makes Sense for All." *Australian Financial Review*. Noviembre 3. http://www.afr.com/opinion/moratorium-on-coal-mines-makes-sense-for-all-20151102-gkojop.

Di Maria, Corrado y Edwin van der Werf. 2008. "Carbon Leakage Revisited: Unilateral Climate Policy with Directed Technical Change." *Environmental and Resource Economics* 39 (2): 55–74. doi:10.1007/s10640-007-9091-x.

DIAN-DANE. 2016. "Información estadística." Colombia, exportaciones de café, carbón, petróleo y sus derivados, ferroníquel y no tradicionales, según valores y kilos netos 1992-2016 (Marzo). Colombia: DANE.

Dietz, Kristina. 2016. "Politics of Scale and Struggles over Mining in Colombia." En *Contested Extractivism, Society and the State: Struggles over Mining and Land*. Houndsmil: Palgrave Macmillan.

Dimsdale, Taylor. 2016. "Against the Odds - As China and the U.S. Move Low Carbon, Japan Bets on Business as Usual." Briefing Paper. Reino Unido: Third Generation Environmentalism Ltd (E3G).

Eberhard, Anton. 2015. "Market, Investment, and Policy Challenges for South African Coal." En *The Global Coal Market: Supplying the Major Fuel for Emerging Economies*, editado por Mark C. Thurber y Richard K. Morse. Cambridge University Press.

Eckhause, Jeremy y Johannes Herold. 2014. "Using Real Options to Determine Optimal Funding Strategies for CO2 Capture, Transport and Storage Projects in the European Union." *Energy Policy* 66 (C): 115–34.

Ecofys. 2014. "Subsidies and Costs of EU Energy". London, UK: European Comission.

EIA. 2015a. "Colombia: International Energy Data and Analysis." Washington DC, USA: U.S Energy Information Administration.

——. 2015b. "India's Coal Industry in Flux as Government Sets Ambitious Coal Production Targets." Washington DC, USA. Accessed September 1. http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=22652.

——. 2015c. "Coal Mine Starts Continue to Decline." Washington DC, USA. Accessed September 1. http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=23052.

——. 2015d. "Brazil - International - Analysis." Washington DC, USA. Accessed September 1. https://www.eia.gov/beta/international/analysis.cfm?iso=BRA.

——. 2015e. "Annual Energy Outlook 2015." Washington DC, USA. Accessed September 1. http://www.eia.gov/forecasts/aeo/.

——·. 2015f. "China - International - Analysis - U.S. Energy Information Administration (EIA)." Washington DC, USA. Accessed September 1. http://www.eia.gov/beta/international/analysis.cfm?iso=CHN.

——·. 2015g. "Glossary." Washington DC, USA. Accessed October 14. http://www.eia.gov/tools/glossary/?id=coal

——·. 2015h. "Coal Data Browser." Washington DC, USA. Accessed October 8. https://www.eia.gov/coal/data/browser/#/topic/38?agg=3,0,1,2&rank=g&mntp=g&geo=g&mnst=g&freq=A&datecode=2012&rtype=b&start=2001&end=2013&ctype=map&ltype=pin&maptype=0&rse=0&pin=.

——·. 2016. "Annual Coal Report 2014." Independent Statistics & Analysis. Washington, DC., USA: Department of Energy, U.S. Energy Information Administration.

Eisenack, Klaus, Ottmar Edenhofer y Matthias Kalkuhl. 2012. "Resource Rents: The Effects of Energy Taxes and Quantity Instruments for Climate Protection." *Energy Policy*, Special Section: Frontiers of Sustainability, 48 (Septiembre): 159–66. doi:10.1016/j.enpol.2012.05.001.

Ellerman, Denny, Vanessa Valero y Aleksandar Zaklan. 2015. "An Analysis of Allowance Banking in the EU ETS." Working Paper. RSCAS Working Papers. Florencia, Italia: Florence School of Regulation. http://cadmus.eui.eu//handle/1814/35517.

EPA. 2015a. "Mercury and Air Toxics Standards (MATS) for Power Plants." Overviews & Factsheets. Consultado 9 de Octubre. http://www3.epa.gov/mats/basic.html.

EPA, Environmental Protection Agency. 2015b. "Air Transport | US EPA." Consultado 9 de Octubre. http://www3.epa.gov/crossstaterule/.

——·. 2015c. "Carbon Pollution Standards for New, Modified and Reconstructed Power Plants." Policies and Guidance. Consultado 9 de Octubre. http://www2.epa.gov/cleanpowerplan/carbon-pollution-standards-new-modified-and-reconstructed-power-plants.

——·. 2015d. "Clean Power Plan for Existing Power Plants." Policies and Guidance. Consultado 9 de Octubre. http://www2.epa.gov/cleanpowerplan/clean-power-plan-existing-power-plants#CPP-final.

EPRINC. 2012. "The Economic Value of American Coal Exports." *EPRINC*. Agosto 2. http://eprinc.org/2012/08/the-economic-value-of-american-coal-exports/.

ERGO. 2011. "A Man, a Plan, a Canal - Colombia?" Country Team Dispatches. Nueva York, EE.UU.

Ersoy, Mücella. 2015. "Roal of Coal in Turkey." Presentado en el Taller de Mejores Prácticas de Producción de Electricidad a partir de Carbón, Ginebra, Octubre 29.

Eurostat. 2016. "Coal Consumption Statistics." Eurostat statistics explained ISSN 2443-8219. Luxemburgo: Eurostat, Comisión Europea. http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Coal_consumption_statistics.

Felder, Stefan y Thomas F. Rutherford. 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. doi:10.1006/jeem.1993.1040.

Fernihough, Alan y Kevin Hjortshøj O'Rourke. 2014. "Coal and the European Industrial Revolution." w19802. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. http://www.nber.org/papers/w19802.pdf.

FES. 2014. "La minería de carbón a gran escala en Colombia: Impactos económicos, sociales, laborales, ambientales y territoriales." *Análisis* 1/2014. Bogotá, Colombia: Friedrich Ebert Stiftung.

Fierro Morales, Julio. 2014. "Análisis intersectorial sobre la minería de carbón en el departamento del Cesar. Un enfoque desde la perspectiva del riesgo". En Contraloría General de La República (eds.) *Minería En Colombia: Control público, memoria y justicia socio-ecológica, movimientos sociales y posconflicto*. Bogotá: Contraloría General de la República.

Fondo Monetario Internacional. 2015. "How Large Are Global Energy Subsidies?" IMF Working Paper. Washington, DC: International Monetary Fund, Fiscal Affairs Department.

Forsythe, Michael. 2016. "China Curbs Plans for More Coal-Fired Power Plants." *The New York Times*, Abril 25. http://www.nytimes.com/2016/04/26/business/energy-environment/china-coal.html.

Gale, J., J. C. Abanades, S. Bachu y C. Jenkins. 2015. "Special Issue Commemorating the 10th Year Anniversary of the Publication of the Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on CO2 Capture and Storage." *International Journal of Greenhouse Gas Control*, Special Issue commemorating the 10th

year anniversary of the publication of the Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on CO2 Capture and Storage, 40 (Septiembre): 1–5. doi:10.1016/j.ijggc.2015.06.019.

Ganswindt, Katrin, Sebastian Rötters y Heffa Schücking. 2013. "Bitter Coal - Ein Dossier Über Deutschlands Steinkohleimporte." Sassenberg, Colonia, Alemania: urgewald, FIAN Deutschland.

GCCSI. 2014. "The Global Status of CCS: 2014." Camberra, Australia: Global CCS Institute. http://www.globalccsinstitute.com/publications/global-status-ccs-2014.

Gloystein, Henning. 2016. "Australian Coal Prices Plummet as Colombian Cargoes Head to Asia." Markets. *Reuters*. Abril. http://www.reuters.com/article/asia-coal-colombia-idUSL3N17W2A9.

GMI. 2015. "Coal Mine Methane Country Profiles: Brazil." Global Methane Initiative.

Gollier, Christian y Jean Tirole. 2015. "Negotiating Effective Institutions against Climate Change." *Economics of Energy & Environmental Policy* 4 (2). doi:10.5547/2160-5890.4.2.cgol.

Government of India. 2015a. "India's Intended Nationally Determined Contribution: Working Towards Climate Justice." http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/India/1/INDIA%20INDC%20TO%20UNFCCC.pdf.

——. 2015b. "Initiatives to Improve the Efficiency of Coal Based Power Plants." Marzo 12. http://pib.nic.in/newsite/PrintRelease.aspx?relid=116893.

Grandia, Kevin. 2016. "The G7 Summit: A Paris Agreement Litmus Test." HuffPost blog. *Japan Is a Climate Laggard, for One Main Reason – Coal*. Mayo. http://coaljapan.org/en/former-japan-climate-chief-japan-climate-laggard-one-main-reason-coal/.

Grantham Research Institute. 2015. "The Global Climate Legislation Database | Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment." *The Global Climate Legislation Database*. http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/legislation/the-global-climate-legislation-database/.

Grantham Research Institute, London School of Economics. 2015. "Global Climate Legislation Database." Consultado 21 de Septiembre. http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/Legislation.

Gray, Matthew. 2015. "Coal: Caught in the EU Utility Death Spiral." Carbon Tracker. http://www.carbontracker.org/wp-content/uploads/2015/06/CTI-EU-Utilities-Report-v6-080615.pdf.

Greenpeace. 2008. "The True Cost of Coal - How People and the Planet Are Paying the Price for the World's Dirtiest Fuel." Ámsterdam, Países Bajos: Greenpeace International.

Grupo del Banco Mundial. 2015. "Decarbonizing Development - Three Steps to a Zero-Carbon Future." Climate Change and Development Series. DOI: 10.1596/978-1-4648-0479-3. Washington, D.C., EE.UU.: Banco Internacional de Reconstrucción y Desarrollo / Banco Mundial.

——. 2016. "The World Bank DataBank | Explore . Create . Share." *Banco Mundial*. http://databank.worldbank.org/data/.

Haftendorn, Clemens, Claudia Kemfert y Franziska Holz. 2012. "What about Coal? Interactions between Climate Policies and the Global Steam Coal Market until 2030." *Energy Policy* 48: 274–83. doi:doi:10.1016/j.enpol.2012.05.032.

Hagem, C. y H. Storrøsten. 2016. "Supply versus Demand-Side Policies in the Presence of Carbon Leakage and the Green Paradox." 836. Discussion Papers. Oslo, Noruega: Statistics Norway.

Harstad, Bård. 2012. "Buy Coal! A Case for Supply-Side Environmental Policy." *Journal of Political Economy* 120 (1): 77–115. doi:10.1086/665405.

Hartlieb, Peter v., Ulrich Ruppel y Dirk Wagner. 2016. "Coal Mining in Turkey" 1 (152): 41–50.

Harvey, Hal. 2015. "A new business model for the electricity sector." Texto. *TheHill*. Julio 15. http://thehill.com/opinion/op-ed/248104-a-new-business-model-for-the-electricity-sector.

Hawkins, Dan. 2014. "El carbón y el trabajo en Colombia: a la sombra de la locomotora minera. En FES Colombia (Eds.) *La minería de carbón a gran escala en Colombia: Impactos económicos, sociales, laborales, ambientales y territoriales*. Bogotá: Friedrich-Ebert-Stiftung.

Hirschhausen, Christian von, Johannes Herold y Pao-Yu Oei. 2012. "How a 'Low Carbon' Innovation Can Fail – Tales from a 'Lost Decade' for Carbon Capture, Transport, and Sequestration (CCTS)." *Economics of Energy & Environmental Policy* 2: 115–23.

HM Government. 2009. *The UK Low Carbon Transition Plan: National Strategy for Climate and Energy*. Londres: Stationery Office.

Hoel, Michael. 2013. "Supply Side Climate Policy and the Green Paradox." http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2214897.

Holz, Franziska, Clemens Haftendorn, Roman Mendelevitch, Christian von Hirschhausen, Richard K. Morse y Mark C. Thurber. 2015. "The COALMOD-World Model: Coal Markets until 2030." En *The Global Coal Market - Supplying the Major Fuel for Emerging Economies*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.

HSBC. 2012. "Coal and Carbon - Stranded Assets: Assessing the Risk." Natural Resources Equity / Climate Change. Londres, Reino Unido: HSBC Global Research.

IEC. 2012. "Israel Electric Corporation: Strategic Aspects - Overview." Haifa, Israel: Israel Electric Corporation.

Indian Bureau of Mines. 2012. "Indian Minerals Yearbook 2011." Nagpur: Gobierno de India. Ministerio de Minas, Indian Bureau of Mines.

industcards. 2016. "Coal-Fired Plants in the Netherlands." Enero 25. http://www.industcards.com/st-coal-netherlands.htm.

IPCC. 2005. *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.

——. 2014. "Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change." Ginebra, Suiza: IPCC.

ISPAT. 2015. "Energie Und Erneuerbare Energiequellen." http://www.invest.gov.tr/de-de/sectors/Pages/Energy.aspx.

Israel Ministry of Environmental Protection. 2015. "Israel Climate Change Fact Sheet." Tel Aviv, Israel.

——. 2016. "TARGETING CLIMATE CHANGE IN ISRAEL: TOWARD PARIS AND BEYOND." *Israel Environment Bulletin*, no. 42.

IWR. 2015. "RWE-Kohlekraftwerk Eemshaven Genehmigt." Octubre 9. http://www.iwr.de/news.php?id=29650.

Jacobsen, Henriette. 2014. "Denmark Wants to Be Coal-Free by 2025." EurActiv. Noviembre. http://www.euractiv.com/section/sustainable-dev/news/denmark-wants-to-be-coal-free-by-2025/.

Kalkuhl, Matthias y Robert J. Brecha. 2013. "The Carbon Rent Economics of Climate Policy." *Energy Economics* 39 (Septiembre): 89–99. doi:10.1016/j.eneco.2013.04.008.

Kemfert, Claudia, Jochen Diekmann y Hans-Joachim Ziesing. 2004. "Emissions Trading in Europe: Effective Tool or Flight of Fancy?" *Intereconomics* 39 (3): 119–21.

Klaus, T., C. Vollmer, K. Werner, H. Lehmann y K. Müschen. 2010. "Energieziel 2050: 100% Strom Aus Erneuerbaren Quellen." Dessau - Roßlau, Alemania: Umweltbundesamt (UBA).

Klein, Caroline. 2012. "Climate Change Policies in Germany: Make Ambition Pay." Working Paper 982. OECD Publishing.

Kolstad, Charles, Kevin Urama, John Broome, Annegrete Bruvoll, M. Cariño-Olvera, Don Fullerton, Christian Gollier, et al. 2014. "Social, Economic and Ethical Concepts and Methods." En *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*, 173–248. Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, EE.UU.: Cambridge University Press. http://lup.lub.lu.se/record/5104578.

Kossoy, Alexandre, Grzegorz Peszko, Klaus Oppermann, Nicolai Prytz, Noemie Klein, Kornelis Blok, Long Khanh Lam, Lindee Wong y Bram Borkent. 2015. "State and Trends of Carbon Pricing 2015." 99533. Banco Mundial. http://documents.worldbank.org/curated/en/2015/09/25053834/state-trends-carbon-pricing-2015.

Lazarus, Michael, Peter Erickson y Kevin Tempest. 2015. "Supply-Side Climate Policy: The Road Less Taken," Stockholm Environment Institute, Working Paper, no. SEI-WP-2015-13 (Octubre): 1–24.

Leader of the G7. 2015. "Leaders' Declaration G7 Summit, 7– 8 June 2015." Schloss Elmau, Alemania.

Leaton, James. 2011. "Unburnable Carbon - Are the World's Financial Markets Carrying a Carbon Bubble?" Londres, Reino Unido: Carbon Tracker Initiative. \\afs\tu-berlin.de\units\Fak_VII\wip\share\literatur\Carbon_Tracker_Initiative_2011-Unburnable_Carbon.pdf.

Leaton, James, Reid Capalino, Luke Sussams, Andrew Grant, Mark Fulton, Clyde Henderson y Tim Buckley. 2014. "Carbon Supply Cost Curves – Evaluating Financial Risk to Coal Capital Expenditures." Carbon Tracker Initiative (CTI), Energy Economics and Financial Analysis (IEEFA), Energy Transition Advisors (ETA), and Energy Economics.

Li, Raymond. 2010. "The Evolution of the International Steam Coal Market." *International Journal of Energy Sector Management* 4 (4): 519–34. doi:10.1108/17506221011092751.

Lin, Xinyan y Mark Elder. 2014. "Major Developments in China's National Air Pollution Policies in the Early 12th Five-Year Plan." *IGES EnviroScope*, Marzo. http://pub.iges.or.jp/modules/envirolib/view.php%3Fdocid=4954.

Littlescott, Chris. 2016. "G7 Coal Scorecard Update - Coal Phase out Commitments and Power Plant Closures." Scorecard. Reino Unido: Third Generation Environmentalism Ltd (E3G).

Lupion, Monica y Howard J. Herzog. 2013. "NER300: Lessons Learnt in Attempting to Secure CCS Projects in Europe." *International Journal of Greenhouse Gas Control* 19 (Noviembre): 19–25. doi:10.1016/j.ijggc.2013.08.009.

MaRS Advanced Energy Center. 2015. "Market Information Report: Chile." Ontario, Canadá.

Marshall, Michael. 2013. "'Carbon Bubble' Threatens Climate Negotiations." *New Scientist* 218 (Abril): 2914.6. doi:10.1016/S0262-4079(13)61023-4.

Martin, Aran. 2014. "Commodity Exports and Transboundary Atmospheric Impacts: Regulating Coal in an Era of Climate Change." *Environmental Politics* 23 (4): 590–609. doi:10.1080/09644016.2014.891788.

Martin, Pamela L. 2014. "Ecuador's Yasuní-ITT Initiative: Why Did It Fail?'." *International Development Policy| Revue Internationale de Politique de Développement* 6: 2014.

McGlade, Christophe y Paul Ekins. 2015. "The Geographical Distribution of Fossil Fuels Unused When Limiting Global Warming to 2 °C." *Nature* 517 (7533): 187–90. doi:10.1038/nature14016.

Meinshausen, Malte, Nicolai Meinshausen, William Hare, Sarah C. B. Raper, Katja Frieler, Reto Knutti, David J. Frame y Myles R. Allen. 2009. "Greenhouse-Gas Emission Targets for Limiting Global Warming to 2 °C." *Nature* 458 (7242): 1158–62. doi:10.1038/nature08017.

Mendelevitch, Roman. 2014. "The Role of CO2-EOR for the Development of a CCTS Infrastructure in the North Sea Region: A Techno-Economic Model and Applications." *International Journal of Greenhouse Gas Control* 20 (Enero): 132–59. doi:10.1016/j.ijggc.2013.11.007.

MENR. 2014. "MENR Strategic Plan 2015-2019." Ankara, Turquía: Ministerio de Energía y Recursos Naturales.

Mina Invierno. 2016. "Operación Mina Invierno." *Mina Invierno*. Consultado 12 de Febrero. http://www.minainvierno.cl/operacion-mina-invierno/.

Ministerio de Energía. 2012. "National Energy Strategy 2012-2030." Santiago, Chile.

Ministry of Finance. 2015. "Budget 2015-2016 Speech of Arun Jaitley Minister of Finance." Ministerio Indio de Finanzas. http://indiabudget.nic.in/ub2015-16/bs/bs.pdf.

Ministry of National Infrastructures. 2010. "POLICY ON THE INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO THE ISRAELI ELECTRICITY SECTOR." Tel Aviv, Israel.

MINMINAS. 2015. "Productivity Improvement." Bogotá, Colombia: Ministerio de Minas y Energía. https://www.minminas.gov.co/web/ingles/productivity-improvement.

MIT. 2007. "The Future of Coal - An Interdisciplinary MIT Study." Cambridge, Mass., EE.UU.: Massachusetts Institute of Technology.

Mittal, Smiti. 2014. "India Doubles Tax On Coal To Fund Clean Energy, Environmental Projects." *CleanTechnica*. Julio 20. http://cleantechnica.com/2014/07/20/india-doubles-tax-coal-fund-clean-energy-environmental-projects/.

MME. 2015. "Plano Decenal de Expansao de Energia 2024." Brasília, Brasil: Ministério de Minas e Energia.

Mooney, Chris y Steven Mufson. 2016. "How Coal Titan Peabody, the World's Largest, Fell into Bankruptcy." *The Washington Post*, Abril 13. https://www.washingtonpost.com/news/energy-environment/wp/2016/04/13/coal-titan-peabody-energy-files-for-bankruptcy/.

Moor, Marianne y Joris van de Sandt. 2014. "The Dark Side of Coal - Paramilitary Violence in the Mining Region of Cesar, Colombia." Utrecht, Países Bajos: PAX.

Morse, Richard K. y Gang He. 2015. "The World's Greatest Coal Arbitrage." En *The Global Coal Market: Supplying the Major Fuel for Emerging Economies*, editado por Mark C. Thurber y Richard K. Morse. Cambridge University Press.

National Coal Supply Corporation. 2016. "The National Coal Supply Corporation LTD | Company Activities." http://ncsc.co.il/?page_id=1024&lang=en.

Neuhoff, K., W. Acworth, R. Betz, D. Burtraw, J. Cludius, H. Fell, C. Hepburn, et al. 2015. "Is a Market Stability Reserve Likely to Improve the Functioning of the EU ETS?: Evidence from a Model Comparison Exercise." VIII. Climate Strategies. Londres, Reino Unido. http://www.diw.de/sixcms/detail.php?id=diw_01.c.497154.de.

New Climate Institute. 2016. "Was Bedeutet Das Pariser Abkommen Für Den Klimaschutz in Deutschland?" Kurzstudie im Auftrag von Greenpeace Germany. Colonia y Berlín, Alemania: NewClimate - Institute for Climate Policy and Global Sustainability.

Nitsch, Joachim. 2013. "„Szenario 2013" – Eine Weiterentwicklung Des Leitszenarios 2011." Stuttgart, Alemania: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR).

Niv, Yehuda. 2010. "Renewable Energies, Natural Gas and Israel's Energy Mix of the Future." Tel Aviv, Israel: Ministerio Nacional de Infraestructura, Energía y Recursos Hídricos.

OCDE. 2013a. "Israel: Inventory of Estimated Budgetary Support and Tax Expenditures for Fossil-Fuels." París, Francia: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.

——. 2013b. "Climate and Carbon: Aligning Prices and Policies." OECD Environment Policy Paper. París, Francia. http://www.oecd-ilibrary.org/environment-and-sustainable-development/climate-and-carbon_5k3z11hjg6r7-en.

——. 2013c. "Effective Carbon Prices." OECD Publishing. http://www.oecd-ilibrary.org/environment/effective-carbon-prices_9789264196964-en.

——. 2015. "Companion to the Inventory of Support Measures for Fossil Fuels 2015". Paris, France: OECD Publishing.

OCDE/AIE. 2015. "Medium-Term Coal Market Report 2015." París, Francia: Agencia Internacional de la Energía. http://www.oecd-ilibrary.org/content/book/mtrcoal-2015-en.

Oei, Pao-Yu, Clemens Gerbaulet, Claudia Kemfert, Friedrich Kunz y Christian von Hirschhausen. 2015. "Auswirkung von CO2-Grenzwerten Für Fossile Kraftwerke Auf Den Strommarkt Und Klimaschutz." 104. Politikberatung Kompakt. Berlín, Alemania: DIW Berlin — Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e. V.

Oei, Pao-Yu, Clemens Gerbaulet, Claudia Kemfert, Friedrich Kunz, Felix Reitz y Christian von Hirschhausen. 2015. "Effektive CO2-Minderung Im Stromsektor: Klima-, Preis- Und Beschäftigungseffekte Des Klimabeitrags Und Alternativer Instrumente." 98. Politikberatung Kompakt. Berlín, Alemania: DIW Berlin — Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e. V.

Oei, Pao-Yu, Johannes Herold y Roman Mendelevitch. 2014. "Modeling a Carbon Capture, Transport, and Storage Infrastructure for Europe." *Environmental Modeling & Assessment* 19 (Mayo): 515–31. doi:10.1007/s10666-014-9409-3.

Oei, Pao-Yu, Claudia Kemfert, Felix Reitz y Christian von Hirschhausen. 2014a. "Braunkohleausstieg - Gestaltungsoptionen Im Rahmen Der Energiewende." 84. Politikberatung Kompakt. Berlín, Alemania: DIW Berlin — Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e. V.

——. 2014b. "Coal Power Endangers Climate Targets: Calls for Urgent Action." 8. Economic Bulletin. Berlín, Alemania: Instituto Alemán para la Investigación Económica. \\AFS\.tu-berlin.de\units\Fak_VII\wip\share\literatur\DIW_2014-economic_bulletin_08-5_wb_26-14_engl.pdf.

Oei, Pao-Yu, Claudia Kemfert, Felix Reitz y Christian von Hirschhausen. 2014. "Kohleverstromung Gefährdet Klimaschutzziele: Der Handlungsbedarf Ist Hoch." DIW Wochenbericht 26/2014. Berlín: DIW Berlin — Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e. V.

ofgem. 2015. "Retail Energy Markets in 2015." Londres, Reino Unido: Oficina de Mercados de Gas y Electricidad (ofgem). https://www.ofgem.gov.uk/sites/default/files/docs/2015/09/retail_energy_markets_in_2015_report_0.pdf.

ONU. 2015a. "Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development." Draft resolution referred to the United Nations summit for the adoption of the post - 2015 development agenda by the General Assembly at its sixty - ninth session. Nueva York, EE.UU.: Naciones Unidas.

——·. 2015b. *Adoption of the Paris Agreement. Proposal by the President. Draft Decision -/CP.21. FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1*. Vol. Framework Convention on Climate Change.

Paltsev, Sergey V. 2001. "The Kyoto Protocol: Regional and Sectoral Contributions to the Carbon Leakage." *Energy Journal* 22 (4): 53–79.

Peng, Wuyuan. 2015. "The Evolution of China's Coal Institutions." En *The Global Coal Market: Supplying the Major Fuel for Emerging Economies*, editado por Mark C. Thurber y Richard K. Morse. Cambridge University Press.

People's Republic of China. 2015. "Enhanced Actions on Climate Change: China's Intended Nationally Determined Contributions." http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/China/1/China's%20INDC%20-%20on%2030%20June%202015.pdf.

Platts. 2015. "Dry Freight Wire." Volumen 2 / Edición 161. McGraw Hill Financial. https://www.platts.com/IM.Platts.Content/ProductsServices/Products/dry-freight-wire.pdf.

——·. 2018. "Methodology and Specifications Guide - Coal." New York, USA: S&P Global Platts. https://www.spglobal.com/platts/plattscontent/_assets/_files/en/our-methodology/methodology-specifications/coalmethodology.pdf.

Papa Francisco. 2015. "Laudato Si' - Sobre el cuidado de la casa común." Roma, Italia: La Santa Sede. http://w2.vatican.va/content/dam/francesco/pdf/encyclicals/documents/papa-francesco_20150524_enciclica-laudato-si_sp.pdf.

Power, Thomas Michael y Donovan S. Power. 2013. "The Impact of Powder River Basin Coal Exports on Global Greenhouse Gas Emissions." *San Francisco, CA: Energy Foundation*, 22.

Puerto Brisa. 2015. "Puerto Brisa." *Puertobrisa*. http://zfrancabrisa.wix.com/puertobrisa.

Reiner, David M. 2016. "Learning through a Portfolio of Carbon Capture and Storage Demonstration Projects." *Nature Energy* 1 (1): 15011. doi:10.1038/nenergy.2015.11.

Reitz, Felix, Clemens Gerbaulet, Claudia Kemfert, Casimir Lorenz, Pao-Yu Oei y Christian v. Hirschhausen. 2014. "Szenarien Einer Nachhaltigen Kraftwerksentwicklung in Deutschland." 90. Politikberatung Kompakt. Berlín, Alemania: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung.

Reitz, Felix, Clemens Gerbaulet, von Hirschhausen, Claudia Kemfert, Casimir Lorenz y Pao-Yu Oei. 2014. "Verminderte Kohleverstromung Könnte Zeitnah Einen Relevanten Beitrag Zum Deutschen Klimaschutzziel Leisten." Wochenbericht 47. Berlín: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung.

Reuters. 2013. "Glencore's Colombia Unit Opens 21 Million Tonne Coal Port," Mayo 29. http://www.reuters.com/article/colombia-coal-port-idUSL2N0EA0SW20130529.

——·. 2014. "UPDATE 2-China to Again Levy Coal Import Tariffs after Nearly a Decade," Octubre 9. http://www.reuters.com/article/2014/10/09/china-coal-idUSL3N0S41QP20141009.

——·. 2015a. "For U.S. Power Firms, EPA Ruling Barely a Bump on Road to Natgas," Junio 29. http://www.reuters.com/article/2015/06/29/us-usa-court-pollution-utilities-idUSKCN0P92UD20150629.

——·. 2015b. "UPDATE 1-China to Ban Imports of High Ash, High Sulphur Coal from 2015," Septiembre 15. http://www.reuters.com/article/2014/09/16/china-coal-imports-idUSL3N0RG49X20140916.

Reuters India. 2015. "Goyal: May Stop Thermal Coal Imports in 2-3 Years." Consultado 8 de Octubre. http://in.reuters.com/article/2014/11/12/india-coal-imports-idINKCN0IW0FJ20141112.

Richards, Julie-Anne, and Keely Boom. 2015. "Making a Killing." Carbon Levy Project, CJP Climate Justice, Heinrich Böll Stiftung. Australia: Climate Justice Programme. http://climatejustice.org.au/wp-content/uploads/2015/10/Making-A-Killing-FINAL-webversion.pdf.

Richter, Philipp M. 2015. "Trade and Climate Policies: The Role of Market Structure, Strategic Behaviour, and the Supply Side of Carbon." Berlín, Alemania: Technische Universität Berlin. https://opus4.kobv.de/opus4-tuberlin/files/6914/richter_philipp.pdf.

Richter, Philipp M., Roman Mendelevitch y Frank Jotzo. 2015. "Market Power Rents and Climate Change Mitigation: A Rationale for Coal Taxes?" DIW Berlin, Discussion Paper 1471 ID 2598402. Berlín, Alemania: German Institute

for Economic Research (DIW Berlin). http://www.diw.de/sixcms/detail.php?id=diw_01.c.502680.de.

Ritschel, Wolfgang, and Hans-Wilhelm Schiffer. 2007. *World Market for Hard Coal*. RWE Power.

Roa, Tatiana. 2013. "De la fábrica al territorio. Dimensiones sociales y ambientales en las resistencias de los trabajadores colombianos. En: Lang, Miriam et Al. (Eds.): Alternativas al capitalismo / colonialismo del siglo XXI." Quito: Ediciones Abya Yala, Fundación Rosa Luxemburg.

Roa, Tatiana, Catalina Toro Pérez, Julio Fierro Morales, and Sergio Coronado Delgado. 2012. "Minería, territorio y conflicto en Colombia." Bogotá: Universidad Nacional de Colombia Facultad de Derecho, Ciencias Políticas y Sociales.

Román, Mikael. 2014. "Energy Policy in Brazil: Perspectives for the Medium and Long Term." Östersund, Suecia: Swedish Agency For Growth Policy Analysis.

Romero Epiayú, Jazmín, and Dana Barón Romero. 2013. "Impacto de la explotación minera en las mujeres rurales: Afectaciones al derecho a la tierra y el territorio en el sur de La Guajira, Colombia." Bogotá: Fuerza de Mujeres Wayuu, CINEP/PPP.

Rudd, Amber. 2015. "Amber Rudd's Speech on a New Direction for UK Energy Policy - Speeches - GOV.UK." *Gov.uk*. Noviembre 18. https://www.gov.uk/government/speeches/amber-rudds-speech-on-a-new-direction-for-uk-energy-policy.

Rui, Huaichuan, Richard K. Morse y Gang He. 2015. "Developing Large Coal-Power Bases in China." En *The Global Coal Market: Supplying the Major Fuel for Emerging Economies*, editado por Mark C. Thurber y Richard K. Morse. Cambridge University Press.

Şahin, Ümit, Ahmet Atilasici, Sevil Acar, Pinar Gedikkaya Bal, Ali Osman Karababa y Levent Kurnaz. 2016. "Coal Report - Turkey›s Coal Policies Related to Climate Change, Economy and Health." Istanbul, Turquía: Istanbul Policy Center - Sabanci University - Stiftung Mercator Initiative.

Schücking, Heffa. 2013. "Banking on Coal." Alemania: urgewald / BankTrack / CEE Bankwatch Network / Polska Zielona Sieć.

SER. 2013. "Energy Agreement for Sustainable Growth." Ámsterdam, Países Bajos: Consejo Económico y Social de los Países Bajos (SER). https://www.ser.nl/~/media/files/internet/talen/engels/2013/energy-agreement-sustainable-growth-summary.ashx.

Shearer, Christine, Nicole Ghio, Lauri Myllyvirta, Aiqun Yu y Ted Nace. 2016. "Boom and Bust 2016 - Tracking the Global Coal Plant Pipeline." Coalswarm / Sierra Club / Greenpeace.

Sinn, Hans-Werner. 2008. "Public Policies against Global Warming: A Supply Side Approach." *International Tax and Public Finance* 15 (4): 360–94. doi:10.1007/s10797-008-9082-z.

——. 2015. "Introductory Comment–The Green Paradox: A Supply-Side View of the Climate Problem." *Review of Environmental Economics and Policy* 9 (2): 239–45. doi:10.1093/reep/rev011.

Slater, Huw. 2016. "Insights: China's Coal Power Stranded Assets Challenge." China Carbon Forum.

Smil, Vaclav. 2000. "ENERGY IN THE TWENTIETH CENTURY: Resources, Conversions, Costs, Uses, and Consequences." *Annual Review of Energy and the Environment* 25 (1): 21–51. doi:10.1146/annurev.energy.25.1.21.

Smith, N., P. Turner y G. Williams. 2010. "UK Data and Analysis for Shale Gas Prospectivity." En *Petroleum Geology: From Mature Basins to New Frontiers—Proceedings of the 7th Petroleum Geology Conference*, 1087–98. Sociedad Geológica de Londres. http://pgc.lyellcollection.org/lookup/doi/10.1144/0071087.

SOMO. 2013. "The Black Box - Obscurity and Transparency in the Dutch Coal Supply Chain". Amsterdam, Netherlands: SOMO.

SOMO. 2014. "Colombian Coal in Europe - Imports by Enel as a Case Study". Amsterdam, The Netherlands: SOMO.

Speight, James G. 2012. *The Chemistry and Technology of Coal, Third Edition*. CRC Press.

SRU. 2013. "Den Strommarkt Der Zukunft Gestalten." Eckpunktepapier. Berlín, Alemania: Sachverständigenrat für Umweltfragen.

Stavins, Robert N. 2003. "Chapter 9 - Experience with Market-Based Environmental Policy Instruments." En *Handbook of Environmental Economics*, editado por Karl-Göran Mäler y Jeffrey R. Vincent, 1:355–435. Environmental Degradation and Institutional Responses. Elsevier. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574009903010143.

Steckel, Jan Christoph, Ottmar Edenhofer y Michael Jakob. 2015. "Drivers for the Renaissance of Coal." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112 (29): E3775–81. doi:10.1073/pnas.1422722112.

Stiglitz, Joseph E. 2015. "Overcoming the Copenhagen Failure with Flexible Commitments." *Economics of Energy & Environmental Policy* 4 (2). doi:10.5547/2160-5890.4.2.jsti.

Sussams, L. y A. Grant. 2015. "The US Coal Crash – Evidence for Structural Change." Carbon Tracker Initiative. http://www.carbontracker.org/report/the-us-coal-crash/.

Tewalt, Susan J., Harvey E. Belkin, John R. SanFilipo, Matthew D. Merrill, Curtis A. Palmer, Peter D. Warwick, Alexander W. Karlsen, Robert B. Finkelman y Andy J. Park. 2010. "Chemical Analyses in the World Coal Quality Inventory, Version 1." 2010–1196. U.S. Geological Survey Open-File Report. U.S. Geological Survey. http://pubs.usgs.gov/of/2010/1196/index.html.

The State Council of the People's Republic of China. 2016. "Coal Capacity Guideline Issued." *The State Council of the People's Republic of China*. Febrero 5. http://english.gov.cn/policies/latest_releases/2016/02/05/content_281475284701738.htm.

Thurber, Mark C. y Richard K. Morse. 2015. *The Global Coal Market: Supplying the Major Fuel for Emerging Economies*. Cambridge University Press.

UPME. 2014. "Indicadores de la minería en colombia." Versión preliminar. Bogotá, Colombia: Unidad de Planeación Minero Energética Subdirección de Planeación Minera.

——. 2016. "Producción de carbón por departamentos." http://www.upme.gov.co/generadorconsultas/Consulta_Series.aspx?idModulo=4&tipoSerie=121&grupo=371.

"U.S.-China Joint Presidential Statement on Climate Change." 2015. *Whitehouse.gov*. Consultado 28 de Septiembre. https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2015/09/25/us-china-joint-presidential-statement-climate-change.

USGS. 2006. "World Coal Quality Inventory: Colombia." World Coal Inventory. Virginia, EE.UU.: U.S. Geological Survey.

——. 2015. "2013 Minerals Yearbook: Colombia." Virginia, EE.UU.: U.S. Geological Survey.

Vasconcelos, Mauricio. 2015. "BRAZIL Market Overview: COAL." Belo Horizonte, Brasil: U.S. Commercial Service.

VDKI. 2015. "Jahresbericht 2015. Fakten Und Trends 2014/2015." Hamburgo, Alemania: Verein der Deutschen Kohleimporteure e.V.

Ventura, Altino. 2014. "Plano Nacional de Energia Definirá Políticas Energéticas Para O País." Noviembre. http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2014/12/plano-nacional-de-energia-define-politicas-energeticas-para-o-pais.

Volckhausen, Taran. 2014. "China Still Working out Contract for Coal Train to Colombia's Pacific Coast: Ambassador." Julio 1. http://colombiareports.com/chinese-companies-still-working-contract-coal-train-colombias-pacific-coast/.

Wang, Chengjin, and César Ducruet. 2014. "Transport Corridors and Regional Balance in China: The Case of Coal Trade and Logistics." *Journal of Transport Geography*, Changing Landscapes of Transport and Logistics in China, 40 (Octubre): 3–16. doi:10.1016/j.jtrangeo.2014.08.009.

Weitzman, Martin L. 2015. "Internalizing the Climate Externality: Can a Uniform Price Commitment Help?" *Economics of Energy & Environmental Policy* 4 (2). doi:10.5547/2160-5890.4.2.mwei.

Western Interstate Energy Board. 2015. "Coal Ports." Consultado 8 de Octubre. http://westernenergyboard.org/topics/spotlight/coal-ports/.

Wong, Lindee, David de Jager y Pieter van Breevoort. 2016. "The Incompatibility of High-Efficient Coal Technology with 2°C Scenarios." Utrecht, Países Bajos: Ecofys. http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/the_incompatibility_of_high_efficient_coal_technology_with_2c_scenarios_report.pdf.

World Coal. 2014. "Startup of Dutch Coal-Fired Power Plant Delayed." Octubre 12. http://www.worldcoal.com/power/10122014/Startup-of-Dutch-coal-fired-power-plant-delayed-1662/.

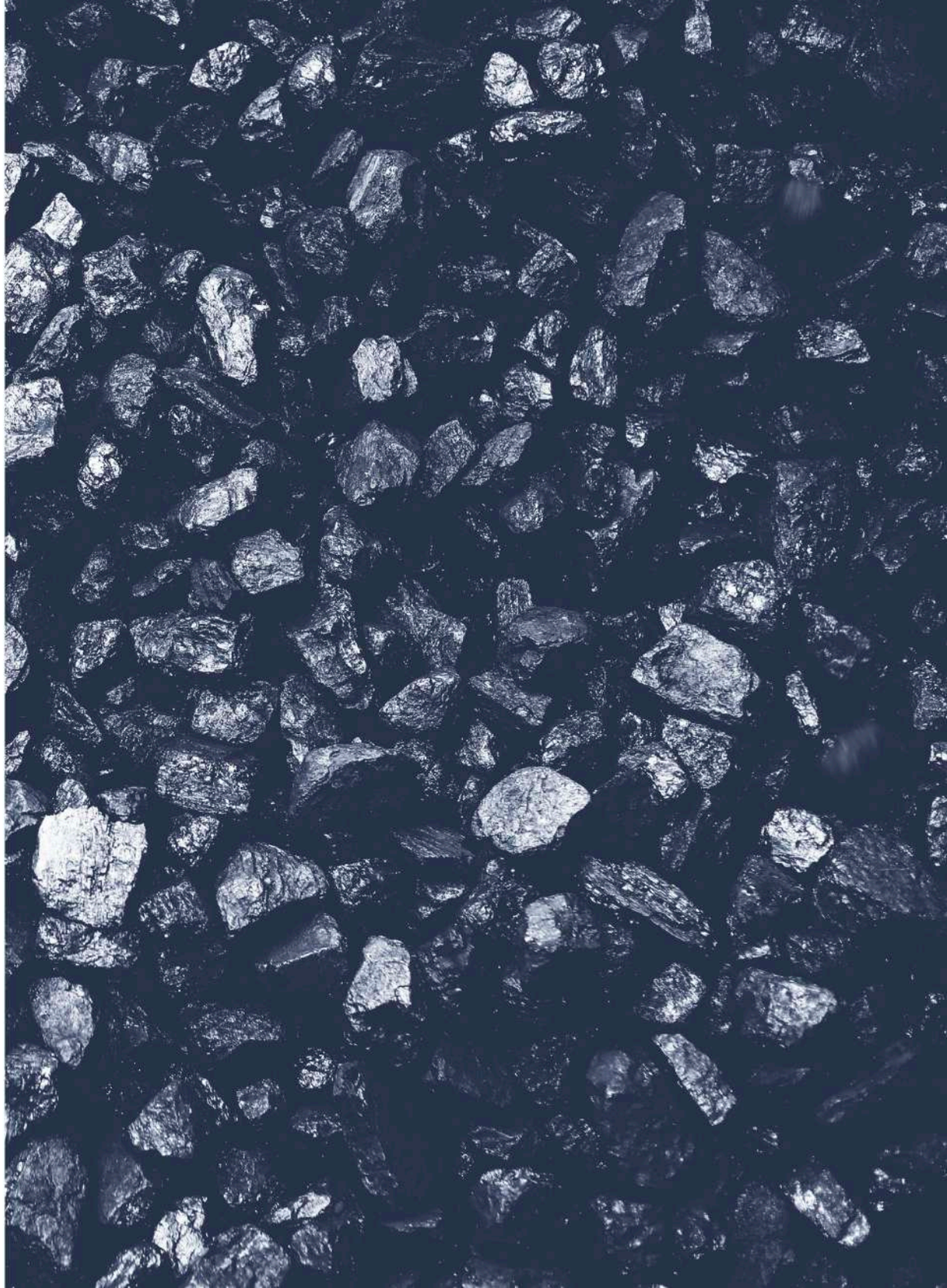
World Energy Council. 2013. "World Energy Resources: 2013 Survey." Londres: World Energy Council.

——·. 2014. "The Paris Declaration - Opportunity for Bottom-Up Action in Favour of the Low Carbon Economy." París, Francia: Regions of Climate Action.

Wuppertal Institute. 2012. "CCS Global - Prospects of Carbon Capture and Storage Technologies (CCS) in Emerging Economies." Final Report to the German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU). Wuppertal: Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy.

Yanagisawa, Akira, R. Ikarii, S. Iwata, R. Eto, K. Tomokawa, E.S. Lim, M. Tsunoda, C. Onda, Y. Shibata y K. Ito. 2015. "Economic and Energy Outlook of Japan through FY2016." The 422nd Forum on Research Work. Japón: Instituto de Economía Energética, Japón (IEEJ).

Yeldan, Erinç y Ebru Voyvoda. 2015. "Low Carbon Development Pathways and Priorities for Turkey." Istanbul, Turquía: WWF-Turkey / Istanbul Policy Center - Sabanci University - Stiftung Mercator Initiative.

Yeo, Sophie. 2016. "Analysis: Decline in China's Coal Consumption Accelerates." *Carbon Brief*. Febrero 29. http://www.carbonbrief.org/analysis-decline-in-chinas-coal-consumption-accelerates.

Ziehm, Cornelia, Claudia Kemfert, Pao-Yu Oei, Felix Reitz y Christian von v. Hirschhausen. 2014. "Entwurf Und Erläuterung Für Ein Gesetz Zur Festsetzung Nationaler CO2-Emissionsstandards Für Fossile Kraftwerke in Deutschland." 82. Politikberatung Kompakt. Berlín, Alemania: DIW Berlin.