

# Implicaciones del Acuerdo de París sobre activos abandonados en América Latina y el Caribe

Matthew Bistend  
Gokul Iyer  
James Edmonds  
Adrien Vogt-Schilb  
Ricardo Arguello  
Angela Cadena  
Ricardo Delgado  
Felipe Feijoo  
André F. P. Lucena  
Haewon McJeon  
Fernando Miralles-Wilhelm  
Anjali Sharma

División de Cambio  
Climático

DOCUMENTO PARA  
DISCUSIÓN N°  
IDB-DP-00699

Diciembre 2019

# Implicaciones del Acuerdo de París sobre activos abandonados en América Latina y el Caribe

Matthew Bistend  
Gokul Iyer  
James Edmonds  
Adrien Vogt-Schilb  
Ricardo Arguello  
Angela Cadena  
Ricardo Delgado  
Felipe Feijoo  
André F. P. Lucena  
Haewon McJeon  
Fernando Miralles-Wilhelm  
Anjali Sharma

<http://www.iadb.org>

Copyright © [2019] Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



# Implicaciones del Acuerdo de París sobre activos abandonados en América Latina y el Caribe

*Matthew Binsted<sup>1\*</sup>, Gokul Iyer<sup>1</sup>, James Edmonds<sup>1</sup>, Adrien Vogt-Schilb<sup>2</sup>, Ricardo Arguello<sup>3</sup>, Angela Cadena<sup>4</sup>, Ricardo Delgado<sup>4</sup>, Felipe Feijoo<sup>5</sup>, André F. P. Lucena<sup>6</sup>, Haewon McJeon<sup>1</sup>, Fernando Miralles-Wilhelm<sup>7</sup>, Anjali Sharma<sup>7</sup>*

<sup>1</sup> *Joint Global Change Research Institute (University of Maryland y Pacific Northwest National Laboratory).*

<sup>2</sup> *Banco Interamericano de Desarrollo, Washington D.C., EE.UU.*

<sup>3</sup> *Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia.*

<sup>4</sup> *Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.*

<sup>5</sup> *Facultad de Ingeniería Industrial, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile.*

<sup>6</sup> *Programa de Planificación Energética, Escuela de Graduados de Ingeniería, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.*

<sup>7</sup> *University of Maryland, EE.UU.*

\* Corresponding author. E-mail: [matthew.binsted@pnnl.gov](mailto:matthew.binsted@pnnl.gov)

## Resumen

Lograr los objetivos a corto plazo del Acuerdo de París (contribuciones determinadas a nivel nacional, NDCs, por sus siglas en inglés), y sus objetivos a largo plazo podría llevar al retiro prematuro, o abandono antes del final de su vida útil, de activos intensivos en carbono. En este estudio, se utilizó un modelo de evaluación integrado para cuantificar las implicaciones del Acuerdo de París sobre los activos abandonados en América Latina y el Caribe (ALC), una región en desarrollo que tiene el sector energético menos carbono intensivo del mundo. Encontramos que el cumplimiento de los objetivos de París genera un abandono de entre \$37 - 90 millardos de dólares y una inversión de \$1,9 - 2,6 billones de dólares en el sector eléctrico (2021-2050) en una variedad de escenarios futuros. Actualizar las NDCs podría reducir los costos de abandono de activos de un 27 a 40%. Además, si bien decisiones políticas podrían proteger las centrales eléctricas de su retirada prematura, también aumentarían el costo de reducir las emisiones e impactarían negativamente a la sociedad. Este análisis demuestra que los objetivos climáticos son relevantes para las decisiones de inversión incluso en países en desarrollo con bajas emisiones.

## Introducción

El Acuerdo de París utiliza las NDCs (las contribuciones determinadas a nivel nacional, por sus siglas en inglés) como base a corto plazo para lograr el objetivo a largo plazo de limitar el calentamiento global a "muy por debajo de 2°C", o incluso 1,5°C, por encima de los niveles preindustriales [1]. Los objetivos de las NDCs se definen inicialmente para los años 2025 o 2030 [2] y varían mucho entre países, reflejando desafíos y oportunidades de mitigación diferentes.

Los objetivos de temperatura de París requieren alcanzar emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) globales netas cero antes de fin de siglo. El logro de estos objetivos requeriría políticas para cambiar los métodos actuales de producción de energía de fuentes intensivas en carbono a fuentes bajas y no emisoras de carbono. Tales cambios a su vez podrían resultar en la devaluación o retiro de los activos intensivos en carbono antes del final de su vida útil esperada, lo que se conoce como "abandono" de los activos. La cuestión de los activos abandonados es importante porque podría provocar inestabilidad en el mercado financiero, lo que a su vez podría crear inestabilidad macroeconómica. Los activos abandonados también podrían crear inestabilidades políticas debido a una rápida pérdida de riqueza para los propietarios de los

activos de capital afectados, lo que podría dar lugar a acciones de cabildeo y búsqueda de rentas (Nota suplementaria 1).

Los activos abandonados son un asunto clave para los países de América Latina y el Caribe (ALC), a pesar de que la región es responsable de menos del 10% de las emisiones globales de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) [3] generando más de la mitad de electricidad a partir de fuentes renovables [4,5]. Por ejemplo, la región ocupa el segundo lugar (sólo detrás del Medio Oriente) en términos de reservas de petróleo y gas *inquemables* – es decir, reservas que se quedarán sin explotar si la demanda internacional de combustibles fósiles decrece de maneja coherente con el cumplimiento de las metas del acuerdo de París [6]. Esto tendrá impactos fiscales importantes en los países donde la producción de combustibles fósiles es un componente clave de la economía [35]. Sin embargo, los riesgos asociados con los activos abandonados en ALC se han pasado por alto en gran medida, ya que pocos estudios han intentado evaluar sus implicaciones para la región [7]. Así mismo, las instituciones financieras en ALC no son tan sólidas como en otras regiones [8,9], lo que puede obstaculizar la capacidad de los países para lidiar con la inestabilidad creada por los activos abandonados.

A pesar de su creciente importancia como tema, existe poco trabajo analítico que identifique específicamente los activos abandonados en contextos regionales [7-10]. Si bien los estudios globales son útiles para dar una idea de la magnitud de este desafío, las decisiones regulatorias y de inversión se toman predominantemente a nivel nacional y subnacional. Por lo tanto, realizar un análisis con mayor resolución geográfica es importante para que los resultados sean relevantes en la toma de decisiones.

Este estudio brinda un análisis a nivel regional, cuantificando la relación entre los activos abandonados y las estrategias de descarbonización a largo plazo para ALC. Específicamente, se aborda la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las implicaciones en términos de activos abandonados en el sector eléctrico y las necesidades de inversión para que los países de ALC den cumplimiento de sus compromisos para lograr los objetivos del acuerdo de París? Además, para que nuestros hallazgos sean más significativos para los responsables de la toma de decisiones, cuantificamos los activos abandonados en términos monetarios (Métodos). También proporcionamos un análisis de sensibilidad en torno a varios supuestos de modelado, incluyendo la voluntad política de evitar activos abandonados, la disponibilidad de tecnología y el papel del uso de la tierra en la mitigación, que fueron identificados como incertidumbres clave por los responsables de la toma de decisiones en ALC.

## 1 Escenarios

Se emplea el Modelo de Evaluación de Cambio Global (GCAM, por sus siglas en inglés) para analizar la composición y la magnitud de los activos abandonados en el sector eléctrico de ALC (Métodos). GCAM es un modelo de evaluación integrado que captura interacciones importantes entre los sistemas económicos, energéticos, agrícolas y de uso de la tierra en 32 regiones geopolíticas [11-14]. ALC se divide en siete regiones dentro del modelo, cuatro de las cuales (Argentina, Brasil, Colombia y México) representan países individuales (Tabla suplementaria 1). El modelo rastrea la generación de electricidad por antigüedad de la tecnología (Nota suplementaria 2), lo que facilita la cuantificación de los activos abandonados en términos monetarios.

Exploramos cuatro escenarios globales de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) para evaluar las implicaciones del Acuerdo de París sobre los activos abandonados en ALC (Tabla 1). Dichos escenarios varían en términos de rigurosidad de mitigación a corto y largo plazo. Para representar los objetivos a largo plazo del Acuerdo de París, restringimos los presupuestos acumulativos de emisiones de CO<sub>2</sub> durante el siglo (2011-2100) a niveles que sean consistentes con la limitación del aumento medio de la temperatura global de la superficie a 2°C (1000 GtCO<sub>2</sub>) o 1,5°C (400 GtCO<sub>2</sub>) [15]. En los escenarios *Directo-a-2°C* y *Directo-a-1,5°C*, se supone que los países comenzarán a realizar esfuerzos de mitigación de menor costo (simulado como lo implementación de un precio global del carbono) para lograr estos presupuestos a partir

de 2021. En los escenarios *NDCs-a-2°C* y *NDCs-a-1,5°C*, los países mitigan según sus NDCs hasta 2030, después de lo cual se emplea la mitigación global de menor costo. Las NDCs individuales se agregan al nivel de la región GCAM de manera consistente con estudios previos [16] (Tabla suplementaria 2).

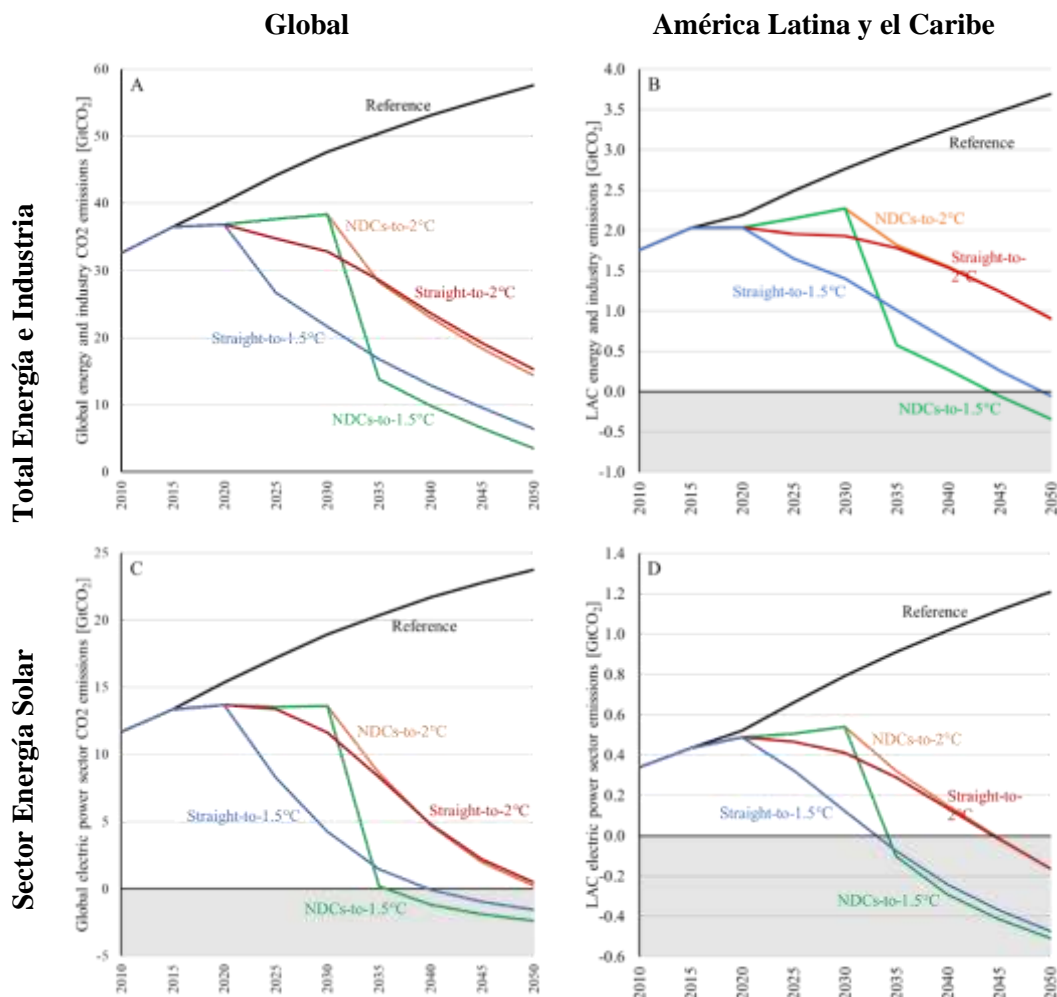
**Tabla 1: Diseño de Escenario**

Escenario	2016-2020	2021-2030	Más allá de 2030
NDCs-a-2°C	Copenhague	NDCs	Presupuesto Global acumulativo de emisiones CO <sub>2</sub> (2011-2100) de 1000 GtCO <sub>2</sub>
NDCs-a-1,5°C	Copenhague	NDCs	Presupuesto Global acumulativo de emisiones CO <sub>2</sub> (2011-2100) de 400 GtCO <sub>2</sub>
Directo-a-2°C	Copenhague	Presupuesto Global acumulativo de emisiones CO <sub>2</sub> (2011-2100) de 1000 GtCO <sub>2</sub>	
Directo-a-1,5°C	Copenhague	Presupuesto Global acumulativo de emisiones CO <sub>2</sub> (2011-2100) de 400 GtCO <sub>2</sub>	

## 2 Resultados

### 2.1 Trayectorias de emisiones de CO<sub>2</sub>

Las emisiones de CO<sub>2</sub> de la industria y la energía continúan aumentando hasta 2030 en los escenarios *NDCs-a-2°C* y *NDCs-a-1,5°C*, tanto a nivel mundial como en ALC (Figura 1). A nivel mundial, las emisiones en los escenarios de NDCs son un 17% y un 77% más altas que los escenarios *Directo-a-2°C* y *Directo-a-1,5°C* en 2030; en ALC, esta brecha de emisiones es del 18% y 62%, respectivamente (Nota suplementaria 3). De acuerdo con estudios previos, las NDCs producen colectivamente emisiones más altas que las trayectorias de mitigación de menor costo global [17-19]. Por lo tanto, los escenarios *Directos* brindan más flexibilidad para actuar antes en la descarbonización de la economía y minimizar los impactos financieros asociados [20]. Por otro lado, las emisiones de corto plazo más altas de los escenarios de NDCs implican reducciones mucho más pronunciadas después del 2030. La tendencia a corto plazo y la brecha de emisiones son similares en el sector eléctrico, que se descarboniza completamente para 2050 en cada escenario de mitigación (la Figura suplementaria 1 proporciona información sobre el sector eléctrico de ALC en el escenario de referencia).

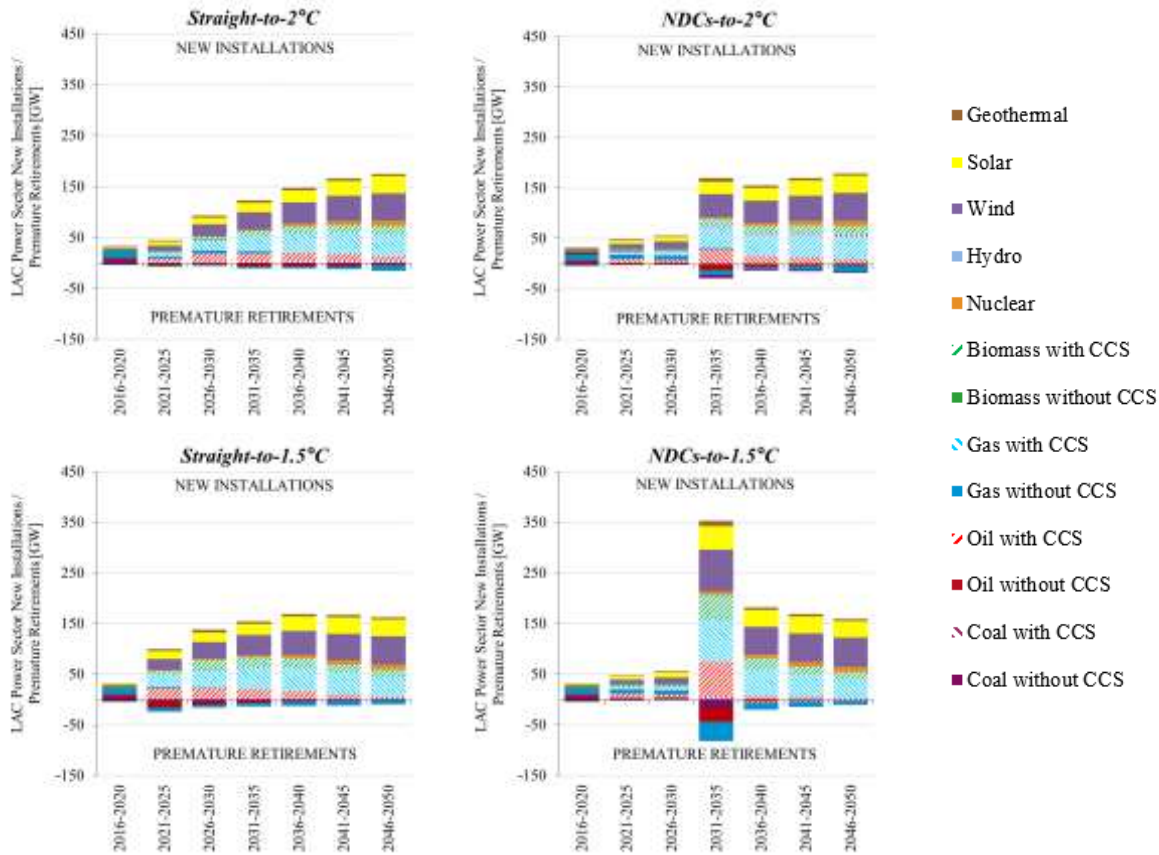


**Figura 1:** Emisiones de CO<sub>2</sub> en los sectores energía e industria mundial (A) y en América Latina y el Caribe (B) en todos los escenarios modelados. Emisiones de CO<sub>2</sub> del sector eléctrico mundial (C) y América Latina y el Caribe (D) en todos los escenarios modelados. Las emisiones negativas provienen de la bioenergía con captura y secuestro de carbono (BECCS, por sus siglas en inglés Bioenergía con CCS). Los escenarios en los que BECCS no está disponible se exploran en la Sección 4: Análisis de sensibilidad.

## 2.2 Activos abandonados y expansión de capacidad de generación eléctrica en ALC

Los cuatro escenarios de mitigación se caracterizan por una gran transformación del sistema energético para el año 2050 (Figura suplementaria 2), que incluye una mayor eficiencia y conservación de la energía, una transición de tecnologías de emisión de combustibles fósiles a tecnologías de baja emisión y sin emisión de carbono, y un cambio en el tipo de inversiones en todo el sistema energético. Aquí nos enfocamos en los activos abandonados e inversiones en el sector eléctrico, un sector importante en el contexto de la mitigación del cambio climático [21], como una aproximación conservadora de la escala y el valor de los activos abandonados en ALC. En todos los escenarios de mitigación explorados en este estudio, entre 60 GW (*Directo-a-2°C*) y 128 GW (*NDCs-a-1,5°C*) de plantas de generación con combustibles fósiles se retiran prematuramente antes del final de sus vidas útiles en el sector eléctrico de ALC desde 2021 hasta 2050 (Figura 2; Tabla suplementaria 3). Estas cantidades equivalen al 15-33% de la capacidad instalada total en ALC en 2015 (aproximadamente 393 GW) [22]. Dado que el escenario de *NDCs-a-1,5°C* requiere

las reducciones más rápidas en las emisiones de CO<sub>2</sub>, la magnitud de los activos abandonados en ese escenario también es mayor, lo que resulta en casi un 50% más de abandonos que el escenario de *Directo-a-1,5°C* y más del doble de la capacidad abandonada observada en el escenario *Directo-a-2°C*. La mayor parte de este abandono ocurre entre 2031 y 2035, cuando la energía de ALC y las emisiones industriales se reducen en casi un 75%. Más de 80 GW de capacidad se retiran prematuramente durante este período de cinco años.



**Figura 2 Nuevas instalaciones y retiros prematuros (valores de inversión negativos) por escenario, período y tecnología en el sector de energía de ALC. Las barras representan adiciones / retiros acumulativos durante un período modelo de cinco años. Consulte la Figura suplementaria 3 para obtener resultados a nivel de país.<sup>1</sup>**

Las centrales eléctricas de gas natural y de derivados del petróleo sin captura y secuestro de carbono (CCS, por sus siglas en inglés) representan la fracción más grande de capacidad retirada prematuramente en ALC. En nuestros escenarios, el gas natural sin CCS representa aproximadamente el 45% de la capacidad abandonada en el escenario *NDCs-a-2°C* y aproximadamente el 54% de la capacidad abandonada en el escenario *NDCs-a-1,5°C*, lo que hace cuestionar el papel del gas natural como un "combustible puente o de transición" [23]. Para satisfacer la creciente demanda de electricidad, se instalan entre 751 y 967 GW de nueva capacidad desde 2021 hasta 2050 (Tabla suplementaria 3). Estas adiciones de capacidad varían entre 1,9 a 2,5 veces la capacidad total de generación de electricidad en ALC en 2015[22-24].

<sup>1</sup> Leyenda: Geotérmica, Solar, Eólica, Hídrica, Nuclear, Biomasa con CCS, Biomasa sin CCS, Gas con CCS, Gas sin CCS, Petróleo con CCS, Petróleo sin CCS, Carbón con CCS, Carbón sin CCS

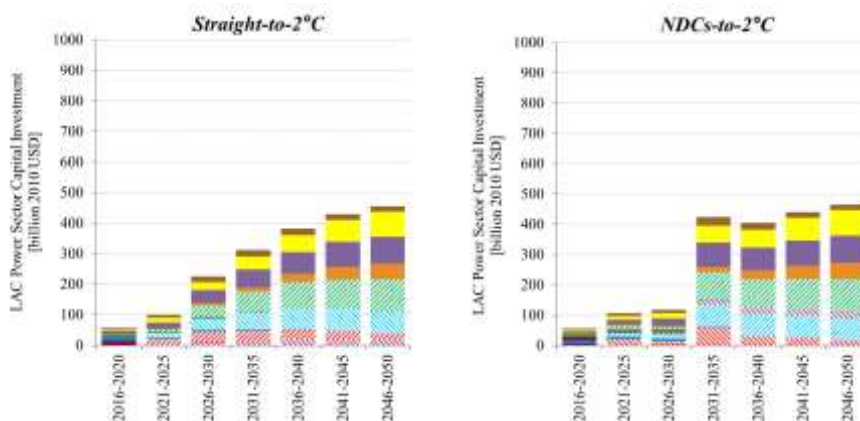


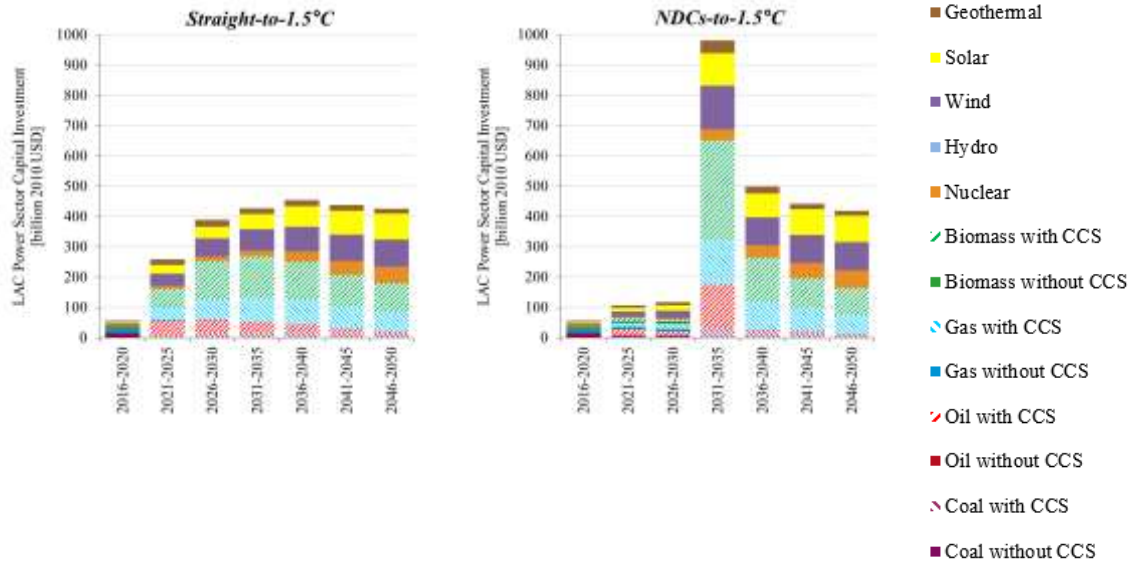
Como se anticipó, los escenarios con el presupuesto de emisiones acumulativas compatible con un aumento de temperatura de hasta 1,5°C requieren más adiciones de capacidad que los escenarios de 2°C. Esto se debe a que lograr el presupuesto más estricto en los escenarios de 1,5°C requiere que el sector eléctrico (1) descarbonice más rápido reemplazando las plantas intensivas en carbono con una nueva capacidad baja en carbono y (2) produzca más electricidad de modo que los sectores de uso final, al electrificarse, pueden reducir sus emisiones. Del mismo modo, los escenarios de NDCs requieren más capacidad instalada nueva que los escenarios *Directos*, aunque el momento de estas expansiones de capacidad se retrasa. Una mayor mitigación a corto plazo extiende los nuevos requisitos de instalación de manera más uniforme a lo largo del tiempo; las instalaciones de energía bajas en carbono en el corto plazo reducen las emisiones a corto plazo y reducen la tasa a la cual las emisiones deben reducirse después de 2030 (Figura 1). Lo anterior reduce la necesidad de mayores inversiones después de 2030 para "ponerse al día" con el presupuesto acumulativo de emisiones [25].

### 2.3 Capacidad abandonada y costos de inversión

Los costos de inversión para el escenario *Directo-a-2°C* son los más bajos (\$ 1,9 billones en ALC entre 2021 y 2050, mientras que los del escenario *NDCs-a-1,5°C* son los más altos (casi \$ 2,6 billones) (Figura 3; ver también Tabla suplementaria 4). Estos resultados son consistentes con las ideas de las Figuras 1 y 2 - mientras que las NDCs implican desafíos significativos para limitar el calentamiento a 2°C, implican aún más desafíos para limitar el calentamiento a 1,5°C [26]. En general, los requisitos para la inversión en el escenario *NDCs-a-1,5°C* representan alrededor del 0,8% del PIB proyectado (especificado de manera exógena) de ALC para 2021-2050, y alcanzan hasta el 2,1% del PIB para el período 2031-2035.

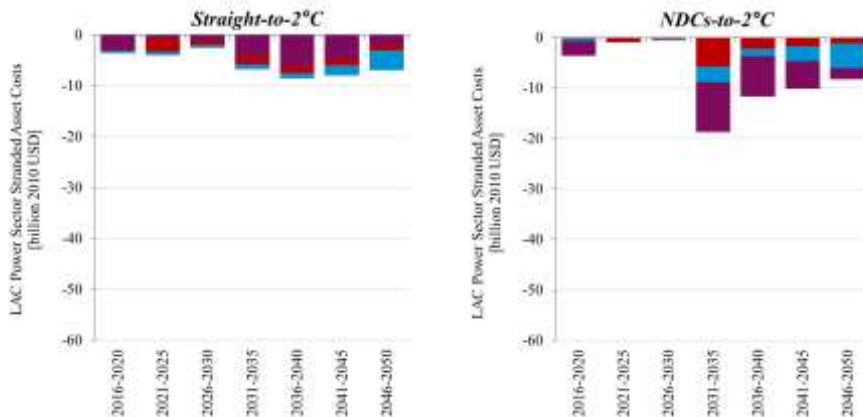
Del mismo modo, los costos de la capacidad abandonada (o "costos abandonados"; ver Métodos) son más altos en el escenario de *NDCs-a-1,5°C*, con costos acumulados de \$ 90 mil millones entre 2021 y 2050 (Figura 4). Estos costos son aproximadamente un 67% más altos que el escenario *Directo-a-1,5°C* y más del doble de los costos del escenario *Directo-a-2°C*. Por el contrario, la diferencia en los costos de abandono entre los escenarios *Directo-a-2°C* y *NDCs-a-2°C* es de aproximadamente el 37% (\$ 13 mil millones de dólares) en el transcurso de 30 años. Para los escenarios de 1,5°C el momento del abandono de los activos está impulsado por las grandes diferencias en las rutas de emisiones (Figura 1). Si bien el escenario *Directo-a-1,5°C* requiere más mitigación en el corto plazo, el escenario *NDCs-a-1,5°C* requiere una disminución rápida de las emisiones después de 2030. Esto a su vez da como resultado un abandono mucho más dramático de los activos en el escenario de *NDCs-a-1,5°C* en comparación con el escenario de *Directo-a-1,5°C*. En otras palabras, el valor de fortalecer la ambición a corto plazo es aún mayor para un objetivo de temperatura de 1,5°C.

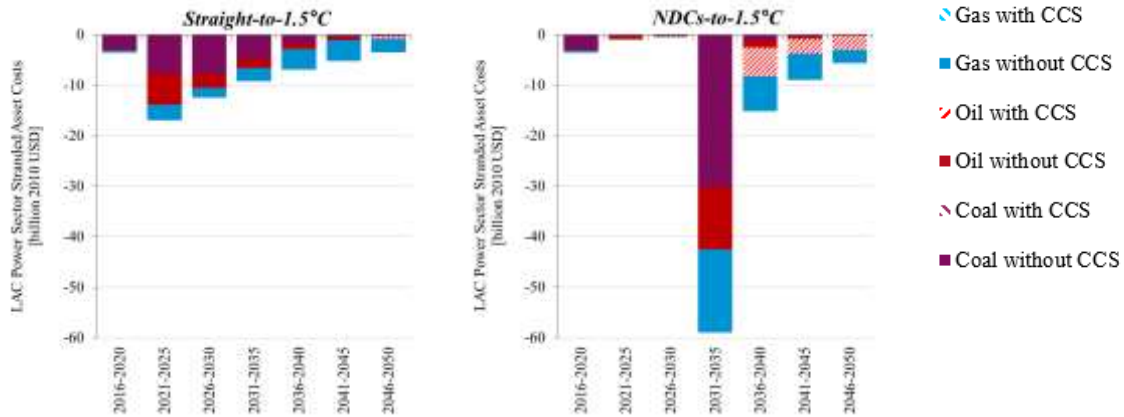




**Figura 3: Inversión de capital en el sector eléctrico de ALC por escenario, período y tecnología. Las barras representan los costos acumulativos durante un período modelo de cinco años.**

Un resultado interesante de este análisis es que el costo abandonado de las tecnologías de carbón es el mayor en todos los escenarios a pesar de que estas plantas constituyen un porcentaje relativamente pequeño de la capacidad total abandonada (ver Figura 5). Esto se debe a que (1) las plantas de generación a partir de carbón requieren más capital que las plantas de gas y petróleo, y (2) se supone que las plantas térmicas de carbón tienen una vida útil más larga (60 años) que las plantas de gas y de petróleo (45 años). Por lo anterior el valor económico de las centrales eléctricas de carbón se deprecia más lentamente que las plantas a gas y petróleo. Por otro lado, las plantas de petróleo con CCS contribuyen significativamente a los costos de abandonados en los escenarios de 1,5°C entre 2041 y 2050 porque estas plantas son intensivas en capital y también son relativamente nuevas. Por lo tanto, aunque se retira una pequeña cantidad de capacidad, las plantas tienen un valor económico comparablemente alto cuando sus operaciones cesan.



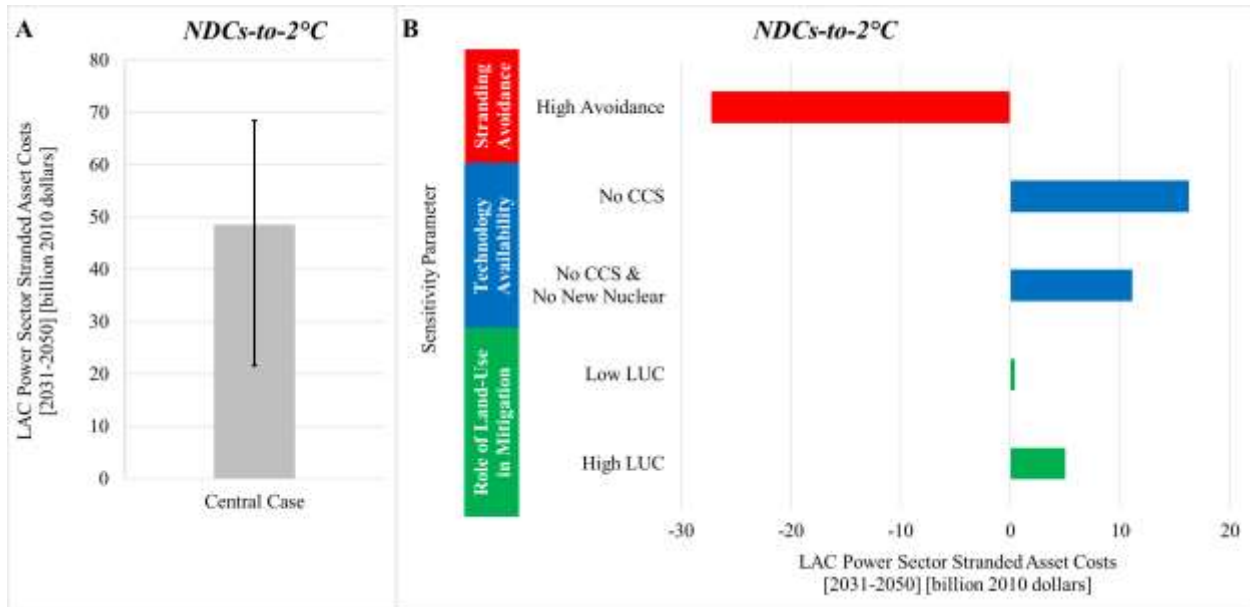


**Figura 4: Costos de activos abandonados del sector eléctrico de ALC por escenario, período y tecnología. Las barras representan costos acumulativos durante un período modelo de cinco años.<sup>2</sup>**

### 3 Análisis de sensibilidad

Para evaluar en qué medida nuestras estimaciones de inversión en el sector eléctrico y los costos de abandonos están influenciados por parámetros clave de modelado, realizamos un análisis de sensibilidad sobre supuestos: (1) la voluntad política de evitar activos abandonados, (2) disponibilidad de tecnología y (3) el papel del cambio de uso de la tierra (LUC, por sus siglas en inglés) en la mitigación (Figura 5, Nota suplementaria 5). Nuestros resultados sugieren que, dependiendo de cómo estos factores afecten el papel del sector eléctrico en la mitigación, podrían desplazar el esfuerzo de mitigación hacia otros sectores e impactar negativamente a los consumidores. Por ejemplo, notamos que si bien una mayor disposición política para evitar activos abandonados reduce los costos de abandonos en el escenario de *NDCs-a-2°C* en 27 mil millones de dólares desde 2031-2050 (56%, Figura 5), tal evitación cambia la mitigación de emisiones a otros sectores como la refinación (Figura suplementaria 6), lo que resulta en precios más altos del carbono (17% en 2050; Tabla suplementaria 7) y precios más altos de los alimentos (9% en 2050; Tabla suplementaria 8). Del mismo modo, si las tecnologías CCS no están disponibles, el esfuerzo de mitigación en ALC se traslada al sistema de tierras, lo que resulta en un aumento del precio de los alimentos del 44% en 2050 debido a la mayor competencia por la tierra para la forestación [27,28]. La mitigación que no se puede trasladar al sector de tierras se logra mediante la eficiencia energética y la conservación. Así, el consumo de energía primaria, el consumo final de energía y las millas recorridas en vehículos de pasajeros se reducen en un 23%, 11% y 7% respectivamente.

<sup>2</sup> Leyenda: Gas con CCS, Gas sin CCS, Petróleo con CCS, Petróleo sin CCS, Carbón con CCS, Carbón sin CCS



**Figura 5:** Sensibilidad de los costos de activos abandonados del sector eléctrico de ALC a los cambios en los parámetros clave (véase la Nota suplementaria 5).

**A:** La barra representa los costos acumulados de activos abandonados para el caso central de NDCs-a-2°C (2031-2050). La barra de error representa el rango de costos acumulativos de activos abandonados durante el mismo período en todos los casos de NDCs-a-2°C (n = 18).

**B:** diagrama de tornado de la sensibilidad al costo de los activos abandonados a los cambios en los parámetros clave. Las barras representan el cambio en los costos acumulados de activos abandonados (2031-2050) asociados con el cambio de los supuestos del caso central al supuesto de sensibilidad correspondiente, manteniendo todos los demás parámetros en sus valores de caso central. LUC bajo y alto se refieren a la mitigación baja y alta del cambio de uso de la tierra.

#### 4 Conclusiones

Nuestro análisis demuestra que los activos abandonados del sector eléctrico son un tema importante en América Latina y el Caribe (ALC). Los costos de los activos abandonados representan enormes pérdidas potenciales para un grupo relativamente limitado de partes interesadas y coinciden con los requisitos sustanciales de inversión de nueva capacidad. Nuestro estudio también muestra que actualizar las NDCs para fortalecer el esfuerzo de reducción de emisiones a corto plazo podría reducir los costos de activos abandonados en ALC. Este resultado refuerza los hallazgos de los análisis globales que muestran que las decisiones de inversión a corto plazo tendrán importantes implicaciones económicas a mediano y largo plazo [20], incluso en una región en desarrollo como ALC donde las emisiones del sector eléctrico son actualmente bajas.

En términos más generales, nuestro estudio resalta el valor de los análisis regionales utilizando herramientas integradas con detalles regionales, sectoriales y tecnológicos para informar la toma de decisiones sobre la descarbonización y explorar las implicaciones de las diferentes opciones de políticas. Además, nuestro análisis demuestra la necesidad de una mejor planificación de inversiones consistente con los objetivos climáticos globales. Nuestra metodología se puede adaptar a otros sectores y regiones; este estudio también abre varias vías interesantes para futuras investigaciones, como explorar hasta qué punto es posible evitar activos abandonados mientras se logran los objetivos del Acuerdo de París. Dichas evaluaciones pueden proporcionar información cuantitativa valiosa sobre las interacciones entre las decisiones de inversión y los objetivos climáticos, que los gobiernos pueden incorporar en sus procesos de planificación desde una etapa temprana.

## **Métodos**

### **Modelo de Evaluación del Cambio Global [The Global Change Assessment Model]**

Utilizamos el Modelo de Evaluación de Cambio Global (GCAM, por sus siglas en inglés) para analizar la composición y la magnitud de los activos abandonados en el sector eléctrico de ALC (Figura suplementaria 10). GCAM es un modelo de evaluación integrada global de código abierto que captura interacciones importantes entre los sistemas económicos, energéticos, agrícolas y de uso de la tierra a nivel mundial [11-14]. Los modelos dinámicos recursivos de cada sistema están vinculados a través de los mercados y se combinan con un modelo de clima de ciclo de carbono de atmósfera de forma reducida llamado Hector [29].

GCAM contiene 32 regiones geopolíticas y corre en etapas de cinco años desde 2010 (el último año base) hasta 2100. La región de ALC está representada por siete regiones en el modelo: Argentina, Brasil, Centroamérica y el Caribe, Colombia, México, Norte de Sudamérica y el Sur de Sudamérica (consulte la Tabla suplementaria 1 para obtener un desglose de los países contenidos en cada región de GCAM ALC). Las entradas clave que impulsan los resultados del modelo incluyen supuestos socioeconómicos (población, tasas de participación laboral y tasas de crecimiento de la productividad laboral para cada región geopolítica) y representaciones del mundo físico (recursos, procesos biofísicos como la productividad primaria neta), tecnologías y políticas. En cada período del modelo, este resuelve los precios de equilibrio y las cantidades de varios mercados de energía, agricultura y gases de efecto invernadero (GEI) a nivel global o regional. GCAM rastrea las emisiones de 24 GEI y contaminantes del aire de manera endógena en función de la actividad en los sistemas de energía, agricultura y uso de la tierra.

El sistema energético de GCAM incluye representaciones detalladas de recursos primarios agotables (carbón, petróleo, gas natural, uranio) y fuentes renovables (bioenergía, hidroenergía, energía solar y energía eólica) a niveles regionales, cuyos precios se calculan de manera endógena. El modelo también incluye representaciones de los procesos que transforman estos recursos en energéticos finales, que se utilizan para entregar bienes y servicios demandados por los usuarios finales en edificaciones, transporte y sectores industriales. Cada tecnología en el modelo tiene una vida útil definida y la inversión es rastreada por antigüedad. Una vez instaladas, las tecnologías funcionan hasta el final de su vida útil a menos que ya no sean económicamente viables para operar (el costo variable excede el precio de mercado). El despliegue de tecnología depende de los costos relativos y se implementa a través de una formulación probabilística implícita, utilizando una función logit, que refleja la heterogeneidad del comportamiento de la inversión y evita resultados poco realistas de “el ganador se lleva todo” [30-31].

El módulo de agricultura y uso de la tierra de GCAM determina las demandas y la producción de productos que se originan en la tierra, los precios de estos productos, la asignación de la tierra a usos competitivos y las reservas, flujos y emisiones de carbono y de otros gases asociados con el uso de la tierra. El sistema de energía y los sistemas de agricultura y uso de la tierra interactúan mediante la producción y uso de bioenergía y fertilizantes. Para el primero, el sistema energético determina la demanda de bioenergía y el sistema agrícola y de uso de la tierra determina el suministro. Para este segundo, el sistema de agricultura y uso de la tierra determina la demanda de fertilizantes y el sistema de energía determina la oferta.

### **Implementación de los acuerdos de Copenhague y las NDCs en GCAM**

Las NDCs a nivel de país se agregan al nivel de la región GCAM de manera consistente con estudios previos [16]. Nuestra representación de las NDCs supone una mitigación económica, implementada a través de un precio del carbono. Las medidas del mundo real diferirán de este enfoque. En cualquier caso, nuestros resultados deben ser ilustrativos y nuestra implementación idealizada es suficiente para mostrar los puntos clave planteados en este documento. Además, nuestra representación de compromisos nacionales de mitigación incluye sólo compromisos cuantificables de Copenhague que no han sido formalmente rescindidos y objetivos incondicionales de NDCs; se supone que se cumplen todos estos compromisos. Se

supone que los países que no tienen un compromiso cuantificable de Copenhague no enfrentarán restricciones de emisiones hasta 2020; Se supone que los países que no han presentado NDCs o no tienen compromisos incondicionales en sus NDCs no enfrentarán restricciones de emisiones hasta 2030 (escenarios de *NDCs-a-2°C* y *NDCs-a-1,5°C*). La Tabla suplementaria 2 proporciona más detalles sobre cómo se implementa el objetivo de NDCs de cada país de ALC en GCAM.

Se hacen varios otros supuestos clave para representar las NDCs en GCAM. Se supone que las trayectorias de emisiones entre 2020 y 2030 son lineales; si un objetivo sólo está disponible para 2025 o 2030, un objetivo para el período faltante se interpola linealmente. A nivel de país, los objetivos de NDCs se implementan según lo articulado por el país, con limitaciones en los gases individuales modelados de acuerdo con las NDCs (que puede incluir o no gases diferentes al CO<sub>2</sub>). Sin embargo, para todas las regiones, suponemos que las reducciones en las emisiones que no son de CO<sub>2</sub> se obtienen de una manera económicamente eficiente con la mitigación de menor costo realizada antes de las opciones más costosas y con los mismos costos marginales de reducción en todos los sectores económicos. Finalmente, se supone que las emisiones de CO<sub>2</sub> del cambio de uso de la tierra (LUC) enfrentan un precio de carbono que es el 1% del precio por tonelada de carbono en otros gases, a fin de evitar una forestación o conversión de uso de la tierra poco realista para la producción de bioenergía [33]. Dado que otros supuestos sobre el precio de las emisiones de cambio de uso del suelo afectarían los resultados numéricos, probamos la sensibilidad de nuestros resultados a este supuesto.

### **Estimación del valor monetario de los activos abandonados**

GCAM rastrea la generación de electricidad por antigüedad de la tecnología. La generación en el año inicial de operación de una instalación original representa la plena utilización. La generación para una instalación original nunca puede exceder la plena utilización. Si una tecnología no puede cubrir sus costos operativos, se retira antes del final de su vida útil. Empleamos un método logístico para retirar la capacidad de producción de energía cuando los costos variables se acercan al precio recibido por la energía. Una función de curva *s* define la fracción de plantas de energía que deben retirarse cuando el costo variable de operación excede el precio de mercado de la electricidad (Nota suplementaria 2). Estos retiros se registran como una reducción de la capacidad de generación de la instalación original.

Nuestra estimación del valor de la capacidad de producción retirada se basa en la inversión original para poner en línea la capacidad y su vida física esperada en el momento de la instalación, así como la fracción de la instalación original retirada. El costo para poner en línea la instalación original de capital es el costo de capital inicial (Tabla suplementaria 10). Se supone que el valor financiero de la capacidad instalada disminuye linealmente con el tiempo desde su costo de capital inicial. Es decir, el valor económico del capital en los años siguientes es el costo de capital original multiplicado por la fracción de la vida útil perdida del capital (Figura suplementaria 11). En otras palabras, el valor perdido de una central eléctrica retirada prematuramente se calcula como el costo de capital total del activo multiplicado por la fracción de la vida útil (física) esperada (Tabla suplementaria 11) perdida debido a la retirada prematura. Esto se puede expresar como:

$$SV = CC * ((EL - AL) / EL), \text{ donde:}$$

SV = valor abandonado [stranded value],

CC = costo capital [capital costs],

EL = expectativa de vida útil [expected lifetime], y

AL = vida útil [actual lifetime]

Nuestra metodología amplía aquella de Johnson, et al. [34], al aplicar la depreciación de activos.



## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo a la investigación otorgado por el Banco Interamericano de Desarrollo bajo los proyectos RG-T2728 y RG-K1447. Una versión más reciente de este documento se publicó en inglés en *Environmental Research Letters* [36].

Las opiniones expresadas en este documento son responsabilidad exclusiva de los autores. No reflejan necesariamente los puntos de vista del Banco Interamericano de Desarrollo o de los países que representa.

## Referencias

- [1] UNFCCC. The Paris Agreement, [http://unfccc.int/paris\\_agreement/items/9485.php](http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php). (2015).
- [2] UNFCCC. INDCs as communicated by Parties: <http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx>. (2015).
- [3] *CO<sub>2</sub> emissions* (kt), <[https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT?year\\_high\\_desc=false](https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT?year_high_desc=false)> (2019).
- [4] *Electricity production from hydroelectric sources (% of total)*, <[https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.HYRO.ZS?year\\_high\\_desc=true](https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.HYRO.ZS?year_high_desc=true)> (2019).
- [5] *Electricity production from renewable sources, excluding hydroelectric (% of total)*, <[https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.RNWX.ZS?name\\_desc=false](https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.RNWX.ZS?name_desc=false)> (2019).
- [6] McGlade, C. & Ekins, P. The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2 degrees C. *Nature* **517**, 187-190, doi:10.1038/nature14016 (2015).
- [7] IRENA. Stranded Assets and Renewables: How the energy transition affects the value of energy reserves, buildings and capital stock. (International Renewable Energy Agency (IRENA), 2017).
- [8] Abramskiehn, D. H., Karoline; Trabacchi, Chiara; Escalante, Donovan; Netto, Maria; Cabrera, Maria Margarita; Vasa, Alexander. Supporting National Development Banks to Drive Investment in the Nationally Determined Contributions of Brazil, Mexico, and Chile. (Inter-American Development Bank, 2017).
- [9] Feng, K. H., Klaus; Liu, Yu; Marchán, Estefanía; Vogt-Schilb, Adrien. Managing the Distributional Effects of Energy Taxes and Subsidy Removal in Latin America and the Caribbean. (Inter-American Development Bank, 2018).
- [10] Iyer, G. *et al.* Measuring Progress from Nationally Determined Contributions to Mid-Century Strategies. *Nature Climate Change* **7**, 871–874, doi:doi:10.1038/s41558-017-0005-9 (2017).
- [11] Edmonds, J. & Reilly, J. *Global energy: assessing the future*. (Oxford University Press, 1985).
- [12] Sands, R. & Leimbach, M. Modeling agriculture and land use in an integrated assessment framework *Climatic Change* **56**, 185-210 (2003).
- [13] Edmonds, J., Clarke, J., Dooley, J., Kim, S. & Smith, S. Stabilization of CO<sub>2</sub> in a B2 world: insights on the roles of carbon capture and disposal, hydrogen, and transportation technologies. *Energy Economics* **26**, 517-537 (2004).
- [14] Kim, S., Edmonds, J., Lurz, J., Smith, S. & Wise, M. The ObJECTS framework for integrated assessment: hybrid modeling of transportation. *Energy Journal* **27**, 63-91 (2006).
- [15] IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, 2014).
- [16] Fawcett, A. A. *et al.* Can Paris pledges avert severe climate change? *Science* **350**, 1168-1169, doi:10.1126/science.aad5761 (2015).
- [17] Rogelj, J. *et al.* Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 degrees C. *Nature* **534**, 631-639, doi:10.1038/nature18307 (2016).
- [18] UNFCCC. Synthesis report on the aggregate effect of the intended nationally determined contributions. (2016).

- [19] Luderer, G. *et al.* Residual fossil CO<sub>2</sub> emissions in 1.5–2 °C pathways. *Nature Climate Change* **8**, 626–633, doi:<https://doi.org/10.1038/s41558-018-0198-6> (2018).
- [20] Riahi, K. *et al.* Locked into Copenhagen pledges — Implications of short-term emission targets for the cost and feasibility of long-term climate goals. *Technological Forecasting and Social Change* **90, Part A**, 8-23, doi:10.1016/j.techfore.2013.09.016 (2015).
- [21] Clarke, L. *et al.* in *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds O. Edenhofer *et al.*) Ch. 6, (Cambridge University Press, 2014).
- [22] EIA. International Energy Statistics: Total Electricity Installed Capacity 2015. (2017).
- [23] McJeon, H. *et al.* Limited impact on decadal-scale climate change from increased use of natural gas. *Nature* **514**, 482-485, doi:10.1038/nature13837 (2014).
- [24] Balza, L. E., Ramón; Serebrisky, Tomás. Lights On?: Energy Needs in Latin America and the Caribbean to 2040. (Inter-American Development Bank, 2016).
- [25] Vogt-Schilb, A., Meunier, G. & Hallegatte, S. When starting with the most expensive option makes sense: Optimal timing, cost and sectoral allocation of abatement investment. *Journal of Environmental Economics and Management* **88** 210-233, doi:<https://doi.org/10.1016/j.jeem.2017.12.001> (2018).
- [26] Iyer, G. C. *et al.* The contribution of Paris to limit global warming to 2°C *Environmental Research Letters* **10**, 125002 (2015).
- [27] Matteo Muratori, Katherine Calvin, Marshall Wise, Page Kyle & Edmonds, J. Global economic consequences of deploying bioenergy with carbon capture and storage (BECCS). *Environmental Research Letters* **11**, doi:doi:10.1088/1748-9326/11/9/095004 (2016).
- [28] Calvin, K. *et al.* Trade-offs of different land and bioenergy policies on the path to achieving climate targets. *Climatic Change* **123**, 691-704, doi:10.1007/s10584-013-0897-y (2014).
- [29] Hartin, C. A., Patel, P., Schwarber, A., Link, R. P. & Bond-Lamberty, B. P. A simple object-oriented and open-source model for scientific and policy analyses of the global climate system – Hector v1.0. *Geoscientific Model Development* **8**, 939-955, doi:10.5194/gmd-8-939-2015 (2015).
- [30] Clarke, J. F. & Edmonds, J. Modelling energy technologies in a competitive market. *Energy Economics* **15**, 123-129 (1993).
- [31] McFadden, D. Econometric models for probabilistic choice among products. *The Journal of Business* **53**, S13-S29. (1980).
- [32] Train, K. *Qualitative choice analysis: theory, econometrics, and an application to automobile demand* (MIT Press, 1993).
- [33] Wise, M. *et al.* Implications of limiting CO<sub>2</sub> concentrations for land use and energy. *Science* **324**, 1183-1186 (2009).
- [34] Johnson, N. *et al.* Stranded on a low-carbon planet: Implications of climate policy for the phase-out of coal-based power plants. *Technological Forecasting and Social Change* **90**, 89-102, doi:10.1016/j.techfore.2014.02.028 (2015).
- [35] Solano-Rodriguez, B, S Pye, P-H Li, P Ekins, O Manzano, and A Vogt-Schilb. “Implications of Climate Targets on Oil Production and Fiscal Revenues in Latin America and the Caribbean.” Discussion Paper 701. Inter-American Development Bank, August 2019. <https://doi.org/10.18235/0001802>.
- [36] Binsted, Matthew, Gokul C. Iyer, James (Jae) Edmonds, Adrien Vogt-Schilb, Ricardo Arguello, Angela Cadena, Ricardo Delgado, *et al.* “Stranded Asset Implications of the Paris Agreement in Latin America and the Caribbean.” *Environmental Research Letters*, 2019. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab506d>.



# Material suplementario

## Notas Suplementarias

### Nota suplementaria 1: Activos abandonados

Los objetivos de temperatura de París requieren alcanzar emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) globales netas cero antes de fin de siglo [1]. El logro de estos objetivos requeriría políticas para cambiar los métodos actuales de producción de energía de fuentes intensivas en carbono a fuentes bajas y no emisoras de carbono. Tal cambio a su vez podría resultar en la devaluación o retiro de los activos intensivos en carbono antes del final de su vida útil esperada, lo que se conoce como "abandono" de los activos [2-5]. La cuestión de los activos abandonados es importante porque podría provocar inestabilidad en el mercado financiero, lo que a su vez podría crear inestabilidad macroeconómica [6]. Los activos abandonados también podrían crear inestabilidades políticas debido a una rápida pérdida de riqueza para los propietarios de los activos de capital afectados, lo que podría dar lugar a acciones de cabildeo y búsqueda de rentas [7].

En el contexto de la mitigación del cambio climático, los activos abandonados podrían manifestarse en diversas formas, como los recursos de combustibles fósiles que no se pueden quemar para mantener un objetivo de temperatura a largo plazo o el retiro prematuro de los activos de capital debido a las políticas climáticas [8]. Estudios cuantitativos previos de activos abandonados en el contexto de la mitigación del cambio climático se han centrado en cuantificar los combustibles fósiles que no podrían ser quemados [9-12], cuantificando las emisiones "comprometidas" en el futuro derivadas de las inversiones actuales [13-16], y en evaluar los activos de capital del sector eléctrico abandonados bajo escenarios globales de mitigación a largo plazo con diferentes niveles de rigurosidad de las políticas de mitigación a corto plazo [5,17,18]. Estos estudios han cuantificado en gran medida los resultados de activos abandonados en términos físicos, como GW de capacidad abandonada, y rara vez asignan valores monetarios a estos resultados. Este trabajo extiende estudios previos al cuantificar los activos abandonados en términos monetarios.

### Nota suplementaria 2: Representación de la rotación del capital en GCAM

Esta sección explica la representación de la rotación del capital en el sector de energía eléctrica de GCAM. GCAM rastrea el capital de las plantas de generación por tecnología y añada durante la vida útil de la tecnología. El modelo representa dos tipos de retiros de plantas de generación: naturales e inducidas por las utilidades. La generación de electricidad mediante una tecnología T y una añada V (V representa el año en que se realizó la inversión de capital) en el período de tiempo t (> V) en un estado o región s se calcula de la siguiente manera:

$$G_{T,V,s}(t) = G_{T,V,s}(t-1) * (1 - y_{natural,T,s}(t)) * (1 - y_{profit,T,s}(t))$$

Donde  $y_{natural,T,s}(t)$  es la fracción de retiros naturales y  $y_{profit,T,s}(t)$  es la fracción de retiros inducidos por las utilidades en el período de tiempo t para la tecnología T en el estado o región s.

- 1. Retiros naturales:** Cada tecnología de generación, T tiene una vida útil (Tabla A1). La fracción de retiros naturales in el periodo de tiempo t,  $y_{natural,T,s}(t)$  se calcula así:  $1 - y_{natural,T,s}(t) = \frac{1}{1+e^{b(t-x)}}$ ; donde b es un coeficiente de inclinación, t es el tiempo transcurrido y x es la "mitad de la vida" donde el 50% del capital ya se ha retirado. Un ejemplo de la función  $1 - y_{natural,T,s}(t)$  se muestra en la Figura suplementaria 12. Se asume que los parámetros b y x son los mismos para todas las tecnologías y uniformes en todo el mundo.
- 2. Retiros inducidos por las utilidades:** El modelo también incluye una representación de las centrales eléctricas que se retiran cuando el costo variable de operación excede el precio de mercado de la electricidad. La fracción de los retiros inducidas por las utilidades en el período de tiempo t,  $y_{profit,T,s}(t)$  se calcula así:  $y_{profit,T,s}(t) = 1 - \frac{(x+1)^b}{(x+1)^b + (mp_{T,s}(t)+1)^b}$ ; donde  $mp_{T,s}(t)$  es la tara

de rentabilidad,  $b$  es un coeficiente de inclinación y  $x$  es la utilidad marginal cuando el 50% de stock será retirado.  $mp_{T,s}(t)$  se calcula así:  $mp_{T,s}(t) = \frac{mr_s(t) - (vc_{T,s}(t))}{mr_s(t)}$ ; donde  $mr_s(t)$  es el ingreso marginal,  $vc_{T,s}(t)$  es el costo variable que incluye los costos de combustible, los costos variables de operación y mantenimiento y los impuestos al carbono. Un ejemplo de la función  $1 - y_{profit,T,s}(t)$  se muestra en la figura suplementaria 13. Se asume que los parámetros  $b$  y  $x$  son los mismos para todas las tecnologías y uniformes en todo el mundo.

### **Nota suplementaria 3: Trayectorias de emisión en Latinoamérica y el Caribe**

Llama la atención que América Latina y el Caribe alcanza emisiones netas negativas de energía y CO<sub>2</sub> de la industria para 2050 en ambos escenarios de 1,5°C, mientras que las emisiones globales en esos escenarios siguen siendo positivas hasta mediados de siglo. Este resultado es impulsado por el uso de un precio global uniforme del carbono para lograr el presupuesto acumulativo de emisiones. Bajo dicho régimen, los esfuerzos de reducción de emisiones se dirigen hacia el costo más bajo, independientemente de la fuente de emisiones.

El sistema de energía de ALC es actualmente menos intensivo en carbono que el promedio del resto del mundo, lo que le permite alcanzar emisiones netas cero más rápidamente que las regiones que tienen una infraestructura más intensiva en carbono ya bloqueada (suponiendo un precio global uniforme del carbono). Además, la participación de la bioenergía en el consumo de energía primaria en ALC ha sido históricamente mayor que en el resto del mundo. Dado que GCAM está calibrado para la producción de energía histórica, el modelo tiende a implementar más tecnologías de bioenergía, incluida la bioenergía con captura y secuestro de carbono (BECCS) en ALC en comparación con el resto del mundo. Las emisiones negativas de BECCS también contribuyen a que las emisiones de ALC caigan por debajo de cero antes que el resto del mundo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el despliegue de BECCS probablemente esté limitado por una serie de factores sociales, políticos y tecnológicos [19,20]; Los cambios en la disponibilidad de BECCS cambiarán la distribución regional de las cargas de mitigación.

### **Nota suplementaria 4: Bioenergía con captura y secuestro de carbono**

Las tecnologías de captura y secuestro de carbono (CCS) eliminan el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de los combustibles de hidrocarburos (incluidos los combustibles fósiles y los biocombustibles). Dependiendo de la tecnología, el CO<sub>2</sub> puede capturarse antes o después de la combustión de los combustibles. Las tecnologías CCS capturan la mayoría, pero no todas, las emisiones de CO<sub>2</sub> de un combustible, evitando que se liberen a la atmósfera. Este CO<sub>2</sub> capturado se almacena (secuestra) en depósitos geológicos subterráneos. Estas tecnologías aún no se han comercializado, y actualmente solo existen unas pocas instalaciones a escala industrial en todo el mundo. La mayoría de las plantas CCS actuales no almacenan CO<sub>2</sub> en depósitos geológicos, sino que lo reutilizan en otras aplicaciones industriales (recuperación mejorada de petróleo, por ejemplo). La bioenergía en combinación con CCS (a menudo abreviado como BECCS) es una "tecnología de emisiones negativas" en la que las plantas eliminan el CO<sub>2</sub> de la atmósfera durante la fotosíntesis, luego lo capturan y almacenan cuando esa materia vegetal (biomasa) se transforma en energía útil. El efecto neto de la energía de BECCS es, por lo tanto, la eliminación de CO<sub>2</sub>, o "emisiones negativas" [20].

### **Nota suplementaria 5: Análisis de sensibilidad**

Para evaluar en qué medida nuestras estimaciones de inversión en el sector eléctrico y los costos de abandono están influenciados por parámetros clave de modelado, realizamos un análisis de sensibilidad sobre algunos supuestos: (1) la voluntad política de evitar activos abandonados, (2) la disponibilidad tecnológica y (3) el papel del cambio de uso de la tierra (LUC) en la mitigación (tablas suplementarias 5-6). En total, todas las combinaciones de estos supuestos dan como resultado 36 casos de sensibilidad (18 casos cada uno para los escenarios NDC a 2°C y NDC a 1,5°C). Cabe señalar que más allá de 2030 la

asignación regional de emisiones dentro del presupuesto de emisiones se basa en la mitigación global de menor costo y, por lo tanto, puede variar según los escenarios.

Diferentes casos de sensibilidad dan como resultado diferentes inversiones y resultados de abandono de activos (Figuras suplementarias 4-5) y trayectorias de emisión de CO<sub>2</sub> (Figura suplementaria 5). Por ejemplo, una mayor disposición política para evitar activos abandonados reduce los costos de los activos abandonados del sector eléctrico en 27 mil millones de dólares durante el período de veinte años desde 2031-2050 (NDC a 2°C), manteniendo todos los demás parámetros en sus valores de hipótesis centrales (Figura 5). Sin embargo, el aumento de la evitación de abandono en el sector eléctrico desplaza la mitigación de emisiones a otros sectores, como la refinación de petróleo (Figura suplementaria 6) y da como resultado precios de carbono más altos (17% en 2050) para lograr los objetivos de mitigación de emisiones (Tabla suplementaria 7). Esta mayor mitigación del sector de refinación a su vez requiere un aumento significativo en los biocombustibles, intensificando la competencia por las tierras de cultivo y elevando los precios de los alimentos (en un 9% en 2050; ver Tabla suplementaria 8). Aunque llevar a cabo una evaluación detallada de las implicaciones de los aumentos de los precios de los alimentos para los consumidores está más allá del alcance de este estudio, nuestros resultados sugieren que evitar el abandono de activos en el sector energético podría tener implicaciones importantes para otras prioridades del desarrollo sostenible.

Además, nuestro análisis sugiere que los escenarios de NDC a 1,5°C no son factibles en casos con disponibilidad limitada de tecnología, en particular, sin tecnologías CCS (Figura suplementaria 4). Esto se debe a que, para cuando se implementen las NDC actuales en 2030, las emisiones globales acumuladas de CO<sub>2</sub> ya son 300 GtCO<sub>2</sub> más altas que el presupuesto de 1,5°C para todo el siglo (Figura suplementaria 5). Sin CCS y, por lo tanto, la eliminación de CO<sub>2</sub> de la bioenergía con captura y secuestro de carbono (BECCS; Nota suplementaria 4), el nivel de emisiones netas negativas necesarias en la segunda mitad del siglo para llevar las emisiones globales acumuladas de CO<sub>2</sub> por debajo del presupuesto de 1,5°C en 2100 simplemente no es factible en el paradigma de modelado GCAM. Si bien este hallazgo sobre la importancia de CCS para escenarios de 1,5°C es consistente con estudios recientes [27,28], también es importante tener en cuenta que todos los escenarios factibles de NDC a 1,5°C en este estudio implican exceder temporalmente el objetivo de temperatura de 1,5°C objetivo de temperatura, ya que el presupuesto de emisiones siempre se supera antes de que se cumpla hacia el final del siglo.

Si bien la disponibilidad limitada de tecnología hace que los escenarios de NDC a 1,5°C no sean factibles dentro de nuestro paradigma de modelado, se encontró que los escenarios de NDC a 2°C eran factibles, aunque a un costo mayor. Reducir la disponibilidad de tecnología de *Full Tech* a *Sin CCS* aumenta los costos de activos abandonados del sector eléctrico (2031-2050) en \$ 16 mil millones (Figura 5). A pesar de estos costos de abandono más altos, las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector eléctrico siguen siendo más altas en los casos de sensibilidad sin CCS en comparación con sus homólogos de *Full Tech*. Además, con CCS no disponible, la mitigación del sector eléctrico no se puede desplazar fácilmente al sector de refinación. En cambio, el esfuerzo de mitigación adicional en ALC se traslada del sistema de energía al sistema de tierras, lo que resulta en un aumento de los precios de los alimentos del 44% (en 2050) debido a una mayor competencia por la tierra para la forestación [29,30]. La mitigación que no se puede trasladar al sector tierras se logra mediante la eficiencia energética y la conservación, con el consumo de energía primaria, el consumo final de energía y las millas recorridas en vehículos de pasajeros reducidas en un 23%, 11% y 7% respectivamente en el caso *Sin CCS* en comparación con el Caso *Full Tech* en 2050 (figura suplementaria 7, tabla suplementaria 9).

Además, si bien los cambios en el papel del uso de la tierra en la mitigación tienden a tener pequeños impactos promedio en los costos abandonados del sector eléctrico en ALC (Figura 5), el rango de impactos potenciales es bastante grande (Figura suplementaria 8). Cambiar a un papel importante para LUC en la mitigación (*High LUC*) puede aumentar o disminuir los costos de abandono, dependiendo de los supuestos sobre la disponibilidad de tecnología. Con la disponibilidad de tecnología completa, el aumento del papel

de LUC en la mitigación da como resultado una menor producción de materias primas de bioenergía, lo que convierte a BECCS en una estrategia de mitigación menos económica (Figura suplementaria 9) y, por lo tanto, aumenta la tensión del sector eléctrico y los costos asociados. En contraste, con la disponibilidad de tecnología limitada, aumentar el papel de LUC en la mitigación reduce el papel del sistema de energía y da como resultado menores costos de abandono.

## Tablas suplementarias

### Tabla suplementaria 1

**Tabla suplementaria 1: Países de Latinoamérica y el Caribe en GCAM**

<b>Region GCAM</b>	<b>País</b>
Argentina	Argentina
Brazil	Brazil
Central America and Caribbean	Anguilla; Antigua & Barbuda; Aruba; Bahamas; Barbados; Belize; Bermuda; Cayman Islands; Costa Rica; Cuba; Dominica; Dominican Republic; El Salvador; Grenada; Guadeloupe; Guatemala; Haiti; Honduras; Jamaica; Martinique; Montserrat; Netherlands Antilles; Nicaragua; Panama; Saint Kitts and Nevis; Saint Lucia; Saint Vincent and the Grenadines; Trinidad and Tobago
Colombia	Colombia
Mexico	Mexico
Northern South America	French Guiana; Guyana; Suriname; Venezuela
Southern South America	Bolivia; Chile; Ecuador; Paraguay; Peru; Uruguay

## Tabla suplementaria 2

### Tabla suplementaria 2: LAC Compromisos NDC implementados en GCAM

GCAM Region	Country	Representation of Copenhagen Commitments	Representation of INDCs		Source for History/BAU emissions	Notes	Links
		2020	2025	2030			
Argentina	Argentina		Linear interpolation between 2020 BAU and 2030 emissions constraint	15% reduction in all GHG (including LUC) below BAU	BAU based on INDC submission		<a href="http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx">http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx</a>
Brazil	Brazil	37.5% (average of 36.1-38.9%) reduction in all GHG (including LUC) below BAU	37% reduction in all GHG (including LUC) below 2005	43% reduction in all GHG (including LUC) below 2005	Historical emissions and 2020 BAU based on INDC submission	The Copenhagen target is non-binding	<a href="http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx">http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx</a>
Central America and Caribbean	Grenada		30% reduction in all GHG (including LUC) below 2010		Historical emissions based on INDC submission		<a href="http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx">http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx</a>
	Trinidad and Tobago			30% reduction in CO2 from fossil fuels and industry below BAU	BAU based on INDC submission		<a href="http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx">http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx</a>
Colombia	Colombia		Linear interpolation between 2020 BAU and 2030 emissions constraint	20% reduction in all GHG (including LUC) below BAU	BAU based on INDC submission		<a href="http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Colombia/1/Colombia%20INDC%20Unofficial%20translation%20Eng.pdf">http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Colombia/1/Colombia%20INDC%20Unofficial%20translation%20Eng.pdf</a>
Mexico	Mexico	30% reduction in all GHG (including LUC) below BAU	Linear interpolation between 2020 and 2030 emissions constraints	22% reduction in all GHG (including LUC) below BAU	BAU based on INDC submission		<a href="http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx">http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx</a>
South America_Northern	Peru		Linear interpolation between 2020 BAU and 2030 emissions constraint	20% reduction in all GHG (including LUC) below BAU	BAU based on INDC submission		<a href="http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx">http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx</a>
	Uruguay			Reduction of 1.4 MtCO2 in all GHG (including LUC) below BAU	Emissions reductions from BAU based on INDC submission		
	Paraguay			10% reduction in all GHG (including LUC) below BAU	BAU based on INDC submission		
South America_Southern							

### Tabla suplementaria 3

**Tabla suplementaria 3A: Nuevas instalaciones y retiros prematuros del sector eléctrico de ALC por tecnología para el escenario directo a 2°C. Los números representan adiciones / retiros acumulativos, en GW, durante un período modelo de cinco años.**

<u>New Installations</u>										
Region	Scenario	Power Sector Technology	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050	Units
LAC	Straight-to-2°C	Oil w/o CCS	6,5	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	Straight-to-2°C	Oil w/ CCS	0,0	8,7	16,4	16,3	16,2	13,3	9,0	GW
LAC	Straight-to-2°C	Gas w/o CCS	12,4	3,5	6,1	3,5	0,7	0,0	0,0	GW
LAC	Straight-to-2°C	Gas w/ CCS	0,0	8,1	20,4	30,0	37,9	42,1	42,9	GW
LAC	Straight-to-2°C	Coal w/o CCS	3,6	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	Straight-to-2°C	Coal w/ CCS	0,0	0,4	1,6	2,8	3,9	4,4	4,5	GW
LAC	Straight-to-2°C	Biomass w/o CCS	1,6	0,8	1,2	0,3	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	Straight-to-2°C	Biomass w/ CCS	0,0	0,9	5,3	10,3	13,6	15,0	16,8	GW
LAC	Straight-to-2°C	Nuclear	0,4	0,7	1,8	2,7	5,5	8,2	10,2	GW
LAC	Straight-to-2°C	Hydro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	Straight-to-2°C	Wind	4,5	10,6	23,2	33,8	41,2	48,9	53,8	GW
LAC	Straight-to-2°C	Solar	2,9	8,4	12,7	18,7	23,8	29,8	33,7	GW
LAC	Straight-to-2°C	Geothermal	1,3	2,2	4,3	5,0	5,1	4,6	4,4	GW
LAC	Straight-to-2°C	TOTAL	33,3	44,6	93,3	123,4	147,8	166,3	175,3	GW

<u>Premature Retirements</u>										
Region	Scenario	Power Sector Technology	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050	Units
LAC	Straight-to-2°C	Oil w/o CCS	0,5	4,0	2,4	4,0	3,6	3,5	2,8	GW
LAC	Straight-to-2°C	Oil w/ CCS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	Straight-to-2°C	Gas w/o CCS	1,5	2,1	1,8	3,1	3,3	5,8	10,9	GW
LAC	Straight-to-2°C	Gas w/ CCS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	Straight-to-2°C	Coal w/o CCS	2,0	0,6	1,0	2,9	3,8	2,8	1,4	GW
LAC	Straight-to-2°C	Coal w/ CCS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	Straight-to-2°C	TOTAL	4,1	6,7	5,2	10,0	10,7	12,1	15,1	GW

**Tabla suplementaria 3B: Nuevas instalaciones y retiros prematuros del sector eléctrico de ALC por tecnología para el escenario de NDC a 2°C. Los números representan adiciones / retiros acumulativos, en GW, durante un período modelo de cinco años.**

<u>New Installations</u>										
Region	Scenario	Power Sector Technology	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050	Units
LAC	NDCs-to-2°C	Oil w/o CCS	6,5	1,4	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	NDCs-to-2°C	Oil w/ CCS	0,0	8,8	5,7	28,4	15,3	13,1	9,1	GW
LAC	NDCs-to-2°C	Gas w/o CCS	12,4	8,0	8,4	2,9	0,2	0,0	0,0	GW
LAC	NDCs-to-2°C	Gas w/ CCS	0,0	6,4	8,6	40,5	41,0	43,4	44,1	GW
LAC	NDCs-to-2°C	Coal w/o CCS	3,6	1,7	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	NDCs-to-2°C	Coal w/ CCS	0,0	0,4	0,5	3,6	4,1	4,4	4,5	GW
LAC	NDCs-to-2°C	Biomass w/o CCS	1,6	1,6	1,8	0,3	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	NDCs-to-2°C	Biomass w/ CCS	0,0	1,2	0,9	13,2	14,7	15,5	16,8	GW
LAC	NDCs-to-2°C	Nuclear	0,4	0,9	0,9	3,4	5,8	8,4	10,6	GW
LAC	NDCs-to-2°C	Hydro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	NDCs-to-2°C	Wind	4,5	9,1	13,3	45,5	43,6	50,1	55,3	GW
LAC	NDCs-to-2°C	Solar	2,9	6,5	9,2	25,2	25,4	30,5	34,3	GW
LAC	NDCs-to-2°C	Geothermal	1,3	2,0	2,6	6,6	5,5	4,7	4,5	GW
LAC	NDCs-to-2°C	TOTAL	33,3	48,0	55,8	169,7	155,6	170,2	179,2	GW

<u>Premature Retirements</u>										
Region	Scenario	Power Sector Technology	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050	Units
LAC	NDCs-to-2°C	Oil w/o CCS	0,5	1,5	0,4	12,4	4,6	4,0	3,1	GW
LAC	NDCs-to-2°C	Oil w/ CCS	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	NDCs-to-2°C	Gas w/o CCS	1,5	0,1	0,2	9,5	4,1	7,8	13,0	GW
LAC	NDCs-to-2°C	Gas w/ CCS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	NDCs-to-2°C	Coal w/o CCS	2,0	0,0	0,2	6,6	4,6	3,2	1,4	GW
LAC	NDCs-to-2°C	Coal w/ CCS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	NDCs-to-1,5°C	TOTAL	4,1	1,5	0,9	28,4	13,3	15,0	17,5	GW

**Tabla suplementaria 3C: Nuevas instalaciones y retiros prematuros del sector eléctrico de ALC por tecnología para el escenario directo a 1,5°C. Los números representan adiciones / retiros acumulativos, en GW, durante un período modelo de cinco años.**

<u>New Installations</u>										
Region	Scenario	Power Sector Technology	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050	Units
LAC	Straight-to-1,5°C	Oil w/o CCS	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	Straight-to-1,5°C	Oil w/ CCS	0,0	21,1	20,3	17,2	12,8	6,7	2,6	GW
LAC	Straight-to-1,5°C	Gas w/o CCS	12,4	2,3	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	Straight-to-1,5°C	Gas w/ CCS	0,0	23,5	35,5	42,1	46,2	42,7	38,4	GW
LAC	Straight-to-1,5°C	Coal w/o CCS	3,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	Straight-to-1,5°C	Coal w/ CCS	0,0	1,7	3,1	3,7	4,1	3,8	3,4	GW
LAC	Straight-to-1,5°C	Biomass w/o CCS	1,6	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	Straight-to-1,5°C	Biomass w/ CCS	0,0	7,9	18,4	20,8	19,1	16,1	15,0	GW
LAC	Straight-to-1,5°C	Nuclear	0,4	1,6	2,8	3,6	6,6	8,9	10,6	GW
LAC	Straight-to-1,5°C	Hydro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	Straight-to-1,5°C	Wind	4,5	22,0	33,2	39,8	47,3	52,2	55,3	GW
LAC	Straight-to-1,5°C	Solar	2,9	15,4	18,3	22,5	28,3	32,7	33,4	GW
LAC	Straight-to-1,5°C	Geothermal	1,3	4,4	5,5	4,4	5,0	4,4	4,0	GW
LAC	Straight-to-1,5°C	TOTAL	33,3	100,3	137,9	154,2	169,3	167,4	162,7	GW

<u>Premature Retirements</u>										
Region	Scenario	Power Sector Technology	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050	Units
LAC	Straight-to-1,5°C	Oil w/o CCS	0,5	11,2	5,9	4,2	2,8	1,5	0,8	GW
LAC	Straight-to-1,5°C	Oil w/ CCS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	GW
LAC	Straight-to-1,5°C	Gas w/o CCS	1,5	8,0	5,3	6,3	8,9	10,1	7,8	GW
LAC	Straight-to-1,5°C	Gas w/ CCS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	Straight-to-1,5°C	Coal w/o CCS	2,0	4,4	4,4	2,4	0,9	0,3	0,1	GW
LAC	Straight-to-1,5°C	Coal w/ CCS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	Straight-to-1,5°C	TOTAL	4,1	23,6	15,6	12,9	12,6	11,9	9,1	GW



**Tabla suplementaria 3D: Nuevas instalaciones y retiros prematuros del sector eléctrico de ALC por tecnología para el escenario de NDC a 1,5°C. Los números representan adiciones / retiros acumulativos, en GW, durante un período modelo de cinco años.**

<u>New Installations</u>										
Region	Scenario	Power Sector Technology	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050	Units
LAC	NDCs-to-1,5°C	Oil w/o CCS	6,5	1,4	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	NDCs-to-1,5°C	Oil w/ CCS	0,0	8,8	5,7	68,4	2,8	2,7	0,1	GW
LAC	NDCs-to-1,5°C	Gas w/o CCS	12,4	8,0	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	NDCs-to-1,5°C	Gas w/ CCS	0,0	6,4	8,6	82,7	52,1	43,2	36,8	GW
LAC	NDCs-to-1,5°C	Coal w/o CCS	3,6	1,7	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	NDCs-to-1,5°C	Coal w/ CCS	0,0	0,4	0,5	6,7	4,3	3,5	2,9	GW
LAC	NDCs-to-1,5°C	Biomass w/o CCS	1,6	1,6	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	NDCs-to-1,5°C	Biomass w/ CCS	0,0	1,2	0,9	49,1	22,4	15,6	14,1	GW
LAC	NDCs-to-1,5°C	Nuclear	0,4	0,9	0,9	7,1	7,8	9,8	11,3	GW
LAC	NDCs-to-1,5°C	Hydro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	NDCs-to-1,5°C	Wind	4,5	9,1	13,3	82,3	54,5	55,6	57,3	GW
LAC	NDCs-to-1,5°C	Solar	2,9	6,5	9,2	46,5	33,2	33,8	32,8	GW
LAC	NDCs-to-1,5°C	Geothermal	1,3	2,0	2,6	10,1	5,4	4,5	3,9	GW
LAC	NDCs-to-1,5°C	TOTAL	33,3	48,0	55,8	353,0	182,5	168,8	159,2	GW

<u>Premature Retirements</u>										
Region	Scenario	Power Sector Technology	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050	Units
LAC	NDCs-to-1,5°C	Oil w/o CCS	0,5	1,5	0,4	26,5	3,0	1,3	0,6	GW
LAC	NDCs-to-1,5°C	Oil w/ CCS	0,0	0,0	0,1	0,0	3,4	2,1	2,4	GW
LAC	NDCs-to-1,5°C	Gas w/o CCS	1,5	0,1	0,2	37,8	12,9	11,0	6,9	GW
LAC	NDCs-to-1,5°C	Gas w/ CCS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	NDCs-to-1,5°C	Coal w/o CCS	2,0	0,0	0,2	17,3	0,5	0,2	0,0	GW
LAC	NDCs-to-1,5°C	Coal w/ CCS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	GW
LAC	NDCs-to-1,5°C	TOTAL	4,1	1,5	0,9	81,6	19,9	14,6	9,9	GW

#### Tabla suplementaria 4

**Tabla suplementaria 4A: Inversiones de capital del sector eléctrico de ALC y costo de activos abandonados por tecnología para el escenario directo a 2°C. Los números representan costos acumulativos, en miles de millones de dólares de 2010, durante un período de cinco años.**

			<u>New Installations</u>						
Region	Scenario	Power Sector Technology	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050
LAC	Straight-to-2°C	Oil w/o CCS	5,8	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
LAC	Straight-to-2°C	Oil w/ CCS	0,0	19,6	35,3	33,8	32,8	26,2	17,5
LAC	Straight-to-2°C	Gas w/o CCS	12,0	3,6	6,1	3,5	0,7	0,0	0,0
LAC	Straight-to-2°C	Gas w/ CCS	0,0	15,5	37,4	53,5	65,9	71,6	71,8
LAC	Straight-to-2°C	Coal w/o CCS	10,4	1,1	0,9	0,3	0,0	0,0	0,0
LAC	Straight-to-2°C	Coal w/ CCS	0,0	1,9	8,3	14,3	19,1	21,0	21,2
LAC	Straight-to-2°C	Biomass w/o CCS	6,4	3,4	5,3	1,8	0,0	0,0	0,0
LAC	Straight-to-2°C	Biomass w/ CCS	0,0	6,6	36,7	68,9	89,2	96,5	105,4
LAC	Straight-to-2°C	Nuclear	2,4	3,6	9,4	14,1	28,4	42,0	52,1
LAC	Straight-to-2°C	Hydro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LAC	Straight-to-2°C	Wind	8,7	19,8	41,7	59,0	70,2	81,5	87,9
LAC	Straight-to-2°C	Solar	5,3	15,6	26,2	41,7	55,2	71,5	82,3
LAC	Straight-to-2°C	Geothermal	5,7	9,3	18,3	20,9	21,2	19,1	17,8
LAC	Straight-to-2°C	TOTAL	56,7	99,9	225,9	311,8	382,6	429,4	456,0

			<u>Premature Retirements</u>						
Region	Scenario	Power Sector Technology	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050
LAC	Straight-to-2°C	Oil w/o CCS	0,2	2,5	0,9	1,6	1,5	1,4	1,0
LAC	Straight-to-2°C	Oil w/ CCS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LAC	Straight-to-2°C	Gas w/o CCS	0,5	0,8	0,6	1,0	1,0	2,0	3,9
LAC	Straight-to-2°C	Gas w/ CCS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LAC	Straight-to-2°C	Coal w/o CCS	2,9	0,7	1,1	4,2	6,0	4,6	2,0
LAC	Straight-to-2°C	Coal w/ CCS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LAC	Straight-to-2°C	TOTAL	3,6	4,0	2,6	6,7	8,5	8,0	6,9

**Tabla suplementaria 4B: Inversiones de capital del sector eléctrico de ALC y costo de activos abandonados por tecnología para el escenario directo NDC a 2°C. Los números representan costos acumulativos, en miles de millones de dólares de 2010, durante un período de cinco años.**

<u>New Installations</u>									
Region	Scenario	Power Sector Technology	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050
LAC	NDCs-to-2°C	Oil w/o CCS	5,8	1,3	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0
LAC	NDCs-to-2°C	Oil w/ CCS	0,0	19,7	12,3	59,0	31,0	25,9	17,7
LAC	NDCs-to-2°C	Gas w/o CCS	12,0	8,0	8,3	2,9	0,2	0,0	0,0
LAC	NDCs-to-2°C	Gas w/ CCS	0,0	12,2	15,9	72,1	71,3	73,8	73,7
LAC	NDCs-to-2°C	Coal w/o CCS	10,4	5,0	4,6	0,1	0,0	0,0	0,0
LAC	NDCs-to-2°C	Coal w/ CCS	0,0	2,3	2,6	18,2	20,5	21,3	21,4
LAC	NDCs-to-2°C	Biomass w/o CCS	6,4	7,0	7,6	1,6	0,0	0,0	0,0
LAC	NDCs-to-2°C	Biomass w/ CCS	0,0	8,8	6,3	88,7	96,3	99,7	106,1
LAC	NDCs-to-2°C	Nuclear	2,4	4,7	4,9	17,8	30,2	43,3	53,8
LAC	NDCs-to-2°C	Hydro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LAC	NDCs-to-2°C	Wind	8,7	16,9	23,9	79,5	74,3	83,5	90,4
LAC	NDCs-to-2°C	Solar	5,3	12,1	17,7	56,6	58,7	73,6	84,4
LAC	NDCs-to-2°C	Geothermal	5,7	8,6	11,1	27,8	22,7	19,4	18,2
LAC	NDCs-to-2°C	TOTAL	56,7	106,7	117,7	424,2	405,2	440,4	465,7

<u>Premature Retirements</u>									
Region	Scenario	Power Sector Technology	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050
LAC	NDCs-to-2°C	Oil w/o CCS	0,2	0,9	0,1	5,7	2,1	1,7	1,2
LAC	NDCs-to-2°C	Oil w/ CCS	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
LAC	NDCs-to-2°C	Gas w/o CCS	0,5	0,0	0,1	3,1	1,5	3,0	4,9
LAC	NDCs-to-2°C	Gas w/ CCS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LAC	NDCs-to-2°C	Coal w/o CCS	2,9	0,0	0,2	9,8	8,0	5,5	2,2
LAC	NDCs-to-2°C	Coal w/ CCS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LAC	NDCs-to-1,5°C	TOTAL	3,6	0,9	0,6	18,7	11,6	10,1	8,2

**Tabla suplementaria 4C: Inversiones de capital del sector eléctrico de ALC y costo de activos abandonados por tecnología para el escenario directo a 1,5°C. Los números representan costos acumulativos, en miles de millones de dólares de 2010, durante un período de cinco años.**

<u>New Installations</u>									
Region	Scenario	Power Sector Technology	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050
LAC	Straight-to-1,5°C	Oil w/o CCS	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LAC	Straight-to-1,5°C	Oil w/ CCS	0,0	47,4	43,7	35,8	25,8	13,2	5,0
LAC	Straight-to-1,5°C	Gas w/o CCS	12,0	2,4	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0
LAC	Straight-to-1,5°C	Gas w/ CCS	0,0	44,9	65,2	75,0	80,4	72,6	64,2
LAC	Straight-to-1,5°C	Coal w/o CCS	10,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LAC	Straight-to-1,5°C	Coal w/ CCS	0,0	9,1	16,4	19,0	20,3	18,2	15,9
LAC	Straight-to-1,5°C	Biomass w/o CCS	6,4	1,2	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
LAC	Straight-to-1,5°C	Biomass w/ CCS	0,0	56,5	126,7	139,3	124,8	103,2	94,9
LAC	Straight-to-1,5°C	Nuclear	2,4	8,5	14,8	19,0	34,0	45,9	54,1
LAC	Straight-to-1,5°C	Hydro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LAC	Straight-to-1,5°C	Wind	8,7	40,9	59,7	69,6	80,8	87,0	90,5
LAC	Straight-to-1,5°C	Solar	5,3	29,1	38,6	51,2	67,5	79,8	85,0
LAC	Straight-to-1,5°C	Geothermal	5,7	19,0	23,3	18,3	20,6	18,0	16,2
LAC	Straight-to-1,5°C	TOTAL	56,7	259,4	389,7	427,2	454,4	437,9	425,9

<u>Premature Retirements</u>									
Region	Scenario	Power Sector Technology	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050
LAC	Straight-to-1,5°C	Oil w/o CCS	0,2	6,3	2,7	1,9	1,2	0,6	0,2
LAC	Straight-to-1,5°C	Oil w/ CCS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
LAC	Straight-to-1,5°C	Gas w/o CCS	0,5	3,1	1,9	2,6	4,1	4,2	2,7
LAC	Straight-to-1,5°C	Gas w/ CCS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LAC	Straight-to-1,5°C	Coal w/o CCS	2,9	7,6	7,8	4,7	1,7	0,4	0,1
LAC	Straight-to-1,5°C	Coal w/ CCS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LAC	Straight-to-1,5°C	TOTAL	3,6	16,9	12,4	9,1	6,9	5,2	3,5

**Tabla suplementaria 4D: Inversiones de capital del sector eléctrico de ALC y costo de activos abandonados por tecnología para el escenario directo a 1,5°C. Los números representan costos acumulativos, en miles de millones de dólares de 2010, durante un período de cinco años.**

<u>New Installations</u>									
Region	Scenario	Power Sector Technology	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050
LAC	NDCs-to-1,5°C	Oil w/o CCS	5,8	1,3	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0
LAC	NDCs-to-1,5°C	Oil w/ CCS	0,0	19,7	12,3	142,1	5,6	5,4	0,2
LAC	NDCs-to-1,5°C	Gas w/o CCS	12,0	8,0	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0
LAC	NDCs-to-1,5°C	Gas w/ CCS	0,0	12,2	15,9	147,4	90,7	73,5	61,5
LAC	NDCs-to-1,5°C	Coal w/o CCS	10,4	5,0	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0
LAC	NDCs-to-1,5°C	Coal w/ CCS	0,0	2,3	2,6	34,0	21,4	17,1	13,9
LAC	NDCs-to-1,5°C	Biomass w/o CCS	6,4	7,0	7,6	0,0	0,0	0,0	0,0
LAC	NDCs-to-1,5°C	Biomass w/ CCS	0,0	8,8	6,3	327,5	146,5	100,4	89,0
LAC	NDCs-to-1,5°C	Nuclear	2,4	4,7	4,9	37,4	40,6	50,3	57,5
LAC	NDCs-to-1,5°C	Hydro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LAC	NDCs-to-1,5°C	Wind	8,7	16,9	23,9	144,0	93,1	92,7	93,8
LAC	NDCs-to-1,5°C	Solar	5,3	12,1	17,7	107,1	79,0	84,5	87,3
LAC	NDCs-to-1,5°C	Geothermal	5,7	8,6	11,1	42,4	22,5	18,6	15,8
LAC	NDCs-to-1,5°C	TOTAL	56,7	106,7	117,7	981,9	499,3	442,6	419,0

<u>Premature Retirements</u>									
Region	Scenario	Power Sector Technology	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050
LAC	NDCs-to-1,5°C	Oil w/o CCS	0,2	0,9	0,1	12,4	1,5	0,5	0,2
LAC	NDCs-to-1,5°C	Oil w/ CCS	0,0	0,0	0,1	0,0	5,7	3,0	2,8
LAC	NDCs-to-1,5°C	Gas w/o CCS	0,5	0,0	0,1	16,5	6,9	5,2	2,6
LAC	NDCs-to-1,5°C	Gas w/ CCS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LAC	NDCs-to-1,5°C	Coal w/o CCS	2,9	0,0	0,2	30,0	1,1	0,3	0,1
LAC	NDCs-to-1,5°C	Coal w/ CCS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LAC	NDCs-to-1,5°C	TOTAL	3,6	0,9	0,6	59,0	15,1	8,9	5,6

## Tabla suplementaria 5

**Tabla suplementaria 5: Escenarios de sensibilidad considerados en este estudio.**

Sensitivity Parameter	Sensitivity Scenario	Description	Regional Application
<b>Political willingness to avoid stranded assets*</b>	Mid Avoidance	Assumes medium premature asset retirement in the power sector in response to changing profit margins for utilities (Central Assumption).	Global
	High Avoidance	Assumes low premature asset retirement in the power sector in response to changing profit margins for utilities.	Global
<b>Technology availability</b>	Full Tech	Assumes that the full suite of power sector technologies is available globally (Central Assumption).	Global
	No CCS	Assumes no deployment of carbon capture and storage technologies.	Global
	No CCS and No New Nuclear	Assumes no deployment of carbon capture and storage technologies globally, and no new deployment of nuclear technologies in LAC.	No CCS global; no new nuclear in LAC only
<b>Role of land-use in mitigation</b>	Low LUC	Assumes low mitigation in the land-use sector through lower price signal on emissions from land-use and land cover change.	Global
	Mid LUC	Assumes medium mitigation in the land-use sector through medium price signal on emissions from land-use and land cover change (Central Assumption).	Global
	High LUC	Assumes high mitigation in the land-use sector through high price signal on emissions from land-use and land cover change.	Global

\* Very high stranding avoidance assumptions (no stranding allowed in the power sector) was found to be infeasible within the GCAM modeling paradigm.

## Tabla suplementaria 6

**Tabla suplementaria 6: Parámetros de análisis de sensibilidad**

Sensitivity Variable	GCAM parameter	Low	Mid ( <i>Central Assumption</i> )	High
Political willingness to avoid stranded assets	median shutdown point with respect to profit margin	-	-0,1	-0,5*
Role of land-use in mitigation	% of carbon price faced by land sector	1%	10%	50%

\* A case which did not allow any stranding in the power sector failed to solve.

**Tabla suplementaria 7**

**Tabla suplementaria 7: Precios de CO<sub>2</sub> para todos los escenarios en 2050**

<b>Temperature Target</b>	<b>Stranding Avoidance</b>	<b>Technology availability</b>	<b>Role of land-use in mitigation</b>	<b>CO2 price (2050) (2010\$ / tCO2)</b>
Straight-to-2°C	Mid Avoidance	Full Tech	Mid LUC	\$237
Straight-to-1,5°C	Mid Avoidance	Full Tech	Mid LUC	\$418
NDCs-to-2°C	Mid Avoidance	Full Tech	Mid LUC	\$251
NDCs-to-2°C	Mid Avoidance	Full Tech	Low LUC	\$251
NDCs-to-2°C	Mid Avoidance	Full Tech	High LUC	\$279
NDCs-to-2°C	Mid Avoidance	No CCS	Mid LUC	\$558
NDCs-to-2°C	Mid Avoidance	No CCS	Low LUC	\$614
NDCs-to-2°C	Mid Avoidance	No CCS	High LUC	\$558
NDCs-to-2°C	Mid Avoidance	No CCS and No New Nuclear	Mid LUC	\$558
NDCs-to-2°C	Mid Avoidance	No CCS and No New Nuclear	Low LUC	\$614
NDCs-to-2°C	Mid Avoidance	No CCS and No New Nuclear	High LUC	\$558
NDCs-to-2°C	High Avoidance	Full Tech	Mid LUC	\$293
NDCs-to-2°C	High Avoidance	Full Tech	Low LUC	\$293
NDCs-to-2°C	High Avoidance	Full Tech	High LUC	\$335
NDCs-to-2°C	High Avoidance	No CCS	Mid LUC	\$641
NDCs-to-2°C	High Avoidance	No CCS	Low LUC	\$683
NDCs-to-2°C	High Avoidance	No CCS	High LUC	\$628
NDCs-to-2°C	High Avoidance	No CCS and No New Nuclear	Mid LUC	\$641
NDCs-to-2°C	High Avoidance	No CCS and No New Nuclear	Low LUC	\$697
NDCs-to-2°C	High Avoidance	No CCS and No New Nuclear	High LUC	\$628
NDCs-to-1,5°C	Mid Avoidance	Full Tech	Mid LUC	\$516
NDCs-to-1,5°C	Mid Avoidance	Full Tech	Low LUC	\$516
NDCs-to-1,5°C	Mid Avoidance	Full Tech	High LUC	\$586
NDCs-to-1,5°C	High Avoidance	Full Tech	Mid LUC	\$586
NDCs-to-1,5°C	High Avoidance	Full Tech	Low LUC	\$614
NDCs-to-1,5°C	High Avoidance	Full Tech	High LUC	\$655



## Tabla suplementaria 8

**Tabla suplementaria 8: Precios de alimentos para escenarios seleccionados de NDC a 2°C en 2050**

<u>Temperature Target</u>	<u>Stranding Avoidance</u>	<u>Technology availability</u>	<u>Role of land-use in mitigation</u>	<u>Aggregate Food Price* (2050) (2010\$ / Mcal)</u>
NDCs-to-2°C	Mid Avoidance	Full Tech	Mid LUC	\$1,53
NDCs-to-2°C	Mid Avoidance	No CCS	Mid LUC	\$2,21
NDCs-to-2°C	Mid Avoidance	No CCS and No New Nuclear	Mid LUC	\$2,21
NDCs-to-2°C	High Avoidance	Full Tech	Mid LUC	\$1,67
NDCs-to-2°C	High Avoidance	No CCS	Mid LUC	\$2,41
NDCs-to-2°C	High Avoidance	No CCS and No New Nuclear	Mid LUC	\$2,41

\* Consumption-weighted average food price (crops & meat) for Latin America and the Caribbean in 2050. Average prices calculated by multiplying prices and consumption for each food good / GCAM region, summing to get total food expenditures across LAC, and dividing by total food consumption in LAC to get an average price per Mcal consumed.

**Tabla suplementaria 9**

**Tabla suplementaria 9: Servicio de transporte de pasajeros para todos los escenarios en 2050**

<u>Temperature Target</u>	<u>Stranding Avoidance</u>	<u>Technology availability</u>	<u>Role of land-use in mitigation</u>	<u>Passenger Transportation (million passenger km)</u>
NDCs-to-2°C	Mid Avoidance	Full Tech	Mid LUC	725.874
NDCs-to-2°C	Mid Avoidance	Full Tech	Low LUC	729.213
NDCs-to-2°C	Mid Avoidance	Full Tech	High LUC	719.352
NDCs-to-2°C	Mid Avoidance	No CCS	Mid LUC	672.816
NDCs-to-2°C	Mid Avoidance	No CCS	Low LUC	670.120
NDCs-to-2°C	Mid Avoidance	No CCS	High LUC	672.218
NDCs-to-2°C	Mid Avoidance	No CCS and No New Nuclear	Mid LUC	671.559
NDCs-to-2°C	Mid Avoidance	No CCS and No New Nuclear	Low LUC	668.842
NDCs-to-2°C	Mid Avoidance	No CCS and No New Nuclear	High LUC	670.954
NDCs-to-2°C	High Avoidance	Full Tech	Mid LUC	717.154
NDCs-to-2°C	High Avoidance	Full Tech	Low LUC	719.301
NDCs-to-2°C	High Avoidance	Full Tech	High LUC	708.349
NDCs-to-2°C	High Avoidance	No CCS	Mid LUC	663.570
NDCs-to-2°C	High Avoidance	No CCS	Low LUC	662.440
NDCs-to-2°C	High Avoidance	No CCS	High LUC	664.508
NDCs-to-2°C	High Avoidance	No CCS and No New Nuclear	Mid LUC	662.423
NDCs-to-2°C	High Avoidance	No CCS and No New Nuclear	Low LUC	659.892
NDCs-to-2°C	High Avoidance	No CCS and No New Nuclear	High LUC	663.368
NDCs-to-1,5°C	Mid Avoidance	Full Tech	Mid LUC	680.352
NDCs-to-1,5°C	Mid Avoidance	Full Tech	Low LUC	680.080
NDCs-to-1,5°C	Mid Avoidance	Full Tech	High LUC	670.707
NDCs-to-1,5°C	High Avoidance	Full Tech	Mid LUC	671.267
NDCs-to-1,5°C	High Avoidance	Full Tech	Low LUC	668.308
NDCs-to-1,5°C	High Avoidance	Full Tech	High LUC	662.713

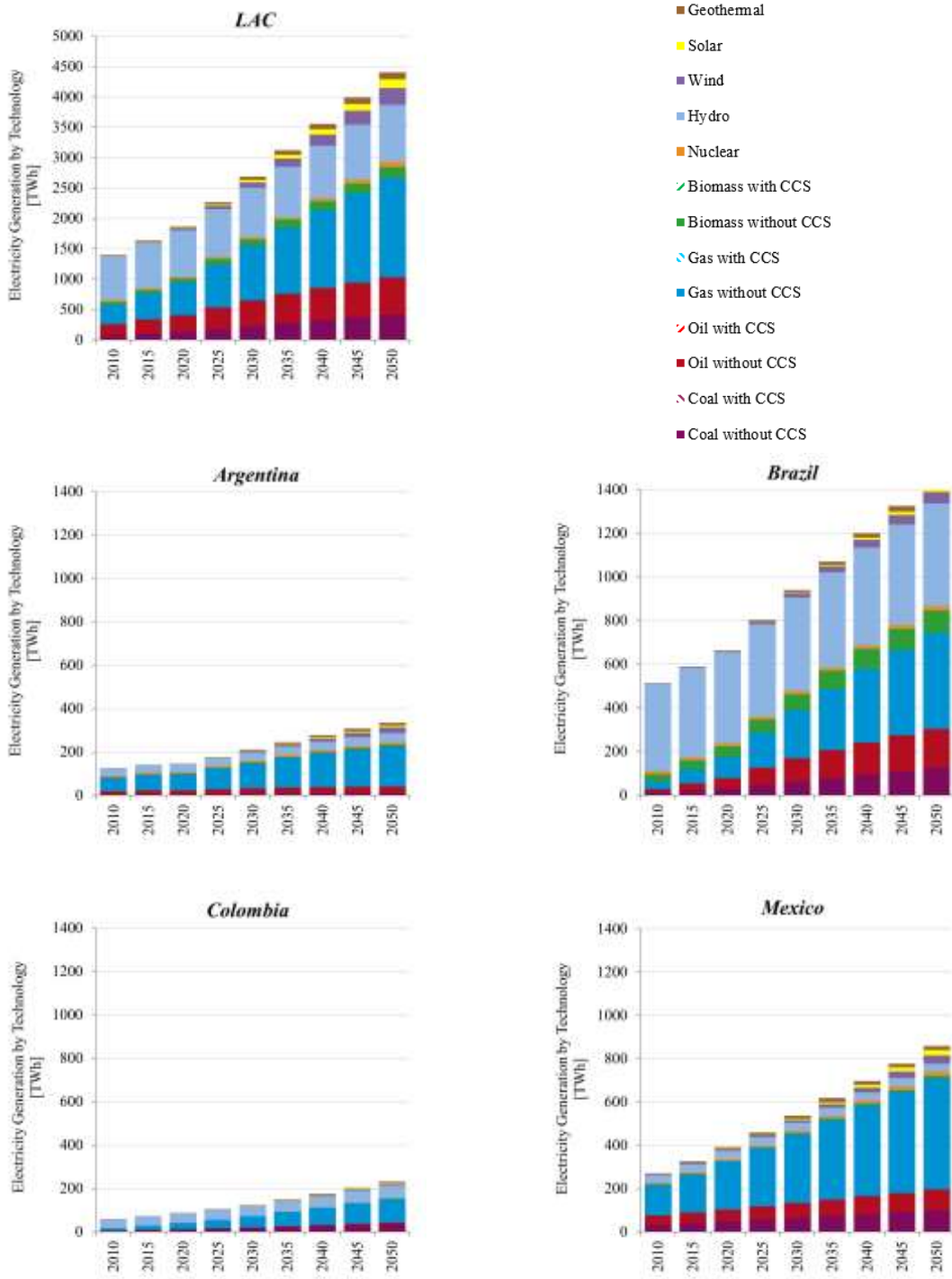
**Tabla suplementaria 10**

**Tabla suplementaria 10: Supuestos del costo de capital para el sector de energía eléctrica (2010 USD / kW)<sup>a</sup>**

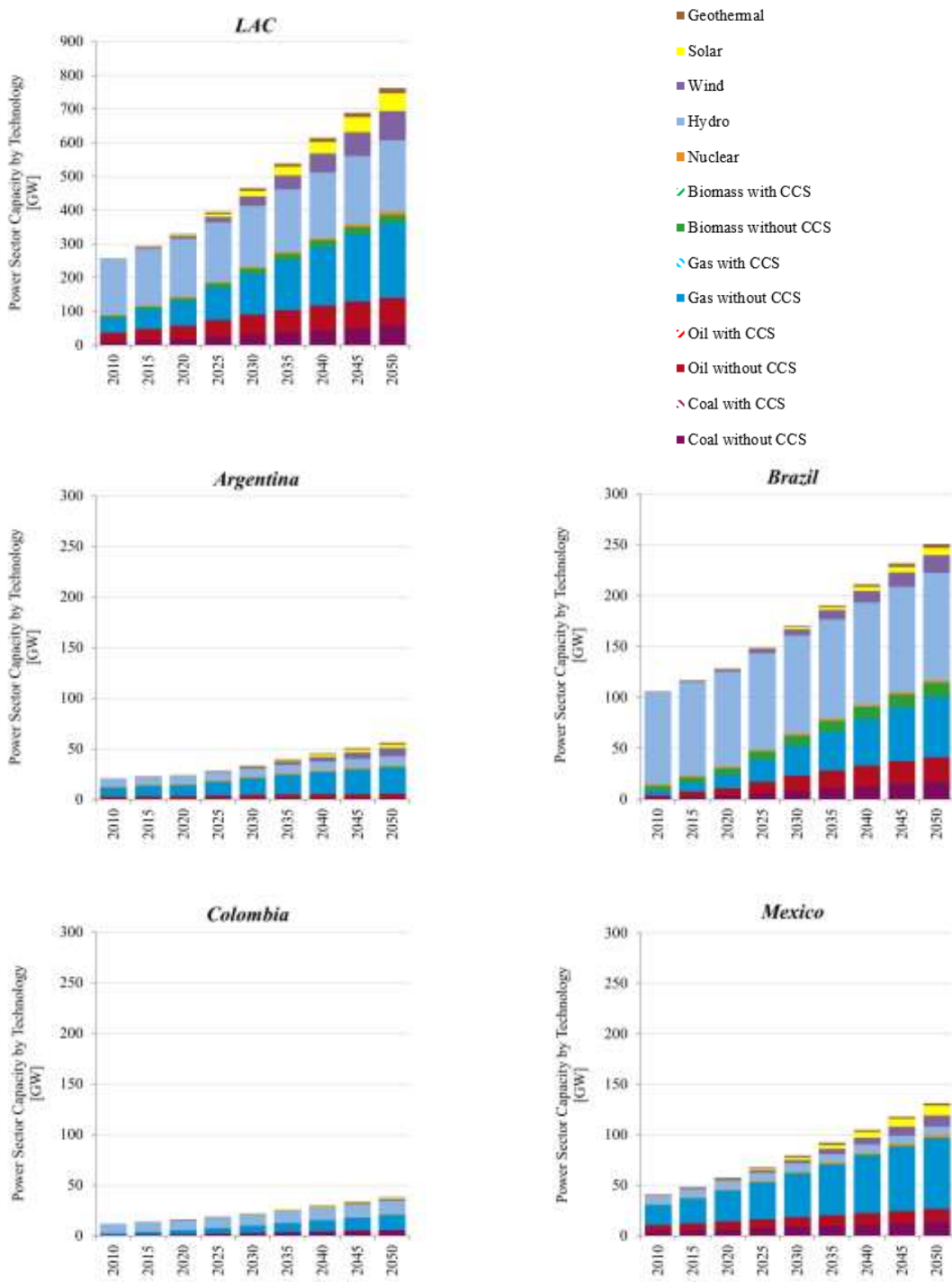
<u>Electricity Generation</u> <u>Technology</u>	<u>Overnight Capital Costs (2010 USD / kW)</u>		
	<u>2020</u>	<u>2030</u>	<u>2050</u>
Biomass (conv)	\$ 3951	\$ 3818	\$ 3702
Biomass (IGCC)	\$ 5745	\$ 5180	\$ 4819
Biomass (conv CCS)	\$ 7317	\$ 6568	\$ 6168
Biomass (IGCC CCS)	\$ 8337	\$ 7298	\$ 6720
Coal (conv pul)	\$ 2337	\$ 2242	\$ 2196
Coal (IGCC)	\$ 3060	\$ 2854	\$ 2769
Coal (conv pul CCS)	\$ 5503	\$ 4925	\$ 4619
Coal (IGCC CCS)	\$ 4020	\$ 3607	\$ 3448
Gas (CC)	\$ 859	\$ 824	\$ 807
Gas (steam/CT)	\$ 911	\$ 875	\$ 857
Gas (CC CCS)	\$ 1864	\$ 1677	\$ 1605
Refined liquids (steam/CT)	\$ 742	\$ 717	\$ 694
Refined liquids (CC)	\$ 1036	\$ 1004	\$ 972
Refined liquids (CC CCS)	\$ 2356	\$ 2079	\$ 1937
Gen II LWR (Nuclear)	\$ 5500	\$ 5500	\$ 5500
Gen III (Nuclear)	\$ 4400	\$ 4044	\$ 3901
CSP	\$ 3415	\$ 3077	\$ 2946
CSP with storage	\$ 7430	\$ 6329	\$ 5771
PV	\$ 1856	\$ 1534	\$ 1514
PV with storage	\$ 4212	\$ 3799	\$ 3534
Wind	\$ 1662	\$ 1526	\$ 1481
Wind with storage	\$ 5555	\$ 5006	\$ 4661
Rooftop PV	\$ 4499	\$ 4057	\$ 3776



**Figuras suplementarias**  
**Figura suplementaria 1**



**Figura suplementaria 1A: Generación de electricidad por tecnología en el escenario de referencia, para América Latina y el Caribe (ALC) y las cuatro economías más grandes de la región.**



*Figura suplementaria 1B: Capacidad instalada del sector eléctrico por tecnología en el escenario de referencia, para América Latina y el Caribe (ALC) y las cuatro economías más grandes de la región.*

Figura suplementaria 2

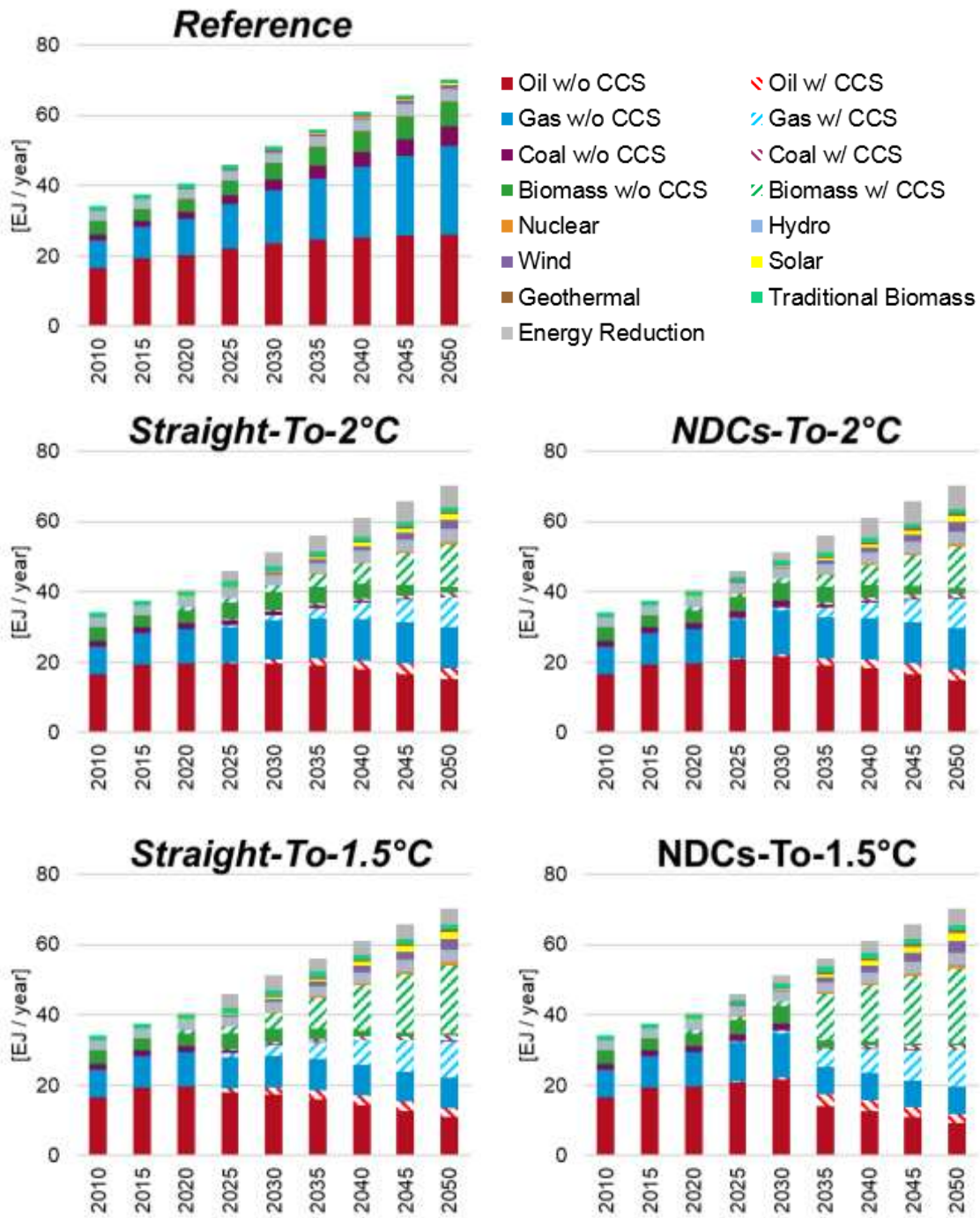
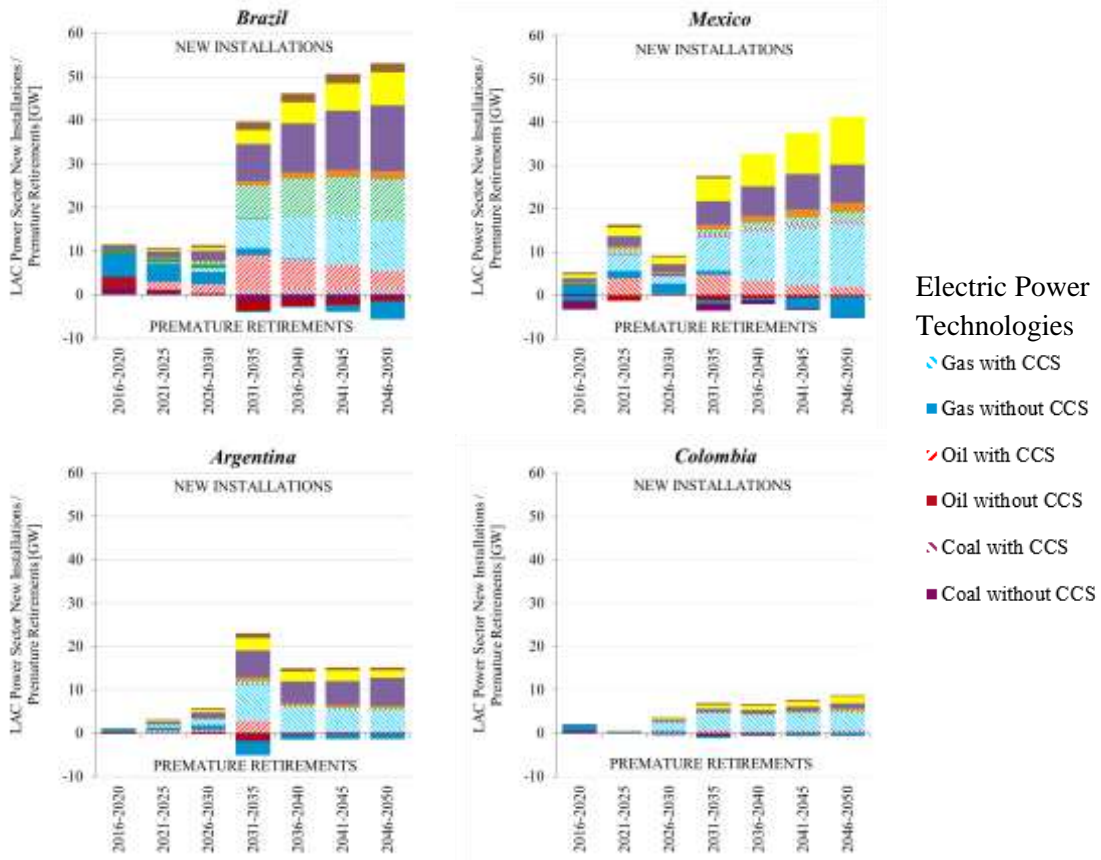


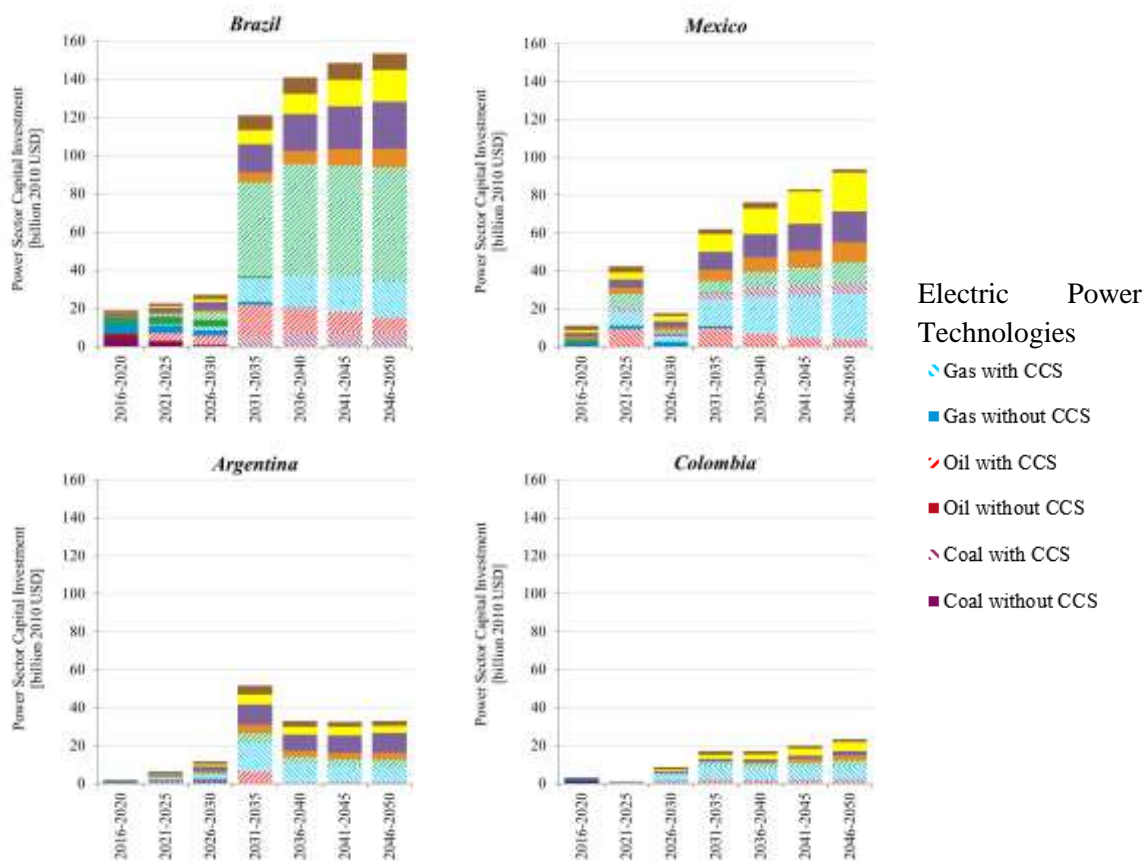
Figura suplementaria 2: Consumo de energía primaria (equivalente directo) por combustible en América Latina y el Caribe para cada escenario modelo. La "reducción de energía" (gris) para cada escenario de mitigación es relativa a la referencia.

**Figura suplementaria 3**

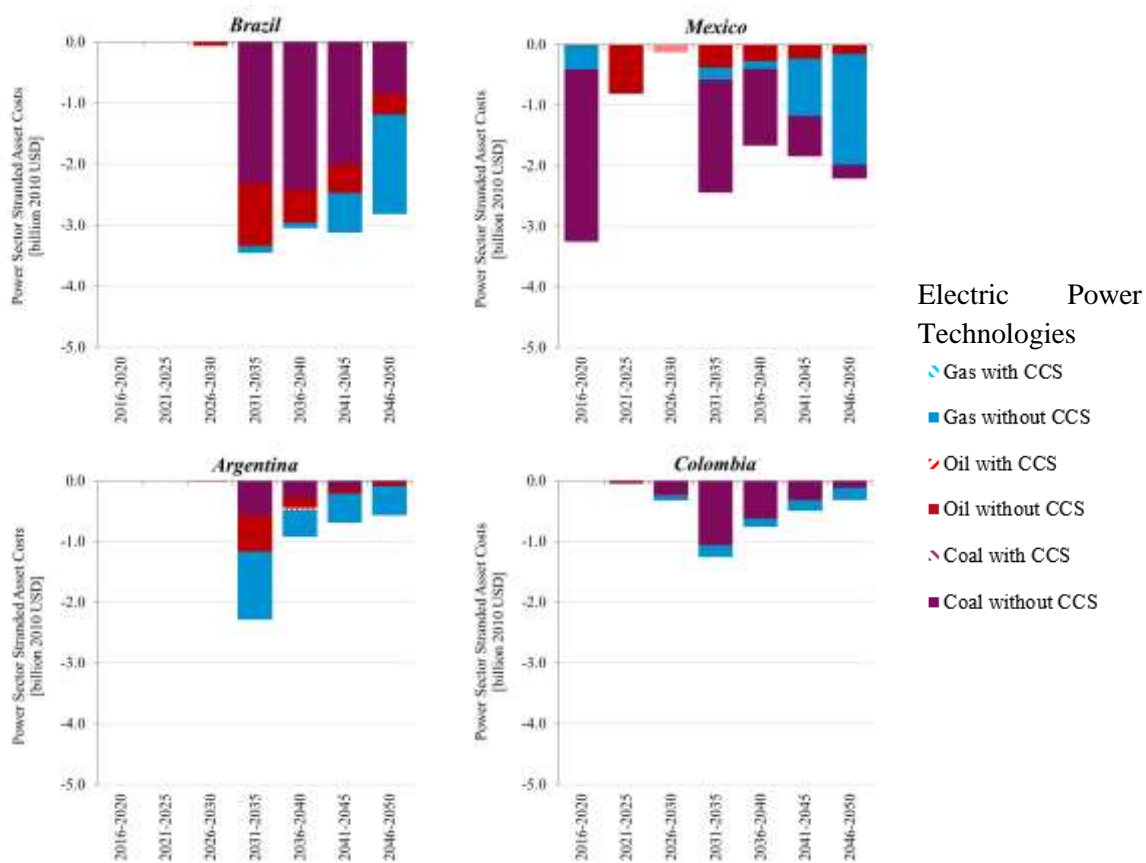


**Figura suplementaria 3A: Instalaciones eléctricas a nivel de país: nuevas instalaciones y retiros prematuros (valores negativos) por período y tecnología (escenario de NDC a 2°C). Las barras representan adiciones / jubilaciones acumulativas durante un período modelo de cinco años.**



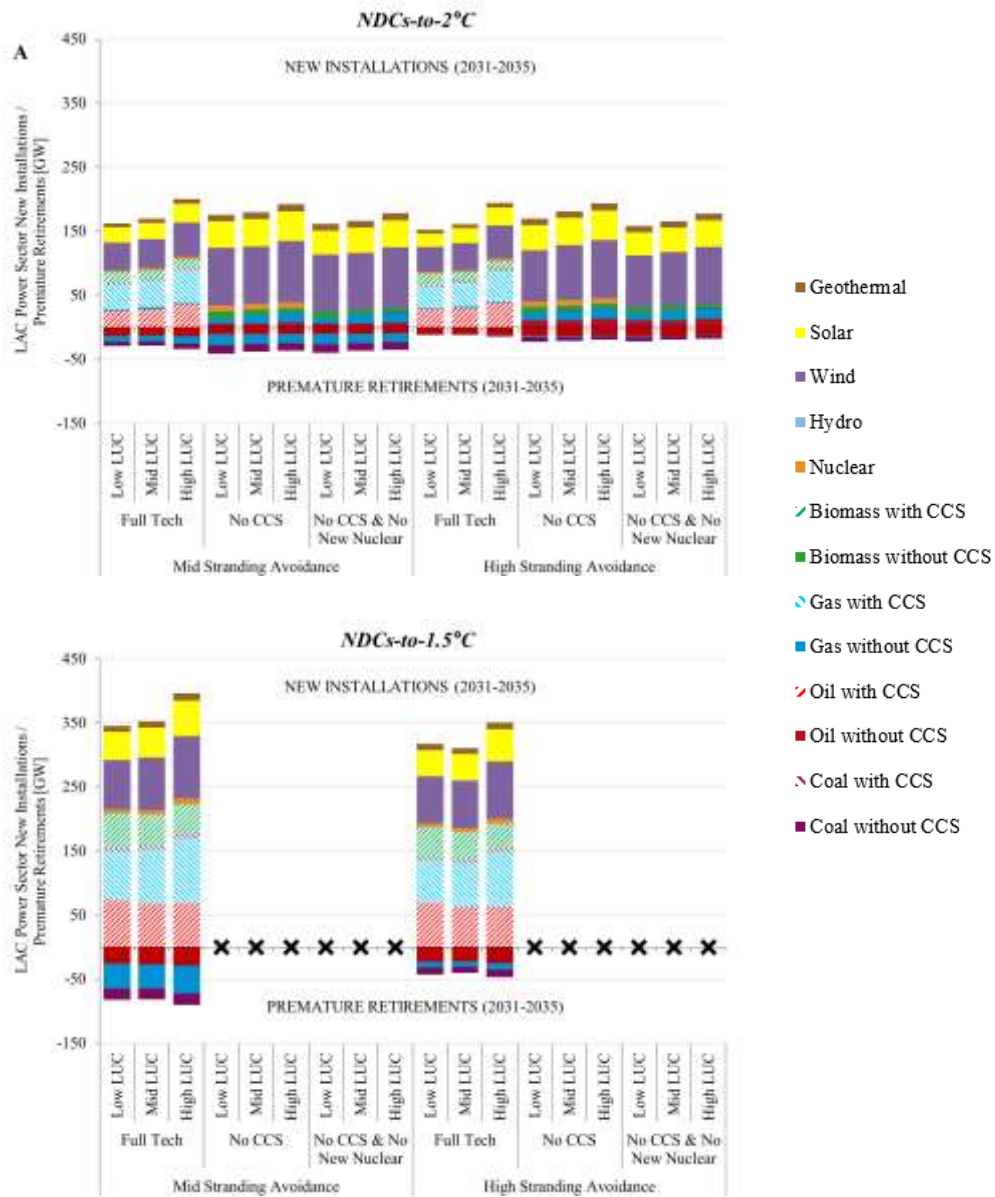


*Figura suplementaria 3B: Inversión de capital del sector eléctrico a nivel de país por período y tecnología (escenario de NDC a 2°C). Las barras representan los costos acumulados durante un período modelo de cinco años.*

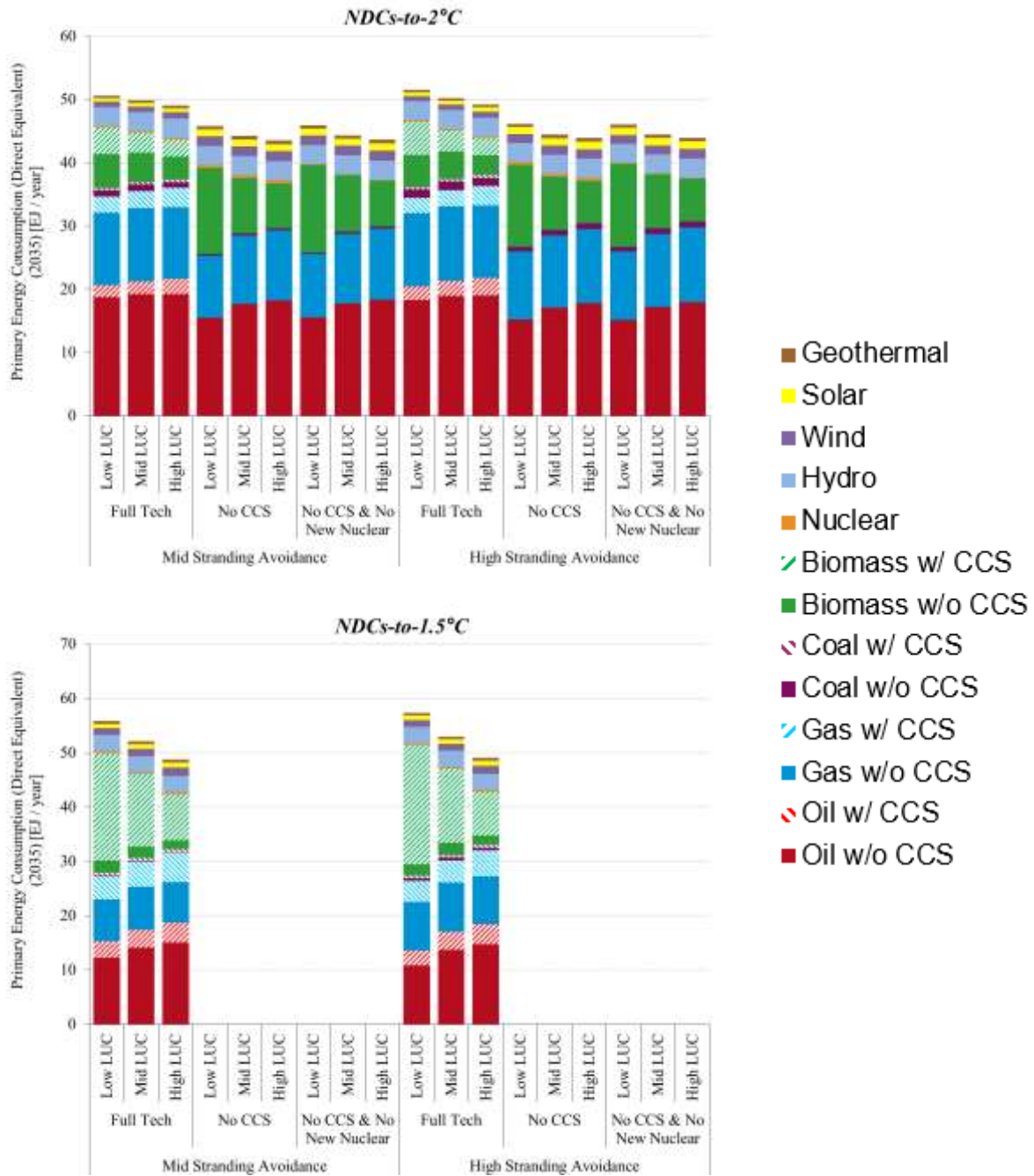


**Figura suplementaria 3C: Costos de activos abandonados del sector eléctrico a nivel de país por período y tecnología (escenario de NDC a 2°C). Las barras representan los costos acumulados durante un período modelo de cinco años.**

**Figura suplementaria 4**

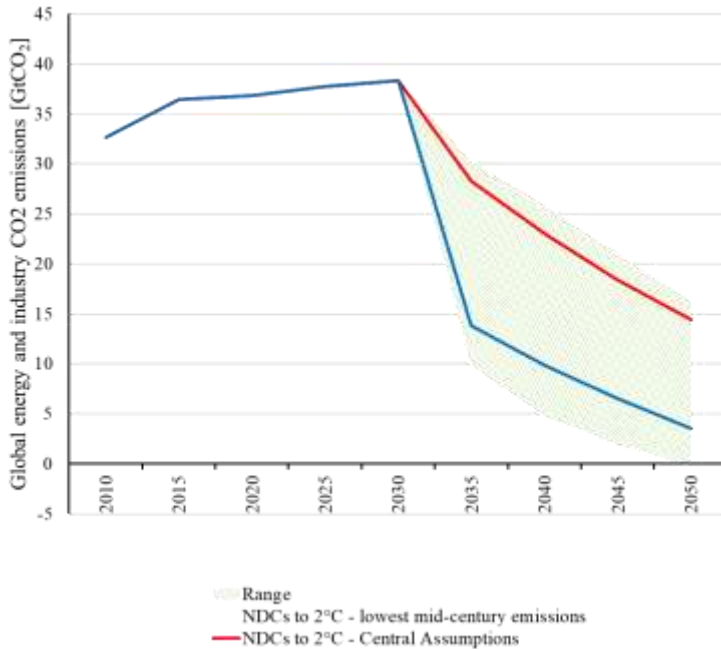


**Figura suplementaria 4A:** Nuevas instalaciones y retiros prematuros (valores de inversión negativos) por escenario y tecnología en el sector eléctrico de ALC (2031-2035) en los casos de análisis de sensibilidad. Las barras representan adiciones / retiros acumulativos durante el período modelo de cinco años.

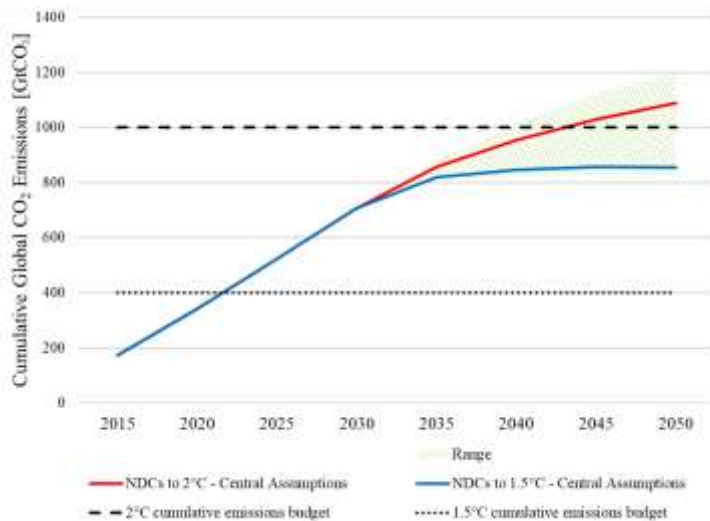


**Figura suplementaria 4B: Consumo de energía primaria en América Latina y el Caribe (2035) por escenario y tecnología.**

**Figura suplementaria 5**

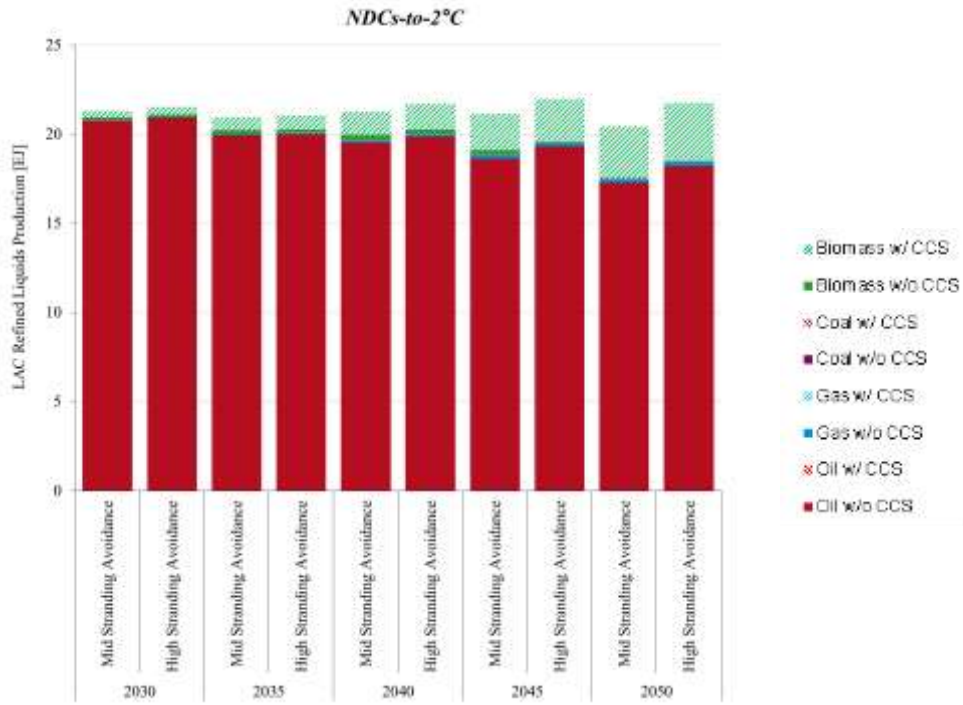


**Figura suplementaria 5A: Energía global y emisiones de CO<sub>2</sub> de la industria.** Las líneas continuas representan emisiones acumuladas del escenario NDC a 2°C y del escenario NDC a 1,5°C con supuestos centrales. El área sombreada representa el rango de emisiones acumulativas en los casos de sensibilidad.



**Figura suplementaria 5B: Emisiones globales acumuladas de CO<sub>2</sub> (a partir de 2011) por escenario.** Las líneas continuas representan emisiones acumuladas del escenario NDC a 2°C y del escenario NDC a 1,5°C con supuestos centrales. Las líneas discontinuas representan los presupuestos de emisiones acumuladas de 2°C y 1,5°C (2011-2100). El área sombreada representa el rango de emisiones acumulativas en los casos de sensibilidad.

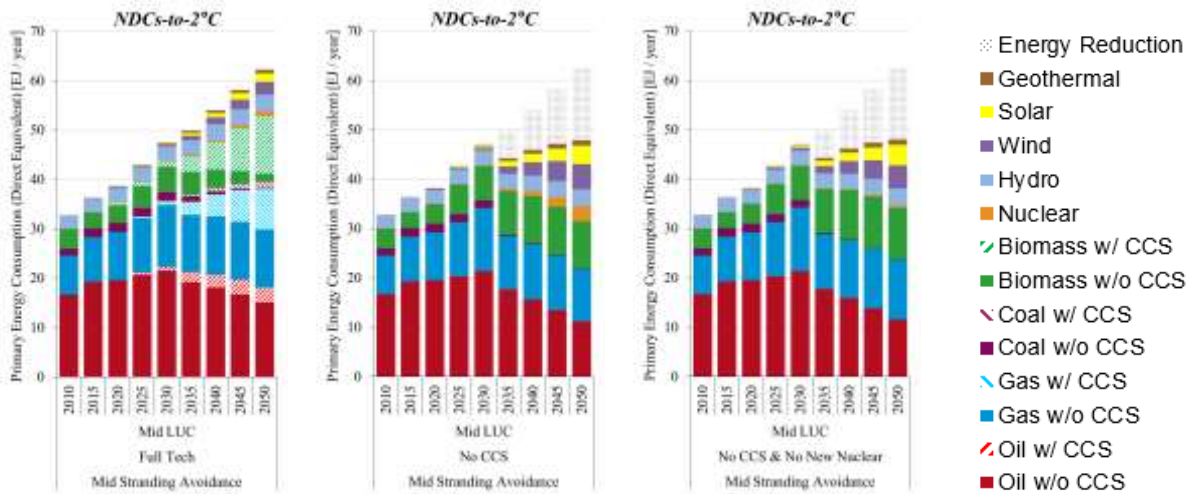
**Figura suplementaria 6**



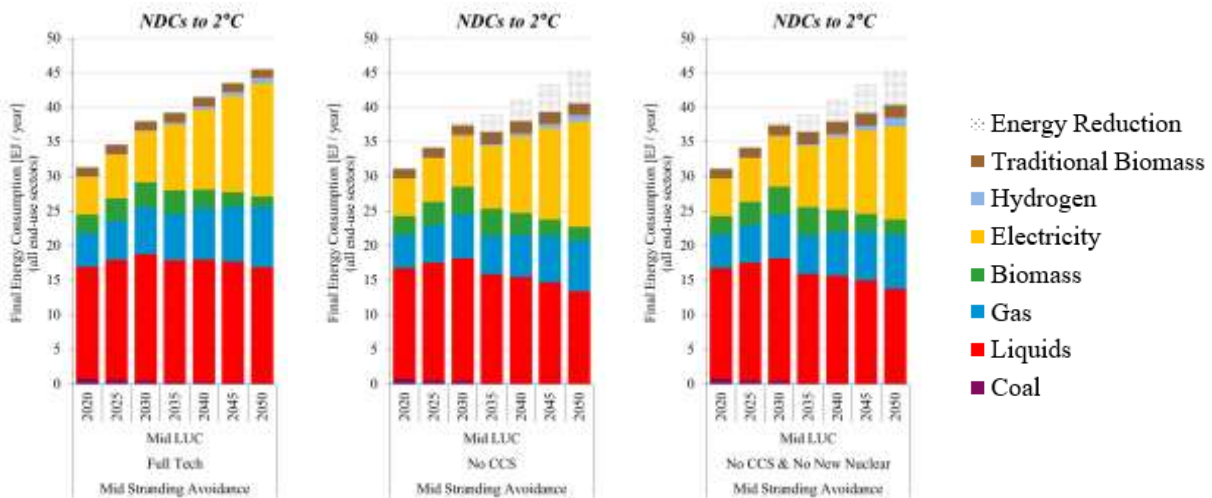
*Figura suplementaria 6: Producción de líquidos refinados por escenario, período y tecnología en ALC para escenarios de NDC a 2°C son esfuerzos para evitar los abandonos medio / alto y suposiciones centrales de tecnología / mitigación del uso de la tierra.*



**Figura suplementaria 7**

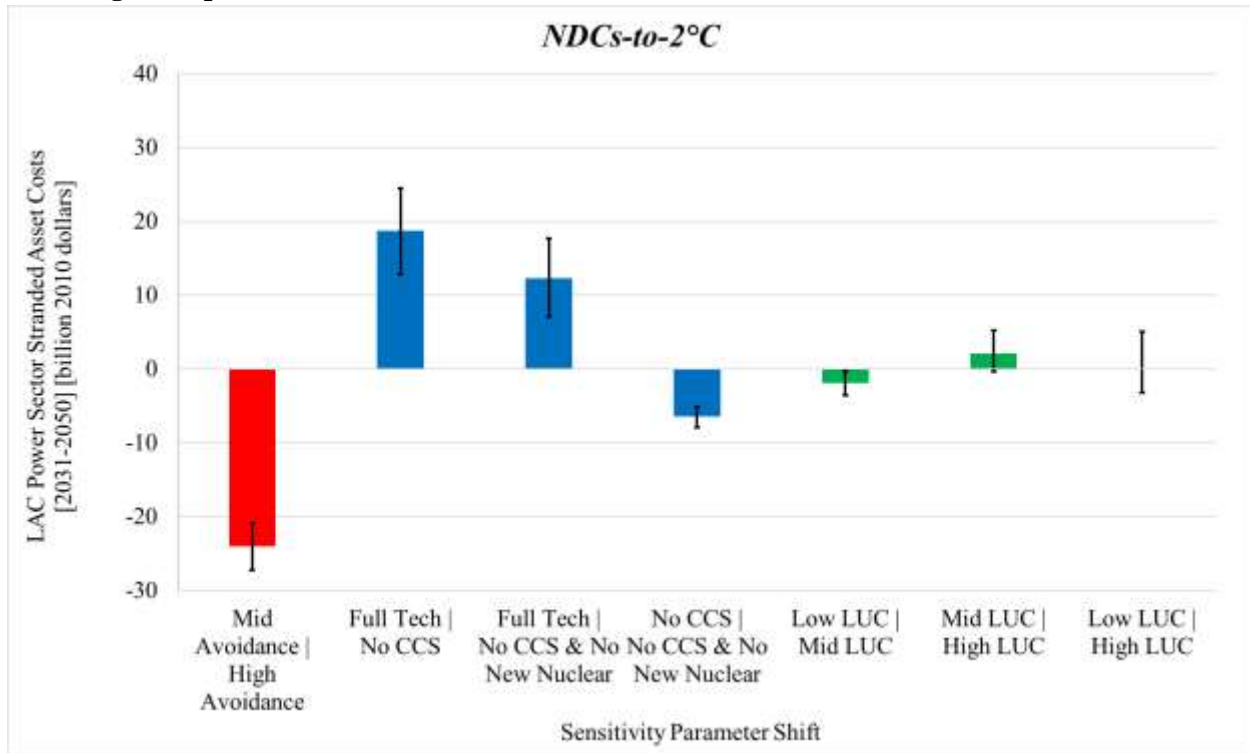


**Figura suplementaria 7A:** Consumo de energía primaria por escenario, período y tecnología en ALC para escenarios de NDC a 2°C con tecnología completa / Sin CCS / Sin CCS y Sin nuevos supuestos de tecnología nuclear y suposiciones centrales de evitar el abandono de activos / mitigación del uso de la tierra.



**Figura suplementaria 7B:** consume de energía final por escenario, período y tecnología en ALC para escenarios de NDC a 2°C con tecnología completa / Sin CCS / Sin CCS y Sin nuevos supuestos de tecnología nuclear y suposiciones centrales de evitar el abandono de activos / mitigación del uso de la tierra.

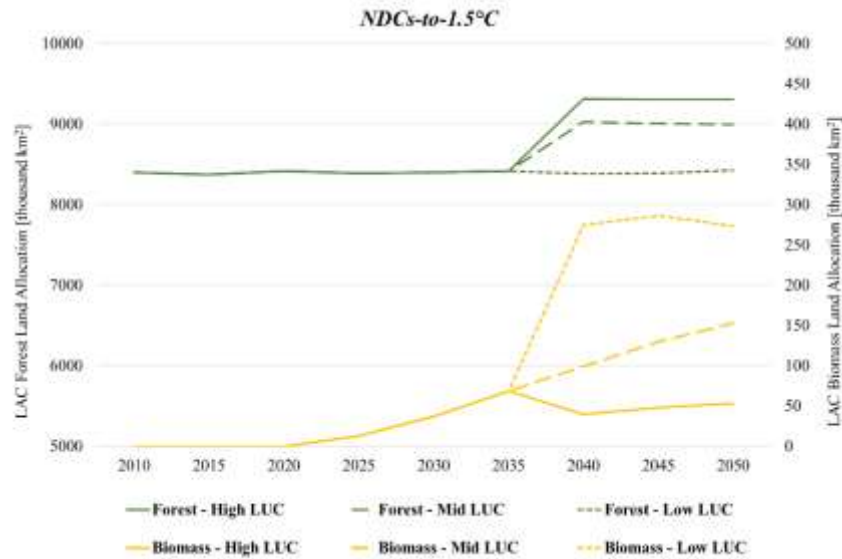
**Figura suplementaria 8**



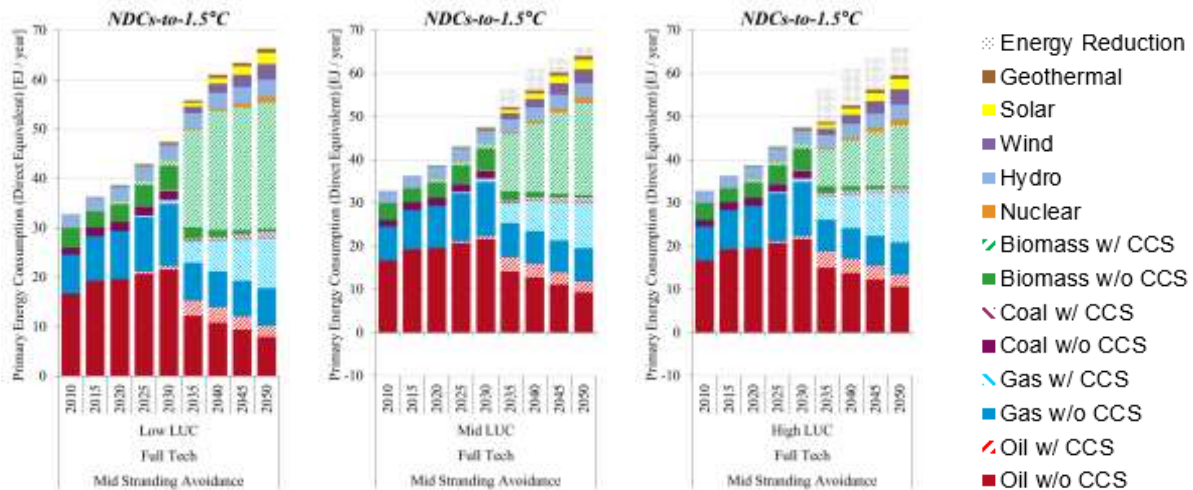
*Figura suplementaria 8: Sensibilidad de los costos de activos abandonados del sector eléctrico de ALC a los cambios en los parámetros seleccionados. Las barras representan los costos de activos abandonados acumulativos adicionales promedio durante el período de veinte años a partir de 2031-2050 asociados con el cambio del valor del parámetro 1 al valor del parámetro 2 (donde el valor 1 es antes de "/" y el valor 2 es después de "/"). Las barras de error representan el rango de costos de activos abandonados acumulativos adicionales promedio durante el mismo período. Los costos adicionales acumulados de activos abandonados se calculan identificando casos emparejados en los que todos los parámetros de sensibilidad, además del perturbado, son idénticos, y calculando la diferencia en el abandono asociado con el cambio del primer valor del parámetro al segundo. "Evitar el abandono" tiene 9 conjuntos de casos emparejados; La "Disponibilidad de tecnología" y el "Papel del uso de la tierra en la mitigación" tienen cada uno 6 conjuntos de casos emparejados.*



**Figura suplementaria 9**



**Figura suplementaria 9A:** Asignación de tierras para bosques y biomasa en ALC para escenarios de NDC a 1,5°C con supuestos de mitigación de uso de suelo bajo / medio / alto y suposiciones de tecnología / aversión al abandono centrales.



**Figura suplementaria 9B:** Consumo de energía primaria por escenario, período y tecnología en ALC para escenarios de NDC a 1,5°C con supuestos de mitigación de uso de la tierra bajo / medio / alto y suposiciones centrales de aversión al abandono / tecnología.

Figura suplementaria 10

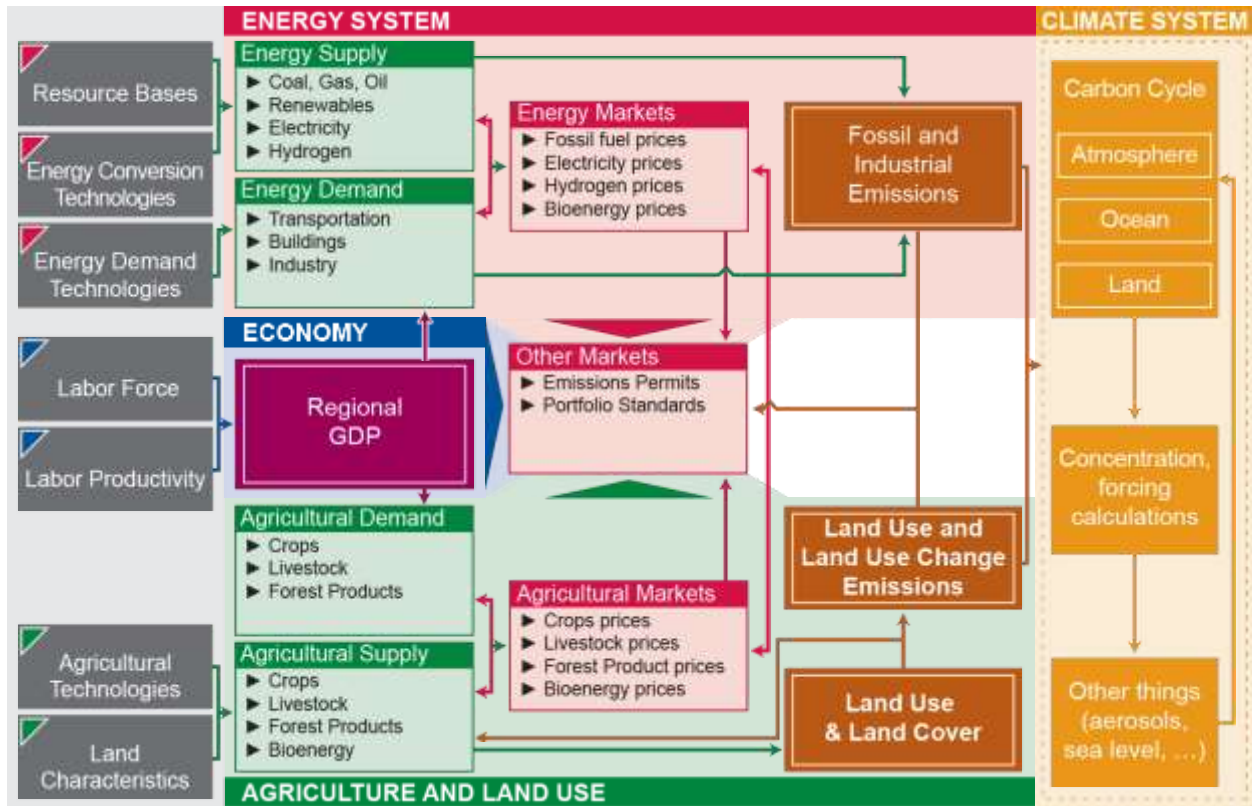
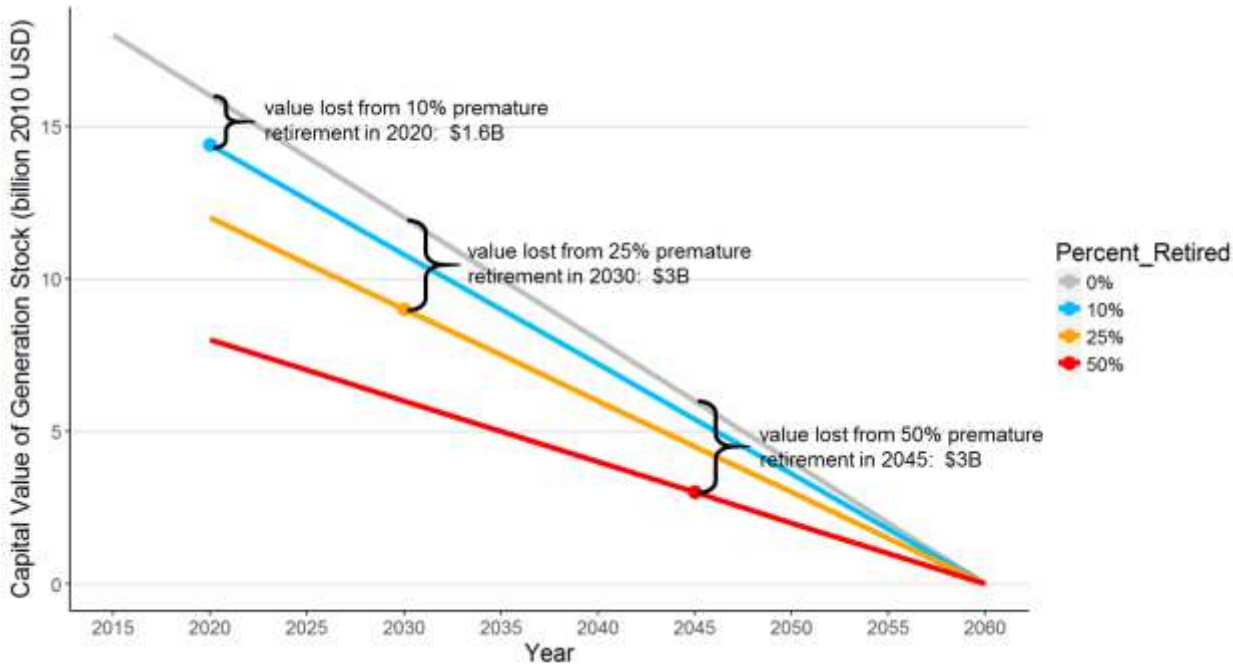


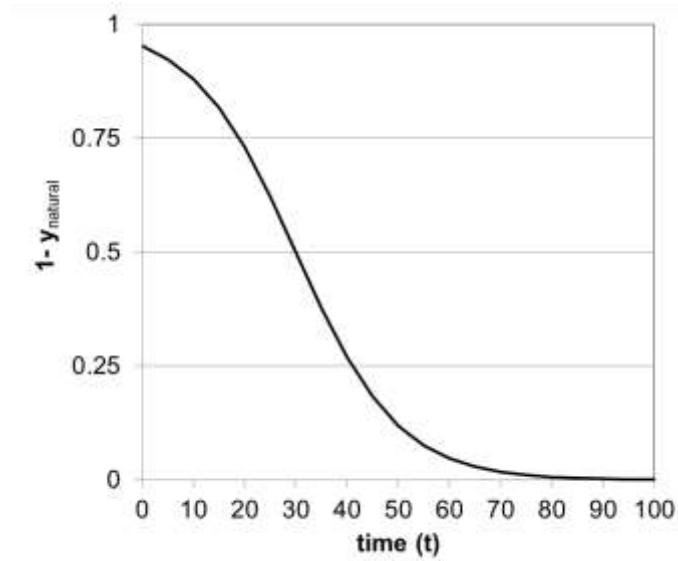
Figura suplementaria 10: Estructura del modelo GCAM.

**Figura suplementaria 11**

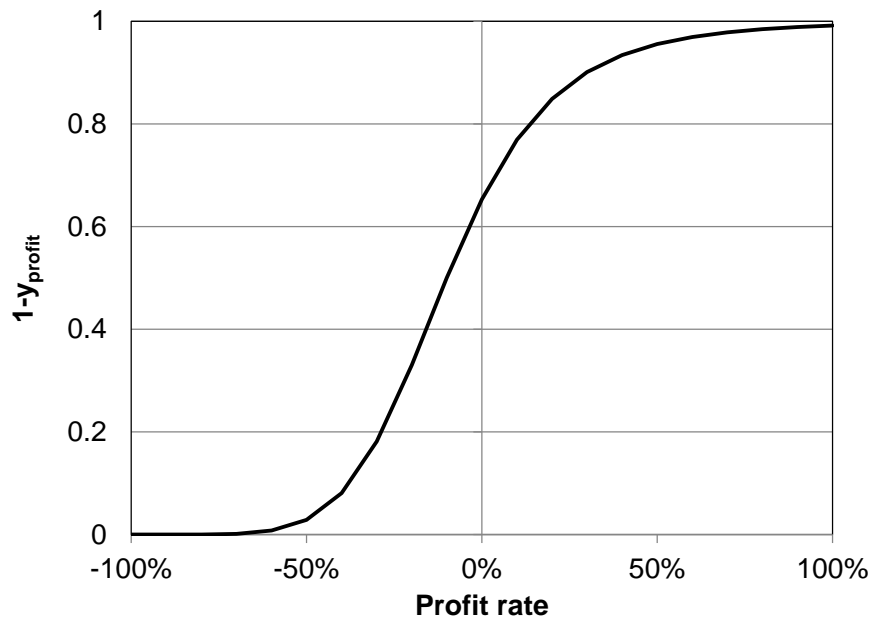


*Figura suplementaria 11: Cálculo del valor perdido debido a al retiro prematuro del stock de capital hipotético de energía eléctrica. Para este ejemplo, se supone que la añada es 2015 con un valor de activo de capital de \$ 18B 2010 USD, y una vida técnica esperada de 45 años. Las líneas representan valor a lo largo del tiempo para diferentes magnitudes de retiro prematuro. La línea gris (0% retirado) refleja una devaluación lineal simple del stock de capital. Las líneas azul (10% retirado), amarillo (25% retirado) y rojo (50% retirado) representan el valor restante de la añada a lo largo del tiempo si el porcentaje especificado se retirara en un año determinado. (Una añada siempre se utiliza por completo durante su período de funcionamiento inicial; lo más temprano que esta añada hipotética podría retirarse prematuramente es 2020). La distancia entre las líneas gris y azul / amarilla / roja representa la pérdida de valor asociada con ese nivel respectivo del retiro prematuro.*

**Figura suplementaria 12**



*Figura suplementaria 12A:  $1 - y_{natural}(t)$  para un coeficiente de inclinación (b) of 0,1 and mitad de la vida (x) of 30 years*



*Figura suplementaria 12B:  $1 - y_{profit}$  para un coeficiente de inclinación (b) of 6 and x = -10%*

## 5 Referencias Suplementarias

- 1 Rogelj, J. *et al.* Zero emission targets as long-term global goals for climate protection. *Environmental Research Letters* **10**, doi:doi:10.1088/1748-9326/10/10/105007 (2015).
- 2 Clarke, L. *et al.* in *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds O. Edenhofer *et al.*) Ch. 6, (Cambridge University Press, 2014).
- 3 Kriegler, E. *et al.* Making or breaking climate targets: The AMPERE study on staged accession scenarios for climate policy. *Technological Forecasting and Social Change* **90**, 24-44, doi:10.1016/j.techfore.2013.09.021 (2015).
- 4 Riahi, K. *et al.* Locked into Copenhagen pledges — Implications of short-term emission targets for the cost and feasibility of long-term climate goals. *Technological Forecasting and Social Change* **90, Part A**, 8-23, doi:10.1016/j.techfore.2013.09.016 (2015).
- 5 Iyer, G. C. *et al.* The contribution of Paris to limit global warming to 2°C *Environmental Research Letters* **10**, 125002 (2015).
- 6 Mercure, J.-F. *et al.* Macroeconomic impact of stranded fossil fuel assets. *Nature Climate Change* **8**, 588–593, doi:<https://doi.org/10.1038/s41558-018-0182-1> (2018).
- 7 Vogt-Schilb, A. & Hallegatte, S. Climate policies and nationally determined contributions: reconciling the needed ambition with the political economy. *WIREs Energy Environ.* **6**, doi:10.1002/wene.256 (2017).
- 8 Rozenberg, J., Vogt-Schilb, A. & Hallegatte, S. Instrument Choice and Stranded Assets in the Transition to Clean Capital. *Forthcoming in Journal of Environmental Economics and Management* (2019).
- 9 Meinshausen, M. *et al.* Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2°C. *Nature* **458** 1158–1163, doi:doi:10.1038/nature08017 (2009).
- 10 Leaton, J., Ranger, N., Ward, B., Sussams, L. & Brown, M. Unburnable Carbon 2013: Wasted capital and stranded assets. (Carbon Tracker & The Grantham Research Institute, LSE, 2013).
- 11 McGlade, C. & Ekins, P. The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2 degrees C. *Nature* **517**, 187-190, doi:10.1038/nature14016 (2015).
- 12 Leaton, J. Unburnable Carbon: Are the world’s financial markets carrying a carbon bubble? , (Carbon Tracker, 2011).
- 13 Davis, S. J., Caldeira, K. & Matthews, H. Future CO2 emissions and climate change from existing energy infrastructure. *Science* **329**, 1330-1333 (2010).
- 14 Davis, S. J. & Socolow, R. H. Commitment accounting of CO2 emissions. *Environmental Research Letters* **9**, 084018, doi:10.1088/1748-9326/9/8/084018 (2014).
- 15 Pfeiffer, A., Millar, R., Hepburn, C. & Beinhocker, E. The ‘2°C capital stock’ for electricity generation: Committed cumulative carbon emissions from the electricity generation sector and the transition to a green economy. *Applied Energy* **179**, 1395-1408, doi:10.1016/j.apenergy.2016.02.093 (2016).
- 16 Pfeiffer, A., Hepburn, C., Vogt-Schilb, A. & Caldecott, B. Committed emissions from existing and planned power plants and asset stranding required to meet the Paris Agreement. *Environmental Research Letters* **Volume 13** (2018).
- 17 Bertram, C. *et al.* Carbon lock-in through capital stock inertia associated with weak near-term climate policies. *Technological Forecasting and Social Change* **90**, 62-72, doi:10.1016/j.techfore.2013.10.001 (2015).
- 18 Johnson, N. *et al.* Stranded on a low-carbon planet: Implications of climate policy for the phase-out of coal-based power plants. *Technological Forecasting and Social Change* **90**, 89-102, doi:10.1016/j.techfore.2014.02.028 (2015).
- 19 Iyer, G. *et al.* Diffusion of low-carbon technologies and the feasibility of long-term climate targets. *Technological Forecasting and Social Change.* **90, Part A**, 103–118, doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2013.08.025> (2015).

- 20 Muratori, M. *et al.* Carbon capture and storage across fuels and sectors in energy system transformation pathways. *International Journal of Greenhouse Gas Control* **57**, 34-41, doi:10.1016/j.ijggc.2016.11.026 (2017).
- 21 Boden, T., Marland, G. & Andres, R. J. Global CO2 emissions from fossil-fuel burning, cement manufacture, and gas flaring: 1751–2008. (Carbon Dioxide Information Analysis Center 2012).
- 22 Angus Maddison. Historical Statistics of the World Economy: 1-2008 AD (<http://www.worlddeconomics.com/Data/MadisonHistoricalGDP/Madison%20Historical%20GDP%20Data.efp>). (2015).