Monografías Instituto Serranía Celtibérica nº 3

El coste social del carbono (CSC): oportunidades en la Serranía Celtibérica

Javier García Pérez (Gamarra)
doctorgamarra@gmail.com

Teruel, 11 de febrero de 2019

Asociación «Instituto de Investigación y Desarrollo Rural. Serranía Celtibérica»

Proyecto I+D+i: HAR2015-68032-P, "*La Serranía Celtibérica y Segeda, el Patrimonio Histórico como motor de desarrollo rural*", financiado por el Ministerio de Economía y Competividad y los fondos FEDER.

(Registro General de Propiedad Intelectual. Solicitud. Nº TE – 8 - 19)

El coste social del carbono: oportunidades en la Serranía Celtibérica

Javier García Pérez (Gamarra)
Consultor Internacional
Departamento Forestal
Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO)
Roma

Este trabajo es un borrador y su contenido es responsabilidad exclusiva de su autor. FAO no se hace responsable del documento y la información en el no conlleva la expresión de ninguna opinión por parte de FAO.

Índice

Páginas

1. Prólogo (Resumen Ejecutivo) ……. 4
2. El cambio climático y sus costes ……...…… 6
3. El Coste Social del Carbono …… 8
4. El precio del Carbono …….. 10
5. Beneficios del mercado de carbon en la Serranía Celtibérica ……. 21
6. Conclusiones: Factorizando la despoblación …….. 27
7. Bibliografía …… 29

1. Prólogo (Resumen Ejecutivo).

El cambio climático representa hoy en día la mayor amenaza para la humanidad, representada por el ingente crecimiento en emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. Sin embargo, parte de estas emisiones es reabsorbida en gran proporción por las áreas forestales.

Capitalizando esta oportunidad, existen diferentes mecanismos nacionales, regionales e internacionales, los cuales, activados y sucesivamente mejorados y ampliados a partir de acuerdos como Kyoto y Paris, intentan promover la compensación por emisiones de CO_2 con incentivos específicos a la absorción de CO_2 por la masa vegetal. Estos incentivos vienen marcados con el establecimiento de unos precios bases por la captura de una tonelada de carbono: el costo social del carbono. Este costo tiene el objetivo de internalizar en el mercado procesos naturales normalmente considerados como externalidades. Como tal, no solo esta sujeto a las variaciones típicas de los mercados, sino también a otros parámetros que intentan pronosticar los daños en los ecosistemas asociados a un futuro más cálido, la precaución o el miedo de los mercados a las posibles consecuencias de estos en un futuro a medio o largo plazo, Hay un pronóstico, sin embargo, que no da lugar a dudas: el costo social del carbono continuara aumentando a lo largo de este siglo, acompañado tanto por el incremento de temperatura y de los efectos cada mas agravados en los ecosistemas, como de la presión social y los costos de en el bienestar humano a lo largo del tiempo.

Precisamente estos pronósticos de incremento de costes asociados a la mitigación del cambio climático son los que ofrecen oportunidades e incentivos para zonas despobladas. Tanto la UE como España a menor medida, están progresivamente desarrollando herramientas de financiación (tanto sistemas de comercio de emisiones como impuestos de carbono) en el mercado del carbono para proyectos que promuevan soluciones para su captura. La Serranía Celtibérica, por sus características asociadas a una inmensa área con potencial para la reforestación y la gestión forestal sostenible, está en una posición única en

el sur de Europa para acometer tales proyectos. Esta posición se aviene casi necesaria debido a la reciente moratoria europea para finalizar los subsidios a la minería del carbón, tradicionalmente muy implantada en Teruel, y a las posibilidades que ofrece el precio del carbono en el mercado, que promete seguir subiendo por encima de la inflación en el futuro próximo.

Actualmente, la UE ofrece directamente al menos dos mecanismos de financiación que pueden tener cabida en la Serranía Celtibérica: el Fondo de Modernización y el de Innovación. Una monetización aproximada de la absorción de carbono en el territorio de estudio cuantifica préstamos actuales de entre 783 y 1223 $ anuales por cada habitante del territorio hacia las zonas industrializadas. Un habitante del territorio **absorbe 61 veces las emisiones que absorbe un español medio**. Las proyecciones futuras del precio del carbono y su internalización a través de mecanismos de subsidio y las oportunidades que existen solo pueden incrementar esta cifra, haciendo de la Serranía Celtibérica un auténtico pulmón en el sur de Europa.

Estableciendo paralelismos con un ambicioso plan reciente en Alemania para la eliminación de la industria del carbón, y basándose en las estimaciones de préstamos ambientales que el territorio ejerce hoy en día, se propone aquí una compensación a lo largo de los próximos 20 años de **entre 6680 y 9140 millones** (de 309 a 457 millones anuales) , que puede venir dada en forma de proyectos e inversiones que atajen la dramática situación demográfica y compensen la pérdida de trabajo en las industrias emisoras de CO_2

2. El cambio climático y sus costes.

El cambio climático y los incrementos en la temperatura que representa, en consonancia con los del dióxido de carbono, han parecido ser de naturaleza antropogénica desde el final del siglo pasado (Hansen et al. 1981). Una gran cantidad de las actividades humanas que producen CO_2 se compensa típicamente por la absorción de CO_2.

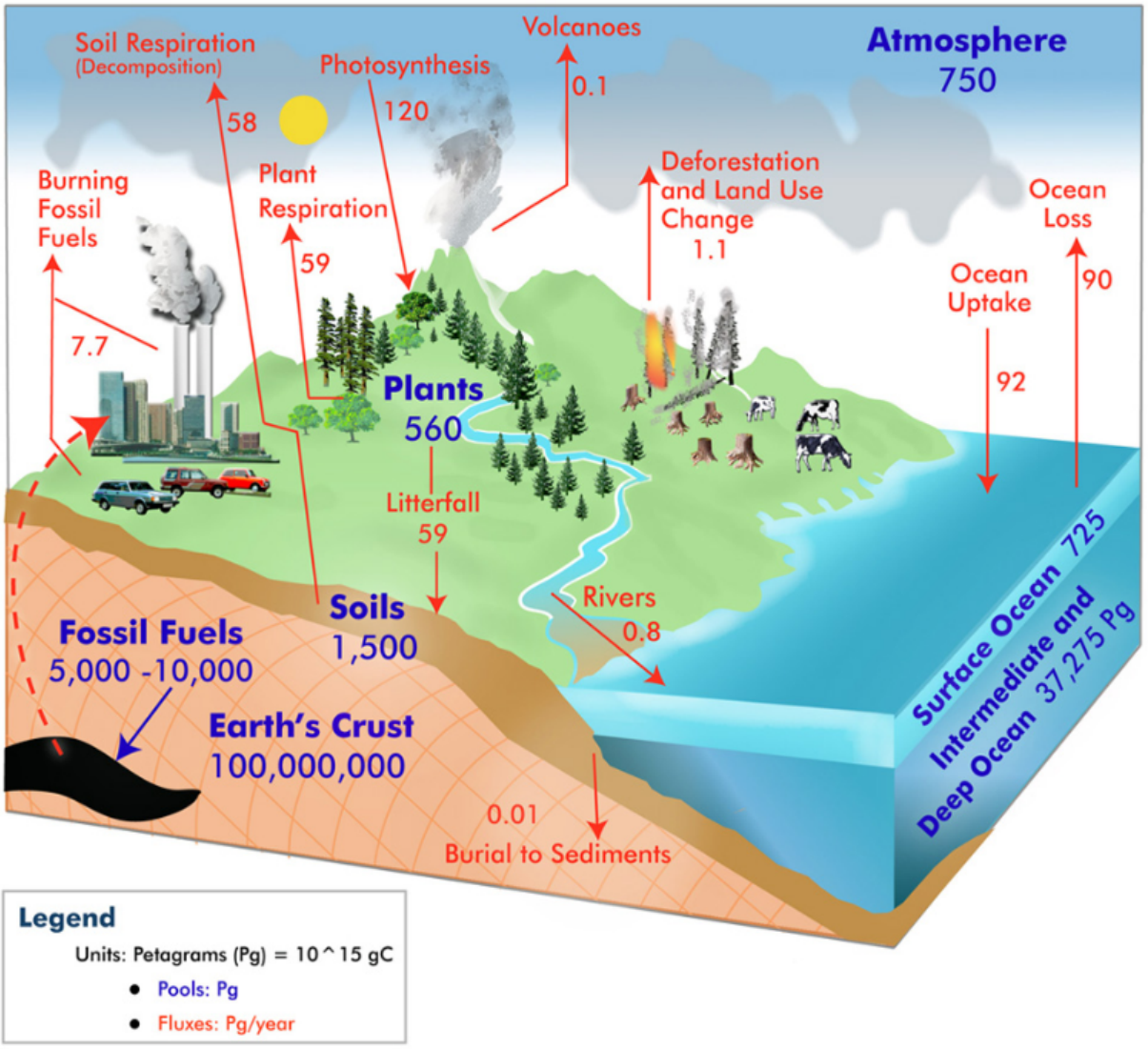

Figura 1. Flujos de carbono, procesos naturales y antropogénicos en el sistema terrestre. Los efectos en las comunidades biológicas, la economía y el bienestar humano dependen de una serie de circuitos de retroalimentación entre varios agentes comprometidos en el presupuesto de carbono. (Moss et al., 2010). Las cifras de emisiones han sido adaptadas a partir de Houghton (2007). Figura del Proyecto GLOBE Carbon Cycle (presupuesto de carbono 2010).

Una gran parte de esta absorción de CO_2 viene dada por la acumulación de carbono en la biomasa forestal. De hecho, los suelos y la vegetación son los principales sumideros de carbono terrestres (Fig. 1). Los flujos más importantes para el balance de CO_2 del clima vienen a través de la producción primaria bruta (asimilación de carbono del aire a través de la fotosíntesis) y de la respiración (liberación de carbono a la atmósfera) por la superficie de la Tierr a y por el intercambio físico entre el aire y el océano (Malhi et al. 2002).

En condiciones "normales", estas dos rutas de transferencia de carbono entre la atmósfera y la tierra o los océanos se encuentran en un equilibrio aproximado durante un ciclo anual, y representan un intercambio total de 210 PgC anuales, de los cuales la mayor proporción (120 PgC anuales) es tomada por la tierra (Prentice et al. 2001). La absorción de los bosques representa la mitad de la fotosíntesis terrestre total (120 PgC anuales). Las cifras actualizadas indican los impactos de los almacenes de biomasa terrestre de 447 PgC (con una incertidumbre que oscila entre 375 y 525 PgC). Éstos conforman el sector de la tierra, que ha sido incluido durante mucho tiempo en los informes de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) y el programa para la Reducción de Emisiones debidas a la Deforestación y la Degradación de los bosques (REDD +) (Erb et al. 2018). De las reducciones totales de CO_2 requeridas para mantener el calentamiento global por debajo de 2 ^{o}C hasta 2030, un tercio proviene potencialmente de la vegetación terrestre (Malhi et al. 2002, Griscom et al. 2017).

A pesar de los múltiples beneficios (ambientales, socioeconómicos, de salud, ..) que una reducción de CO_2 proporciona a nivel global en la mitigación de riesgos asociados al cambio climático, y que hoy en día están apenas monetizados, los responsables políticos han intentado, durante los últimos 50 años, cuantificarlos monetariamente. Estos asumen que la regulación gubernamental (e internacional) puede garantizar que los daños relacionados con el clima derivados de la acumulación de CO_2 se incorporen como costos en el precio de mercado de los combustibles (Westman 1977, Nordhaus 1991).

3. El Coste Social del Carbono.

El coste social del carbono estima los daños económicos asociados a un pequeño incremento en las emisiones de dióxido de carbono en el futuro (en toneladas por año) (Ricke et al. 2018**).** Indirectamente, también mide la disposición de las sociedades a intercambiar su consumo actual por el futuro (Burke et al. 2018).

El CSC también proporciona una sólida base para establecer un previo o un impuesto a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), con el objeto de redirigir tanto el consumo como la producción de los bienes y servicios enfocados en el carbono (Pearce 2003).

Este coste social se ve compensado gracias a la absorción de CO_2 por parte de ciertas actividades o recursos. Estas absorciones tienen forma, a través de esquemas internacionales, de pagos a países con sumideros de carbono por las emisiones que los países desarrollados realizan. Su utilidad directa está recogida en multitud de esquemas internacionales de arquitectura financiera para el clima, tales como REDD+ (**R**educiendo las **E**misiones por **D**eforestación y **D**egradación, y el papel de la conservación, el manejo forestal sostenible y la mejora de los almacenes forestales de carbono en países en vías de desarrollo). Algunos de los flujos financieros del mercado de carbono, en particular para países en desarrollo, se ven reflejados en la Fig. 2. Éstos se distribuyen entre aquellos con financiación gubernamental y aquellos procedentes del mercado de capital.

En particular en el caso de la política de cohesión de la UE, como máximo contribuyente mundial, existen diferentes mecanismos para financiamiento relacionado con el cambio climático a nivel local y regional. Mas de 40,000 millones de euros han sido asignados entre 2014 y 2020 a proyectos en las regiones a través del Fondo Regional de Desarrollo (con otros 25,000 millones cofinanciados nacionalmente). Unas 60 regiones de 20 estados miembros y países vecinos son participantes de estas asociaciones. La UE promueve asimismo la movilización de capital privado destinado a inversiones en economía

baja en carbono para alcanzar las metas de cambio climático del acuerdo de Paris y la agenda 2030 de la UE para Desarrollo Sostenible (European Comission 2017a).

Sin embargo, debido a que una gran proporción de los impactos antropogénicos no tiene un valor de mercado, la disposición a pagar para evitar, o la disposición a aceptar una compensación para soportar los impactos generalmente se usa para representar el valor del CSC y el precio del carbono en el mercado, sea este financiado por instituciones gubernamentales o privadas (Clarkson y Deyes 2002).

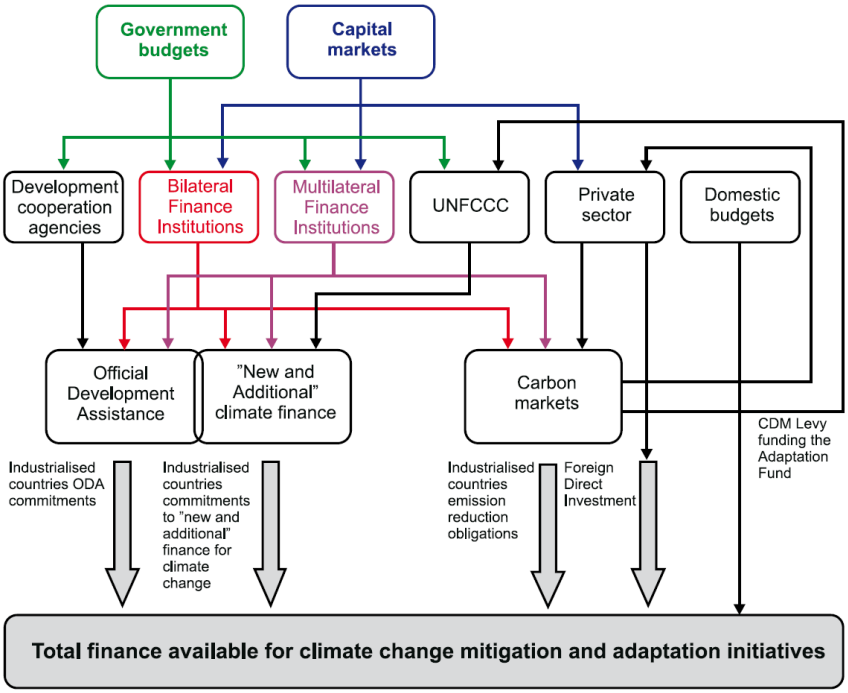

Figura 2. Flujos financieros de mitigación y adaptación para el cambio climático en países en vías de desarrollo. Los mecanismos de CMNUCC (UNFCCC, por sus siglas en inglés) incluyen fondos del Fondo para el Medio Ambiente Mundial y el Fondo para la Adaptación. Fuente: Atteridge et al. (2009)

4. El precio del carbono.

Las estimaciones del CSC son complejas al implicar un gran rango de impactos por emisiones a través del ciclo de carbono e incluir danos económicos derivados del cambio climático (Nordhaus 2017). Estas estimaciones han probado ser sensibles asimismo a las propiedades del clima, como su sensibilidad (Otto et al. 2013) (Fig. 3), y han recibido críticas también por no valorar completamente los daños económicos por las emisiones de dióxido de carbono (Moore et al. 2015).

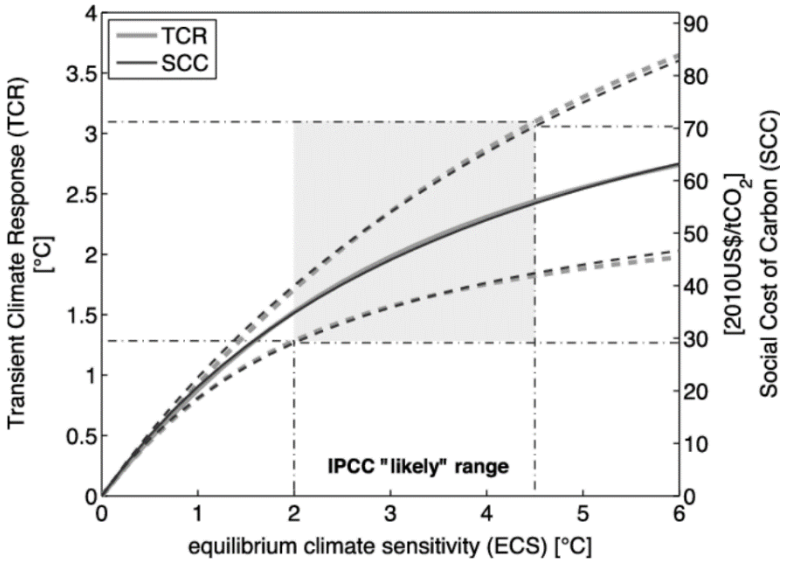

Figura 3. Respuesta climática transitoria (TRC) y costo social del carbono (SCC) en función de la sensibilidad del clima de equilibrio (ECS) bajo simples supuestos sobre el sistema climático del carbono, p. ej., la tasa de descuento efectiva es 2.8%. Fuente: Otto et al. (2013)

Estimar el CSC en un año en particular, digamos 2020, implica cuatro pasos: (i) proyectar la trayectoria futura de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI); (ii) traducir estas emisiones, en escenarios alternativos de cambio climático; (iii) estimar los impactos físicos de estos cambios climáticos en los seres humanos y los ecosistemas; y (iv) monetizar estos impactos y descontar los daños monetarios futuros hasta 2020. El CSC es la diferencia en las valoraciones de daños con y sin la tonelada extra de CO_2, en 2020 (Pizer et al. 2014).

La elección de la tasa de descuento es uno de los parámetros a considerar con mayores consecuencias potenciales a la hora de estimar daños. Por ejemplo, daños de 1000 $ dentro de 50 años valen 228 $ hoy bajo una tasa de descuento del 3% anual, pero solo 87 $ bajo un 5% (Burke et al. 2018). Los valores de CSC que dominan hoy la toma de decisiones

(normalmente tomados a tasas de descuentos relativamente altas) resultan ser importantes subestimaciones, en particular, pero no solo, para una tasa de descuento baja, y límites inferiores de su valor han sido propuestos en un enfoque de precaución para reflejar la aversión al riesgo contra el cambio climático extremo. (van den Bergh y Botzen 2014).

Fuente	**CSC**
Meta-análisis de Tol (2009)	
Media	41 $
Mediana	24 $
Percentil 95%	146 $
Sobrecarga (%) en CSC	
Incertidumbre en las concentraciones de GEI	85%
Inclusión de costes por gran aumento de temperatura	420 %
Permiso para mayores daños en general	277 %
Riesgos de cambio climático de baja probabilidad/alto impacto	200 %
Aversión al riesgo	185%
Aversión al riesgo	70%

Tabla 1. Resumen de los valores de CSC, de acuerdo a van den Bergh y Botzen (2014).

Sin embargo, el uso de una tasa de descuento constante para los beneficios y costos intergeneracionales que es inferior a la tasa utilizada para evaluar los beneficios y costos intergeneracionales puede llevar a inconsistencias en la toma de decisiones. Por ejemplo, si mantenemos la ruta de los daños constante, el CSC en el 2000 hubiese aumentado de 10.70 $ por tonelada de CO2 (en dólares estadounidenses del 2013), utilizando una tasa de descuento constante del 4%, hasta 27.00 $ usando una tasa de descuento decreciente. Así, un programa de tasa de descuento decreciente, como lo usan los gobiernos de Francia y el Reino Unido significa que todos los beneficios y costos que se producen en un año dado se descuentan a la misma tasa, pero esta tasa disminuye con el tiempo (Arrow et al. 2013, Revesz et al. 2014).

El rango de valores de CSC reportados en la literatura es muy disperso (Tol 2009), con más de 300 valores de estimaciones de CSC, con promedios de 41 $ y percentiles al 95% de 146 $ por tCO2. Van den Bergh y Botzen estudiaron la variabilidad existente en las estimaciones, y las posibles sobrecargas debidas a incertidumbres y procesos que no han sido tenidos en cuenta en estas estimaciones clásicas, tales como la tasa de descuento, incertidumbres, grandes daños, y aversión al riesgo (Tabla 1). Concluyen que valores de CSC por debajo de 125 $ son muy improbables si se asumen tasas bajas de descuento, eventos climáticos de baja probabilidad/alto impacto y aversión al riesgo en los mercados.

Dado que las proyecciones de emisiones y los impactos climáticos se incrementarán en los próximos 80 años, algunos estudios han intentado también establecer posibles evoluciones del precio del carbono respecto a una posible política de tasas de carbono. El crecimiento exponencial indica que el crecimiento a lo largo de este siglo del precio del carbono puede forzar a la sociedad en general a imponer mayores esfuerzos monetarios en la mitigación y adaptación (Fig. 4). Partiendo de las estimaciones actuales alrededor de 40 $ por tCO_2, se pueden esperar valores de 100 $ por tCO_2 en 2050 sin tener en cuenta las sobrecargas mencionadas anteriormente (Lontzek et al. 2015). El riesgo asociado a la presencia de puntos críticos que tornan el clima irreversible se ha mostrado que puede incrementar el CSC de 14 a 116 $ por tCO_2 (Cai et al. 2016).

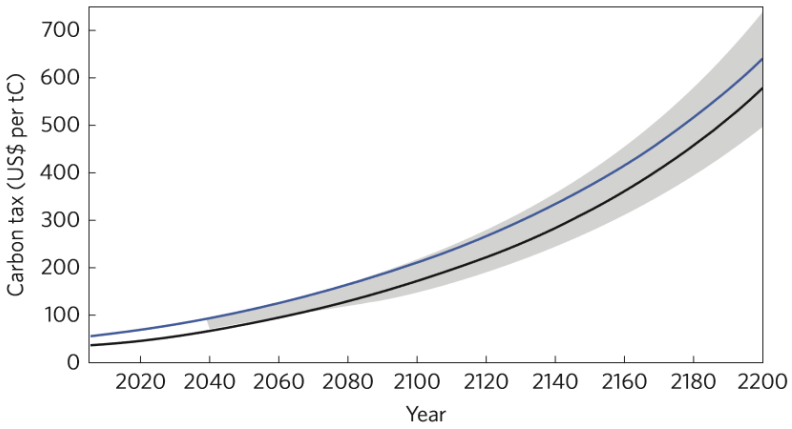

Figura 4. Evolución del impuesto o tasa de carbono óptimo. La línea negra indica el impuesto bajo una versión mínima en la que el responsable de la toma de decisiones ignora los riesgos asociados a puntos críticos (aquellos en los que el sistema clásico se hace irreversible) (Lontzek et al. 2015)

Si uno considera otros elementos, como posibles predicciones en el desarrollo de tecnologías limpias, los escenarios más ambiciosos para eliminar las emisiones de dióxido de carbono tan rápidamente como sea tecnológicamente factible (alcanzando cero o emisiones globales netas negativas para fines de este siglo) requieren gastar hasta 150-500 $ por tonelada de reducción de emisiones de dióxido de carbono para 2050 (Ackermann y Stanton 2011).

Todos estos elementos claramente apuntan a la necesidad de un enfoque de precaución para la política climática, dada la importancia de eventos inciertos, pero potencialmente dañinos, irreversibles y globales asociados con las condiciones climáticas cambiantes. La cota inferior al CSC de 125 $ por tonelada de CO_2 es inferior a diversas estimaciones que se encuentran en la literatura que atribuyen al alto peso potencialmente grandes impactos del cambio climático.

Las estimaciones proporcionadas se calculan a nivel global. Sin embargo, un punto final a tener en cuenta en cuanto al uso práctico del CSC, concierne la elección de cuánto peso deben tener los impactos antropogénicos fuera de la jurisdicción que considera el CSC. En los Estados Unidos, algunos han cuestionado la legalidad del uso de estimaciones globales de CSC (Gayer y Vicusi 2014). Por otro lado, la desagregación del CSC puede incentivar discusiones sobre la responsabilidad climática al proporcionar una manera tangible de cuantificar las desigualdades históricas, que luego podrían informar la financiación de la mitigación, la adaptación y los costos de pérdidas y daños en aquellos países o territorios que han contribuido menos al calentamiento histórico (Matthews 2016). Aunque hay poco acuerdo sobre la distribución del CSC por región o país, (excepto por el punto de que el CSC de cada país está muy por debajo del total global). El coste social del carbono por país (CSCP) captura la cantidad de daño marginal (o si es negativo, el beneficio) que se espera que ocurra en un país determinado. Esta estimación regional representa los daños marginales de las emisiones para un país o región en particular, es decir, el CSC cuando solo se incluyen en el cálculo los daños a esa región en particular. En un comportamiento no cooperativo, los esfuerzos nacionales serán determinados por los CSC nacionales en lugar del CSC global y, por lo tanto, serán mucho más bajos (Nordhaus 2015). En general, cuando se hace una desagregación por país, aquellos países con pronósticos (bajo

escenarios de cambio climático poco extremos) positivos en cuanto al crecimiento de su economía, tienden también a contar con CSCPs negativos.

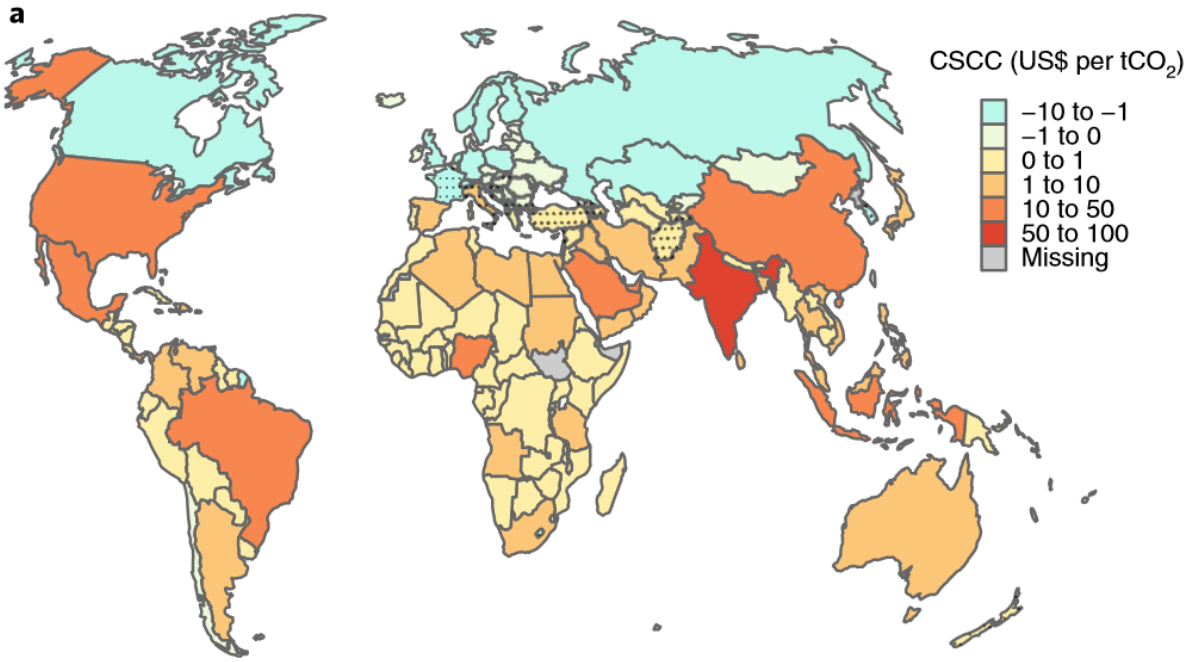

Figura 5. Distribución espacial de las medianas de los CSCP (CSCC por sus siglas en inglés) calculados para un escenario especifico de referencia de cambio climático y una tasa de descuento ajustada al crecimiento del 2% (Ricke et al. 2018). Los países con CSCP negativos tienden a aparecer con valores positivos en los pronósticos de su economía bajo cambio climático.

Esto podría llevar a pensar que no hay deuda de carbono que aportar por parte de muchos países del hemisferio norte. Sin embargo, desagregando el coste social del carbono global por países y en una base per cápita, en general se puede apreciar como individuos "deudores de clima" son nacionales de países desarrollados, poco poblados o productores de petróleo, mientras los "acreedores" vienen de países superpoblados y en vías de desarrollo (Fig. 6, Matthews 2016). Este ranking coincide con el del costo marginal de reducción de emisiones, el cual coloca a la EU en valores de CSC entre 45 y 177 $ tCO_2 (Fig. 7, Aldy et al. 2016), proporcionando valores realistas y factibles del precio del carbono aplicado como una tasa armonizada a nivel global.

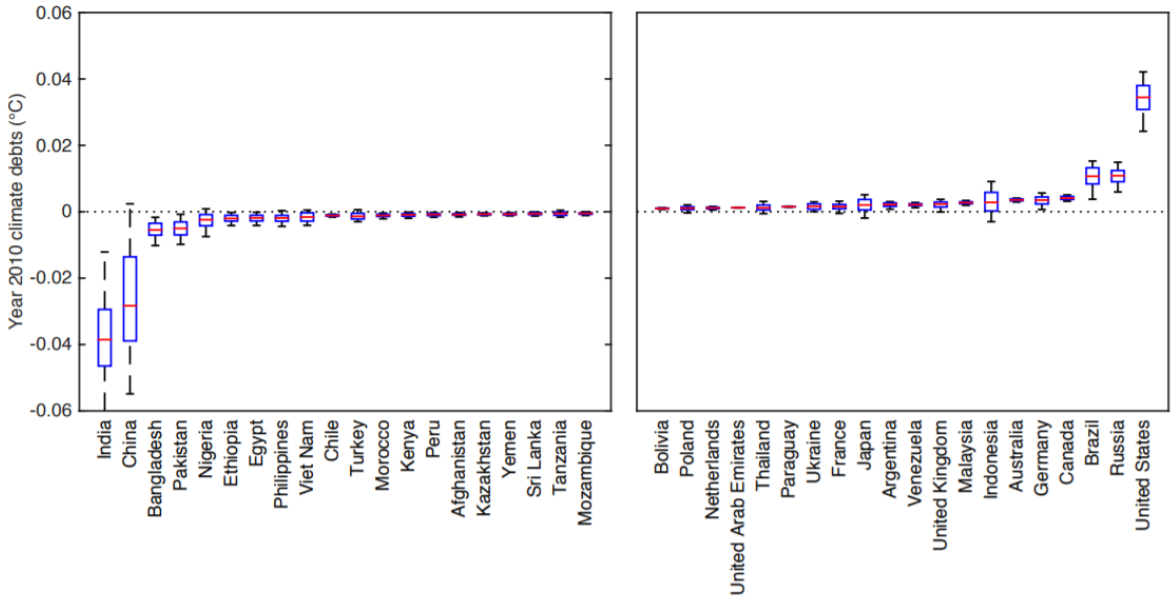

Figura 6. Deudas climáticas (en °C) nacionales en el año 2010 para los 20 principales acreedores (izquierda) y deudores (derecha), que muestra el efecto de la introducción de acciones per cápita modificadas de aumentos históricos de temperatura (Matthews 2016).

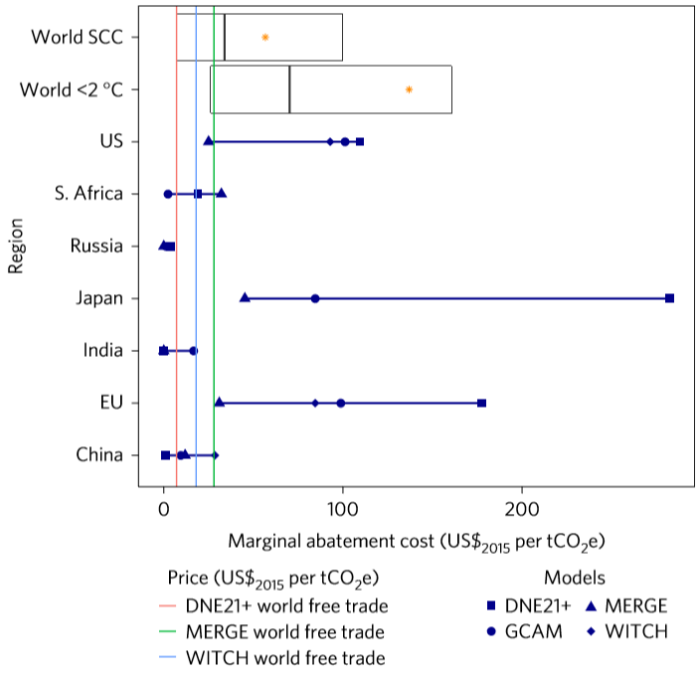

Figura 7. Promedio de costos marginales de reducción para 2025–2030. Las líneas roja, azul y verde muestran los costos marginales pronosticados por tres modelos que asumen un mercado internacional del carbono con libre comercio de permisos de CO_2 o un impuesto mundial armonizado sobre el carbono (Aldy et al. 2016).

4.1. Iniciativas en el precio del carbono.

Hay dos tipos principales de precios de carbono: los sistemas de comercio de emisiones (ETS por sus siglas en ingles) y los impuestos al carbono.

Un *ETS*, a veces denominado también sistema de límites máximos y comercio, limita el nivel total de emisiones de gases de efecto invernadero y permite que las industrias con bajas emisiones vendan sus permisos adicionales a emisores más grandes. Al crear la oferta y la demanda de derechos de emisión, un ETS establece un precio de mercado para las emisiones de gases de efecto invernadero. El límite ayuda a garantizar que se realicen las reducciones de emisiones necesarias para mantener a los emisores (en total) dentro de su presupuesto de carbono asignado previamente.

Un *impuesto al carbono*, por otro lado, fija directamente un precio al carbono al definir una tasa impositiva sobre las emisiones de gases de efecto invernadero o, más comúnmente, sobre el contenido de carbono de los combustibles fósiles. Es diferente de un ETS en que el resultado de reducción de emisiones de un impuesto al carbono no está predefinido, pero el precio del carbono sí lo está.

La elección del instrumento dependerá de las circunstancias nacionales y económicas. También hay formas más indirectas de fijar precios de carbono con mayor precisión, como a través de los impuestos sobre el combustible, la eliminación de los subsidios a los combustibles fósiles y las regulaciones que pueden incorporar un CSC. Las entidades privadas o soberanas pueden comprar reducciones de emisiones para compensar sus propias emisiones (las llamadas compensaciones) o para apoyar actividades de mitigación a través de financiamiento basado en resultados.

Muchos de estos incentivos en efectivo se ha probado que contribuyen a evitar la deforestación además de contribuir al sustento y beneficiar comunidades en zonas marginales en países en vías de desarrollo (p.ej., Jayachandran et al. 2017). Para calcular estos beneficios, se han usado valores de CSC estandarizados, como la estimación de la Environmental Protection Agency (EPA) estadounidense para el costo social del carbono a

US $ 39 por tonelada emitida, utilizando una tasa de descuento del 3% para valores futuros (Cárdenas 2017).

Unos 40 países y más de 20 ciudades, estados y provincias ya utilizan mecanismos de fijación de precios del carbono, con más planes para implementarlos en el futuro (ver Fig. 1 en World Bank y Ecofys 2018). En conjunto, los esquemas de fijación de precios del carbono ahora en su lugar cubren aproximadamente la mitad de sus emisiones, lo que se traduce en aproximadamente el 13 por ciento de las emisiones mundiales anuales de gases de efecto invernadero. La última revisión de las tendencias en precios de carbono actualmente implementándose sitúa un precio del sistema de comercio de emisiones de la UE a 16 $ tCO_2e. Si se trabaja con impuestos sobre el carbono, España carga 25 $ por tonelada. El máximo hoy en dia viene dado por la carga impositiva sueca, a 149 $ tCO_2e (Fig. 8, World Bank y Ecofys 2018).

Sin embargo, estas iniciativas presentes se encuentran hoy en día en fases diferentes de implementación. Por ejemplo, en España se encuentra en funcionamiento el ETS de la UE desde 2005, mientras que el impuesto o tasa de carbono nacional empezó a ver la vida en 2017. Así, ambos están implementados o programados, pero en el caso del impuesto de carbono, este solamente se implementa para los gases F, o sea, hidrofluorocarbonos y perfluorocarbonos (Fig. 9), que siguen al final de las reducciones de tipos temporales que estaban en vigor después de la introducción del impuesto en 2014 (Agencia Tributaria de España 2016). Por tanto, solamente cubre un 2% de las emisiones de gases de efecto invernadero cubiertas en el país (World Bank y Ecofys, 2018).

Hay un número creciente de actividades que fomentan el intercambio de información e investigan modalidades para la cooperación en la fijación de precios del carbono entre los gobiernos, como un enlace planificado entre la UE y Suiza ETS. Además, están aumentando los esfuerzos conjuntos más amplios que unen a organizaciones, , actores no estatales, organizaciones no gubernamentales y diferentes socios.

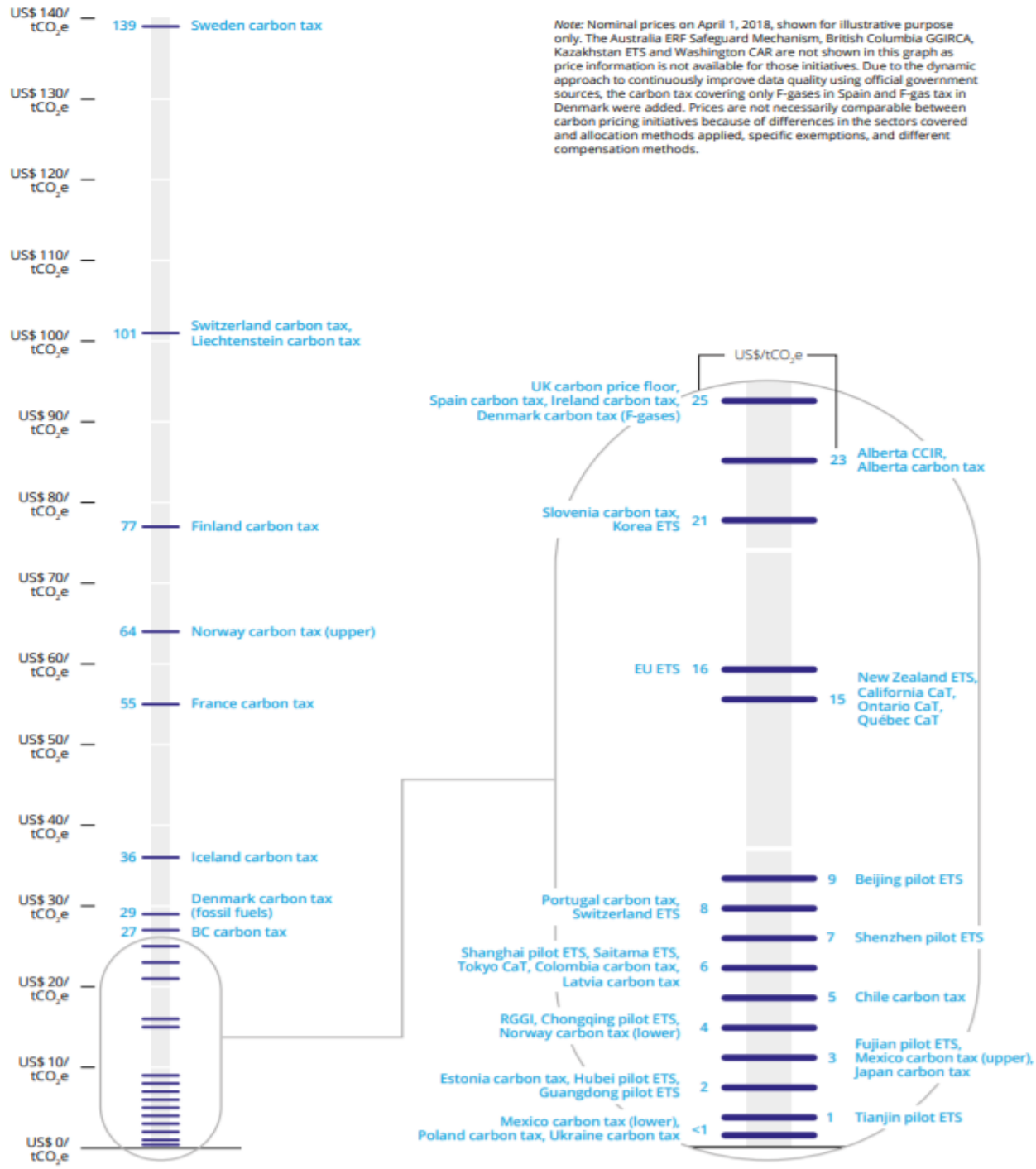

Figura 8. Precios en las iniciativas de precios de carbono que han o están siendo implementadas. Fuente: World Bank y Ecofys (2018).

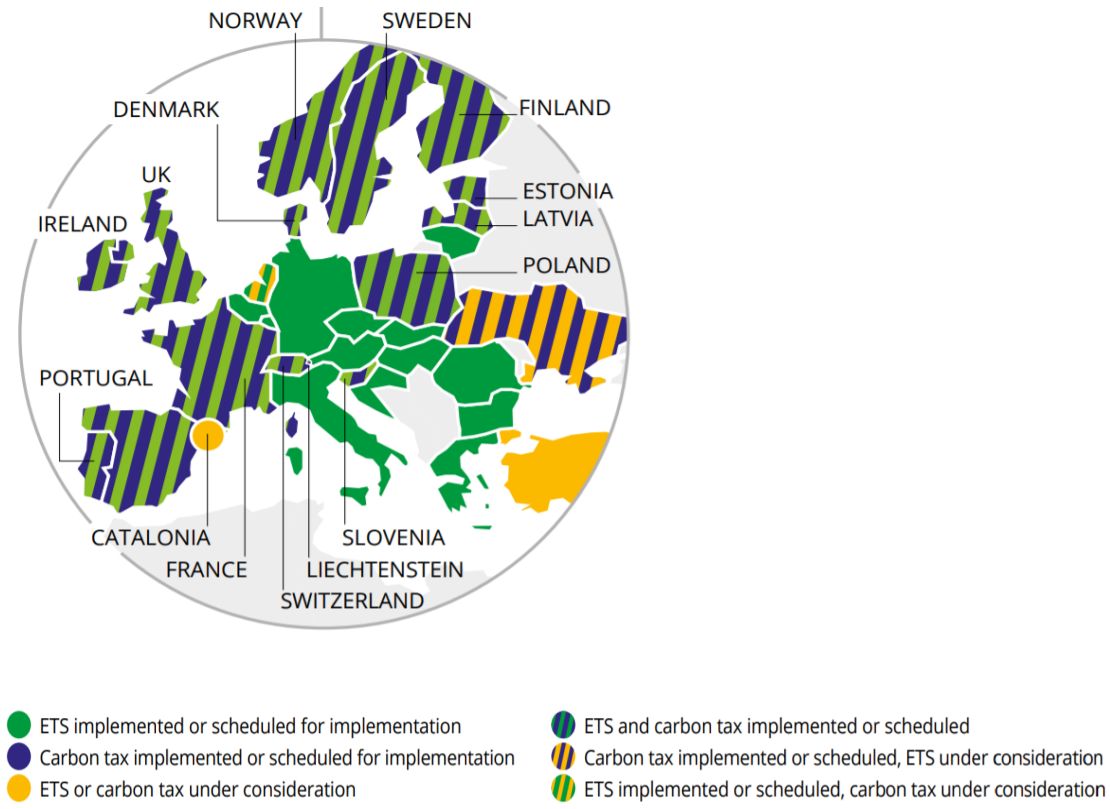

Figura 9. Iniciativas nacionales y subnacionales europeas de precios de carbono implementadas, programadas para su implementación y bajo consideración (ETS e impuesto al carbono)[1]. Fuente: World Bank y Ecofys (2018).

Una gran parte de las iniciativas registró incrementos en los precios del carbono en 2018 contrastados con los niveles de precios en 2017. Un cambio considerable fue la evolución del precio de la porción de la Unión Europea de 5 € por tCO2e a 13 € por tCO2e (7 $ por tCO2e a 16 $ por tCO2e) tras eliminar cierta incertidumbre sobre el destino final de las ETS de la Unión Europea en el período posterior a 2020 (European Comission 2017b). El ETS de la UE sigue siendo la principal fuente de ingresos por precios de carbono debido

[1] Nota: Las iniciativas de fijación de precios del carbono se consideran "programadas para su implementación" cuando se han recibido formalmente a través de su promulgación y tienen una fecha de inicio oficial y acordada. Las actividades de valoración del carbono se consideran "en consideración" si la administración ha informado su intención de trabajar en la ejecución de una actividad de evaluación del carbono y esto ha sido afirmado formalmente por las autoridades gubernamentales. Las actividades de valoración del carbono se han caracterizado en el ETS y los impuestos al carbono, según lo indica la forma en que funcionan de técnicamente.

a su tamaño, cubriendo el 45% de las emisiones de GEI en su jurisdicción. Alrededor de US $ 22 mil millones del ascenso 2017-2018 en la valoración completa de ETS e impuestos de carbono se acreditan al precio aumentado de la UE. Además, el ETS de la UE está duplicando temporalmente la tasa de retención anual de las asignaciones de excedentes en una reserva de estabilidad del mercado (MSR por sus siglas en ingles) en 2019 al 24% de 2021 a 2023 después de un largo período de exceso de oferta para amortiguar incertidumbres en el mercado.

La legislación en el ETS esta actualmente sufriendo rápidas transformaciones. Los legisladores aprobaron formalmente cambios al ETS de la UE en febrero de 2018. Éstos se actualizarán en la cuarta fase (2021-230) e incorporarán cambios en la designación de derechos y cuotas de emisión (European Parliament 2018). Los cambios también presentaron dos sistemas de financiamiento de bajas emisiones de carbono para la etapa 4: el Fondo de Modernización y el Fondo de Innovación. El Fondo de Modernización se utilizará para ayudar a las inversiones en eficiencia energética y la modernización del sector energético en los Estados Miembros con bajos ingresos, y se financiará en un 2% de los ingresos por subasta asignados. El Fondo de Innovación brindará ayuda monetaria para proyectos de demostración en la industria de alto consumo energético, fuentes de energía sostenible y la captura y almacenamiento/uso de carbono. Este fondo será financiado por la liquidación de 400 millones de derechos de uso de emisiones; además, 50 millones de derechos de uso de emisiones sin asignar de la Fase 3 (2013-2020) se reservarán para esta reserva. Después de 2025, es posible que se agreguen estipendios adicionales a los dos fondos, en la remota posibilidad de que estos derechos no se necesiten para corregir ineficiencias intersectoriales (World Bank y Ecofys 2018),

Mientras, la UE se está centrando en eliminar los subsidios a las fuentes de energía no renovables y no rentables para 2025 (Gençsü et al. 2017), y sus estados miembros se comprometieron a empezar a desarrollar planes para una reducción progresiva en 2020.

5. Beneficios del mercado de carbono en la Serranía Celtibérica.

La situación de desestructuración demográfica en la Serranía Celtibérica (Mozota et al. 2014, Martín 2018) así como ciertos aspectos de la conservación del patrimonio en la zona (Vinuesa y Torralba 2018) ha sido ampliamente discutidos antes.

Indirectamente (por su mención especifica a las zonas de montaña), también se ha hecho hincapié en las posibilidades que ofrece la captura de CO2 en las despobladas orografías ibéricas. En la Comisión del Senado Español sobre Despoblación en Zonas de Montaña (Cortes Generales 2015), D. Manuel Pizarro Moreno, presidente del Patronato del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, comentó:

"En cuanto a CO2 ya anticipo algo sobre lo que ha preguntado el senador Blasco.. Las eléctricas tienen que estar comprando mecanismos de desarrollo limpio a países que no han firmado el Protocolo de Kioto. Si me permiten la boutade, como ya decía en Endesa, el mundo lo estamos salvando en Teruel, en León y también una parte en Castilla-La Mancha… la mitad de las emisiones son de coches y casas, que no cuentan; resulta que donde hay más población hay más coches y casas, pero eso no cuenta, así que ya estamos en contra de los despoblados.

En segundo lugar, los países que emiten más CO2, como Estados Unidos, China, India y Rusia no han firmado Kioto, y seguramente dos tercios de la otra mitad que nos queda de emisiones no puntúa. Es decir, que estamos en el tercio de la mitad, que es prácticamente solo el 15 %. Y de ese 15 % hay otra cuestión, y es que en el Protocolo de Kioto se dice que los países que desde 1991 en adelante emitan más del 15 % tienen que pagar, así como los países que, siendo más sucios en el 91, como sucede con el caso de Alemania Oriental, hayan achatarrado todo lo ineficaz y no emitan más del 15 %. Resulta que es un impuesto sobre el desarrollo. Entonces, como digo, el mundo lo estamos salvando prácticamente los españoles, porque en proporción aquí se ha desarrollado mucho más económicamente que en otros países que emiten más per cápita o más por unidad de PIB, y dentro de España, principalmente los del carbón, que son León, provincia despoblada, Castilla-La Mancha y sobre todo Teruel. Es decir, que una provincia con seis habitantes por kilómetro cuadrado

es la que más está ensuciando el medio ambiente de todo el mundo. Eso no puede ser, y por tanto, hay que buscar mecanismos o elementos de fijación de CO2, elementos de fijación de la huella de carbono. Esto es algo que se puede calcular. Según las especies arbóreas o vegetales se puede saber cuántas toneladas de CO2 se pueden fijar, y lo que habría que hacer es que alguien lo certifique, que las empresas españolas o extranjeras que quieran comprar mecanismos de desarrollo limpio lo puedan hacer, y que eso se pueda aplicar a políticas de territorio donde hay especies arbóreas. Normalmente donde hay grandes bosques no hay muchas personas, suelen ser áreas de montaña y eso se puede establecer.."

En este informe se intenta establecer ese cálculo aproximado que mencionaba Manuel Pizarro para el territorio de la Serranía Celtibérica, con una aproximación al calculo de almacenes anuales por ha en el área. Se han usado los datos aproximados reportados por Vayreda et al. (2012), quien, a partir de datos de campo del Inventario Forestal Nacional (IFN) calcularon crecimiento y mortalidad en bosques españoles. Los autores concluyeron, asimismo, que la gestión forestal sostenible puede incrementar la acumulación de almacenes de CO_2 cuando tales políticas quedan reflejadas *in situ*.

Puesto que los cálculos se efectúan en unidades de C (Mg C por ha y año) absorbido, es importante destacar la equivalencia de estas unidades con las unidades utilizadas en equivalencia de CO_2 para los cálculos de compensaciones por emisiones. Para el cálculo de compensaciones (para carbono absorbido) se debe contabilizar solamente el cambio en un periodo de tiempo (no el carbono. acumulado). Así, una tonelada (o Mg) de carbono absorbido equivale a 3.67 toneladas de CO_2 emitido.

El estudio de Vayreda et al. (2012) (Fig. 10) muestra los incrementos en las existencias de carbono. Éstos presentan valores por encima de 2.5 en zonas como los pinares de Lubia y puntos del tercio Norte de la Serranía Celtibérica en Soria, así como zonas llanas de La Rioja (probablemente por la existencia de choperas de crecimiento rápido). Los valores mínimos llegan a ser negativos (es decir, con emisiones en vez de absorciones) en las zonas sin presencia de bosques, tales como La Bureba en Burgos, el campo de Gómara en Soria, el valle del Jiloca, o la confluencia con La Mancha en Cuenca. En general, las absorciones

de CO_2 son mayores en el tercio norte del territorio en estudio (macizos de Demanda, Urbión y Cebollera, así como la sierra de Ayllón).

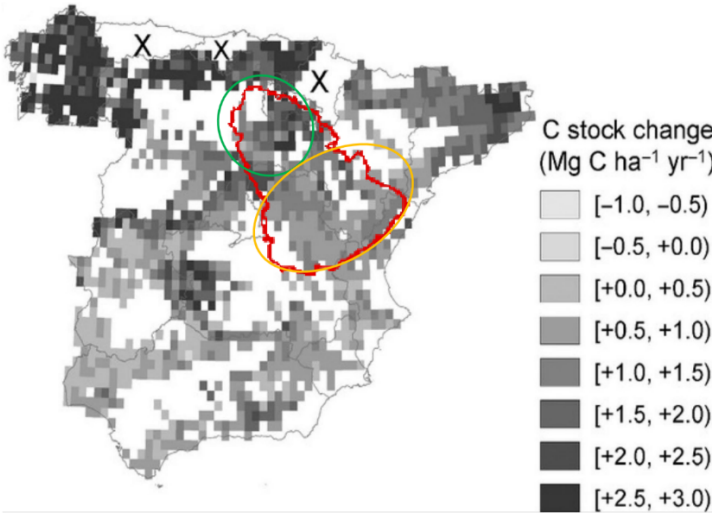

Figura 10. Distribución del cambio de existencias de C (Mg C por ha y año) en la España peninsular a una resolución espacial de 10 ′ × 10 ′ grados. Los valores trazados son la media de la variable correspondiente de todos los gráficos del IFN incluidos en la celda. Las cruces negras indican regiones sin datos disponibles. En rojo, los límites de la Serranía Celtibérica. En verde y amarillo, el tercio superior y los dos tercios inferiores del territorio, destacando la mayor absorción de CO_2 en el tercio superior. Fuente: Vayreda et al. (2012).

¿Cuánto carbono anual absorbe entonces actualmente la Serranía Celtibérica? Un cálculo aproximado, teniendo en cuenta la baja resolución proporcionada por los mapas de Vayreda et al., podría estimarse alrededor de 6 millones de toneladas (Tabla 2), con una media a baja (0.95 tC por ha y año) absorción media de carbono. La superficie ocupada por el monte es de un 77 % del territorio, aunque una gran proporción es de monte bajo o matorral. Una elevada proporción del bosque se encuentra en este momento en fase de regeneración natural debido al abandono relativamente reciente de muchas parcelas agrícolas. Es en los estadios jóvenes de monte bravo y latizal cuando las absorciones de CO2 se presumen más importantes, aunque una gestión forestal continuada del bosque maduro que evite una excesiva acumulación de madera muerta (que emite CO2), puede también contribuir en la captura de carbono. Es importante tener en cuenta que este valor estimado no incluye el carbono presente en el suelo, potencialmente relevante en suelos forestales.

Los incrementos de existencias de carbono en el territorio que nos ocupa no son de los más altos en el país en conjunto. Éstos se dan en la cordillera cantábrica, Galicia y Gerona,

debido a la abundancia de precipitaciones y la existencia de plantaciones de crecimiento rápido como eucalipto o pino insigne en esas zonas, así como en los montes de Toledo. Sin embargo, la extensión de la Serranía Celtibérica y las oportunidades que presenta un territorio mayormente abandonado y en gran parte ofrecen recursos para absorción de CO_2 como una de las alternativas posibles a la rehabilitación del territorio.

Territorio	**Densidad (hab/km^2)**	**CO_2e total absorbido (TgCO_2e/año)**	**CO_2e absorbido per cápita (tCO_2e/año)**	**CSC UE ETS per cápita ($/año)**	**CSC tasa de carbono España per cápita ($/año)**
Lugo	36.04	9.175	25.69	411.04	642.25
A Coruña	144.2	8.26	7.34	117.44	183.5
Girona	126.53	7.34	9.54	152.64	238.5
Serranía Celtibérica	**7.2**	**22.2**	**48.91**	**782.56**	**1222.75**

Tabla 2. Valores aproximados de densidad de población, equivalentes de CO2 absorbidos (CO_2e) totales y per cápita, y CSC per cápita (en dólares EE. UU.) para dos escenarios ejemplo, el ETS estándar de la UE (16$ tCO_2e), y la tasa de carbono de España (25$ tCO_2e, aunque esta se aplica solo para los gases F, o sea, hidrofluorocarbonos y perfluorocarbonos) ver Fig. 8). Los valores han sido calculados para tres áreas del país con elevada absorción de CO_2 por ha. Unidades de Teragramos (Tg) corresponden a un millón de toneladas. El valor de densidad de población para la Serranía Celtibérica corresponde a la última estimación de Burillo-Cuadrado y Burillo-Mozota (2108).

Los valores calculados del CSC per cápita para el territorio que nos ocupa alcanzan entre 783 y 1223 $ por año (Tabla 2). Sin embargo, otros escenarios son posibles. Actualmente, el precio de la UE de los derechos de emisión está estipulado en 24.8 € (28.29 $), el cual supondría 1383.66 $ per cápita en la Serranía Celtibérica. En una comparativa conservativa a nivel nacional, asumiendo que las zonas no forestales no emiten CO_2 y un valor medio de 1.4 tCO_2 por año de absorción media en los bosques españoles (Vayreda et al. 2012**), un habitante de la Serranía Celtibérica absorbe un mínimo de 61.2 veces más emisiones que el español medio**.

Por otro lado, la evolución del mercado del carbono implica que este solo puede aumentar, doblando el valor actual hacia el año 2050, bajo los supuestos más conservadores (ver la línea negra determinista en la Fig. 4). Esta situación proporciona múltiples oportunidades para el futuro, especialmente en áreas con baja densidad de población, bajo uso de la tierra, y con grandes superficies susceptibles de reforestación y gestión forestal sostenible.

El cálculo de las posibles reducciones en las emisiones requiere un trabajo que va más allá del ámbito de este trabajo. Por tanto, más allá de los valores estimados aproximados de los cambios existentes hasta la fecha, es pura especulación sin un plan real y amplio de acciones de compensación de emisiones. Sin embargo, cualquier esquema que potencialmente pueda ser usado en el territorio en los que respecta a posibles inversiones provenientes de cualquiera de las modalidades del mercado de carbono, tiene que asegurar en todo caso la sostenibilidad de las acciones compensatorias de emisiones. Esto implica una labor de institucionalización en el territorio que asegure la continuidad de las medidas y actividades a realizar a lo largo del tiempo, así como la colaboración continua con la población, para evitar errores muchas veces encontrados antes, como los esquemas de repoblaciones masivas forzosas por la expropiación de tierras. Dos áreas destacan aquí: 1) la forestación o reforestación de tierras abandonadas, normalmente sitas en áreas mas fértiles, puede proporcionar crecimientos relativamente altos y por tanto mayor absorción por ha, 2) la gestión forestal sostenible, la cual tendrá un efecto mucho más positivo en la absorción de CO_2 a medida que el cambio climático avance durante el siglo (Vayreda et al. 2012)

Precisamente son estas áreas las que, debido a estas condiciones, representan un valor del CSC mucho mas elevado, y al menos, en una apreciación per cápita, se pueden considerar las que tienen auténticos pulmones. No es arriesgado entonces adivinar que la Serranía Celtibérica podría considerarse ***el pulmón del sur de Europa***.

El 26 de Enero de 2019 (Eddy 2019), una comisión gubernamental alemana formada por representantes de la industria eléctrica, el movimiento ambientalista, mineros y grupos de interés locales, ha definido un plan para acabar con el uso del carbón en 2038. Aunque el

plan todavía necesita la aprobación gubernamental, el plan ya cuenta con unos presupuestos de compensación de 40,000 millones de euros destinados a las regiones carboníferas de Brandenburgo, Sajonia, Sajonia-Anhalt, y Renania del Norte-Westfalia, reflejando el plan más ambicioso hasta ahora de entre los 30 países que han hecho propuestas para la eliminación del carbón.

Teniendo en cuenta un cálculo aproximado establecido sobre la estimación conservativa del préstamo ambiental que ahora mismo la Serranía Celtibérica ejerce, tomando como base la Tabla 2, no sería desventurado establecer, para un periodo de tiempo similar de 20 años, compensaciones totales de entre 6680 y 9140 millones de euros (de 309 a 457 millones anuales), que pueden venir dadas en forma de proyectos e inversiones que atajen la dramática situación demográfica y compensen la pérdida de trabajo en las industrias emisoras de CO_2.

6. Conclusiones: Factorizando la despoblación.

Las áreas de montaña en la Península Ibérica resultan particularmente apropiadas para emprender acciones de mitigación de emisiones de cambio climático, ya sea este dentro de un mercado doméstico o europeo de carbono. Esta singularidad se ve aún más reflejada en el caso de la Serranía Celtibérica. Aunque los bosques del norte absorben más carbono, ***son los habitantes de la Serranía Celtibérica los auténticos "pulmones" del sur de Europa***.

Sin embargo, todavía hoy esas compensaciones no aparecen fiscalizadas bajo un esquema aceptado de internalización de pagos por servicios de los ecosistemas. Si territorializásemos además las fuentes de emisión, la falta de industria o ganadería intensiva en la Serranía inflaría aún mucho más esa ***deuda de carbono*** hacia esta zona.

Tango la gestión forestal sostenible como un programa sensible y sostenible de reforestación constituyen herramientas no solo de mitigación del cambio climático, sino posibles contribuciones a la hora de mantener puestos de trabajo y en la lucha contra la deforestación, sobre todo a raíz del reciente cese de la minería de carbón en la UE, previamente estipulado como compromiso (World Bank y Ecofys, 2018).

Por tanto, la absorción de C se puede maximizar:

- En zonas sin bosque, reforestando (o facilitando la regeneración natural)
- En zonas con bosque maduro, evitando excesiva acumulación de materia muerta que respira, no absorbe C.

Las tendencias climáticas apuntan a aumentos de temperatura de 1.2-1.5 grados Celsius en el territorio. Incluir estos pronósticos conlleva también varios puntos a tener en cuenta:

- Puede haber un ligero descenso en absorción de CO_2 que puede compensarse con un manejo óptimo del área forestal.
- El pago por compensación de CSC puede generar empleos e incrementar la absorción.

- El incremento en absorción, unido al incremento en el CSC debido a inflación, el uso de tasas de descuento, las expectativas por cambio climático y el cese reciente de la minería del carbón, fuente reciente y muy importante de emisiones en la Serranía Celtibérica, predice un futuro en el que solo se puede esperar más generación todavía de pagos por compensación en el área.
- Una política de pago de compensaciones por absorción de gases de efecto invernadero antropogénicos puede así generar un ciclo de retroalimentación positiva de gran beneficio para la Serranía Celtibérica, que podría contribuir a la reducción de la despoblación. Mecanismos europeos como el Fondo de Modernización y el Fondo de Innovación pueden proporcionar oportunidades en este aspecto.

Finalmente, se propone, basándose en las estimaciones conservadoras de préstamos ambientales que el territorio ejerce hoy en día, una compensación a lo largo de los próximos 20 años de **entre 6680 y 9140 millones de euros**, que puede venir dada en forma de proyectos e inversiones que atajen la dramática situación demográfica y compensen la pérdida de trabajo en las industrias emisoras de CO_2.

7. Bibliografía

Ackerman, F. y Stanton, E.A., 2011. Climate risks and carbon prices: Revising the social cost of carbon, No 2011-40, *Economics Discussion Papers*, Kiel Institute for the World Economy (IfW), https://EconPapers.repec.org/RePEc:zbw:ifwedp:201140.

Agencia Tributaria de España, 2016. *Informe Anual de Recaudación Tributaria*. *Año 2016*. Servicio de Estudios Tributarios y Estadísticas.

Aldy, J., Pizer, W., Tavoni, M., Reis, L.A., Akimoto, K., Blanford, G., Carraro, C., Clarke, L.E., Edmonds, J., Iyer, G.C. y McJeon, H.C., 2016. Economic tools to promote transparency and comparability in the Paris Agreement. *Nature Climate Change*, *6* (11), p.1000.

Arrow, K., Cropper, M., Gollier, C., Groom, B., Heal, G., Newell, R., Nordhaus, W., Pindyck, R., Pizer, W., Portney, P. y Sterner, T., 2013. Determining benefits and costs for future generations. *Science*, *341* (6144), pp.349-350.

Atteridge, A., Siebert, C.K., Klein, R.J., Butler, C. y Tella, P., 2009. *Bilateral finance institutions and climate change: A mapping of climate portfolios*. Stockholm Environment Institute (SEI).

Burillo-Cuadrado, M.P. y Burillo-Mozota, F., 2018. *Las regiones desfavorecidas de España ante la política de cohesión 2021 – 2027*. Monografías Instituto Serranía Celtibérica, 2.

Burke, M., Davis, W.M. y Diffenbaugh, N.S., 2018. Large potential reduction in economic damages under UN mitigation targets. *Nature*, *557* (7706), p.549.

Cai, Y., Lenton, T.M. y Lontzek, T.S., 2016. Risk of multiple interacting tipping points should encourage rapid CO 2 emission reduction. *Nature Climate Change*, *6* (5), p.520.

Cárdenas, J.C., 2017. Behavioural economics: Cash incentives avert deforestation. *Nature Climate Change*, *7* (10), p.688.

Clarkson, R. y Deyes, K., 2002. *Estimating the Social Cost of Carbon Emissions*. London: HM Treasury.

Cortes Generales, 2015. Comisión especial de estudio sobre las medidas a desarrollar para evitar la despoblación de las zonas de montaña. *Diario de Sesiones del Senado. X Legislatura, 441, pp. 2-8.*

Eddy, M., 2019. Germany lays out a path to quit coal by 2038. *The New York Times*. 26 Jan. http://www.nytimes.com/2019/01/26/world/europe/germany-quit-coal-2038.html.

Erb, K.H., Kastner, T., Plutzar, C., Bais, A.L.S., Carvalhais, N., Fetzel, T., Gingrich, S., Haberl, H., Lauk, C., Niedertscheider, M. y Pongratz, J., 2018. Unexpectedly large impact of forest management and grazing on global vegetation biomass. *Nature*, *553* (7686), p.73.

European Commission, 2017a. *Questions and answers on EU and Climate finance*. European Commission – Fact Sheet. Acceso: January 29, 2019. http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-17-5224_en.htm.

European Commission, 2017b. *Amending Directive 2003/87/EC to Continue Current Limitations of Scope for Aviation Activities and to Prepare to Implement a Global Market-Based Measure from 2021*.

European Parliament, 2018. *Cost-Effective Emission Reductions and Low-Carbon Investments*, Acceso 29 Enero, 2019, http://www.europacceso 29 Enero, 2019, http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=TA&langrl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=TA&language= EN&reference=P8-TA-2018-0024.

Gayer, T. y Viscusi, W.K., 2014. Determining the proper scope of climate change benefits. *Washington, DC: The Brookings Institution*.

Gençsü, I., McLynn, M., Runkel, M., Trilling, M., van der Burg, L., Worrall, L., Whitley, S. y Zerzawy, F., 2017. *Phase-out 2020: monitoring Europe's fossil fuel subsidies*. Overseas Development Institute. https://www.odi.org/sites/odi.org.uk/files/resource-documents/11762.pdf

Griscom, B.W., Adams, J., Ellis, P.W., Houghton, R.A., Lomax, G., Miteva, D.A., Schlesinger, W.H., Shoch, D., Siikamäki, J.V., Smith, P. y Woodbury, P., 2017. Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *114* (44), pp.11645-11650.

Hansen, J., Johnson, D., Lacis, A., Lebedeff, S., Lee, P., Rind, D. y Russell, G., 1981. Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide. *Science*, *213* (4511), pp.957-966.

Houghton, R.A., 2007. Climate change: state of the art (2001–2007). *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, *35*, pp.313-347.

Jayachandran, S., De Laat, J., Lambin, E.F., Stanton, C.Y., Audy, R. y Thomas, N.E., 2017. Cash for carbon: A randomized trial of payments for ecosystem services to reduce deforestation. *Science*, *357* (6348), pp.267-273.

Lontzek, T.S., Cai, Y., Judd, K.L. y Lenton, T.M., 2015. Stochastic integrated assessment of climate tipping points indicates the need for strict climate policy. *Nature Climate Change*, *5* (5), p.441.

Malhi, Y., Meir, P. y Brown, S., 2002. Forests, carbon and global climate. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, *360* (1797), pp.1567-1591.

Martín, A.G., 2018. La demografía es el destino, Laponia nos invade. *bie3: Boletín IEEE*, (9), pp.148-183.

Matthews, H.D., 2016. Quantifying historical carbon and climate debts among nations. *Nature Climate Change*, *6* (1), p.60.

Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., Van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T. y Meehl, G.A., 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, *463* (7282), p.747.

Mozota, F.B., Cuadrado, M.P.B., Terrado, P.R., Budría, E.R., Gracia, J.A.G. y Burriel, C.L., 2014. Serranía Celtibérica: un proyecto de desarrollo sostenible. En *Nuevos hallazgos, nuevas interpretaciones: VII Simposio sobre Celtíberos* (pp. 511-518).

Nordhaus, W.D., 1991. A sketch of the economics of the greenhouse effect. *The American Economic Review*, *81* (2), pp.146-150.

Nordhaus, W.D., 2015. Climate clubs: Overcoming free-riding in international climate policy. *American Economic Review*, *105* (4), pp.1339-70.

Nordhaus, W.D., 2017. Revisiting the social cost of carbon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, p.201609244.

Otto, A., Todd, B.J., Bowerman, N., Frame, D.J. y Allen, M.R., 2013. Climate system properties determining the social cost of carbon. *Environmental Research Letters*, *8* (2), p.024032.

Moore, F.C. y Diaz, D.B., 2015. Temperature impacts on economic growth warrant stringent mitigation policy. *Nature Climate Change*, *5* (2), p.127.

Pearce, D., 2003. The social cost of carbon and its policy implications. *Oxford Review of Economic Policy*, *19* (3), pp.362-384.

Pizer, W., Adler, M., Aldy, J., Anthoff, D., Cropper, M., Gillingham, K., Greenstone, M., Murray, B., Newell, R., Richels, R. y Rowell, A., 2014. Using and improving the social cost of carbon. *Science*, *346* (6214), pp.1189-1190.

Prentice, I.C., Farquhar, G.D., Fasham, M.J.R., Goulden, M.L., Heimann, M., Jaramillo, V.J., Kheshgi, H.S., LeQuéré, C., Scholes, R.J. y Wallace, D.W., 2001. *The Carbon Cycle and Atmospheric Carbon Dioxide*. Cambridge University Press.

Revesz, R.L., Arrow, K.J., Goulder, L.H., Howard, P., Kopp, R.E., Livermore, M.A., Oppenheimer, M. y Sterner, T., 2014. Improve economic models of climate change. Nature, *508*, pp. 173-175.

Ricke, K., Drouet, L., Caldeira, K. y Tavoni, M., 2018. Country-level social cost of carbon. *Nature Climate Change*, *8* (10), p.895.

Tol, R.S., 2009. The economic effects of climate change. *Journal of Economic Perspectives*, *23* (2), pp.29-51.

Van Den Bergh, J.C. y Botzen, W.J., 2014. A lower bound to the social cost of CO_2 emissions. *Nature climate change*, *4* (4), p.253.

Vayreda, J., Martínez-Vilalta, J., Gracia, M. y Retana, J., 2012. Recent climate changes interact with stand structure and management to determine changes in tree carbon stocks in Spanish forests. *Global Change Biology*, *18* (3), pp.1028-1041.

Vinuesa, M.Á.T. y Torralba, L.T., 2018. Visión territorial del patrimonio y sostenibilidad del turismo. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (78), pp.212-244.

Westman, W.E., 1977. How much are nature's services worth?. *Science*, *197* (4307), pp.960-964.

World Bank y Ecofys, 2018. *State and Trends of Carbon Pricing 2018* (May). World Bank, Washington, DC. doi: 10.1596/978-1-4648-1292-7.