

IMPACTO DEL DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS DE CAPTURA, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE CO₂ EN EL SECTOR ELÉCTRICO*

ÁNGELES CÁMARA

ROSA SANTERO

Universidad Rey Juan Carlos

MARÍA ISABEL MARTÍNEZ

Abay Analistas Económicos

JUAN JIMÉNEZ

Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial

La reducción de emisiones de CO₂ es uno de los objetivos principales del Protocolo de Kioto para la lucha contra el cambio climático a nivel global. Un instrumento fundamental para lograr una reducción significativa de las emisiones es la incorporación de tecnologías de captura, transporte y almacenamiento del CO₂ en los procesos productivos energéticos. El desarrollo y la utilización comercial de estas tecnologías suponen un elevado coste, siendo necesario conocer su impacto económico, social y medioambiental. En este artículo se lleva a cabo una evaluación de dichos impactos debidos a las inversiones iniciales necesarias para la implementación de estas tecnologías en el sector eléctrico español. Para llevar a cabo este análisis se utiliza un modelo multisectorial que permite identificar los sectores económicos que se ven más beneficiados por las inversiones tanto directa como indirectamente. Adicionalmente, se utilizan estadísticas del mercado laboral para analizar el tipo de empleo creado durante el desarrollo de las infraestructuras necesarias.

Palabras clave: captura de CO₂, impacto económico, impacto medioambiental, impacto social, sector eléctrico, tecnologías CAC.

Clasificación JEL: C67, Q43, Q52.

El sector de la energía es uno de los que con mayor intensidad y desde hace más tiempo ha venido utilizando las herramientas de prospectiva para analizar los posibles escenarios alternativos con los que se puede enfrentar la sociedad en relación con los recursos, la generación eléctrica y el uso final de la energía. Aspectos relacionados con el crecimiento de la demanda y de los precios de

(*) Este trabajo se apoya en los resultados del proyecto “Implicaciones socioeconómicas del desarrollo tecnológico y comercial de la CAC”, promovido y financiado por la Asociación de la Plataforma Tecnológica Española del CO₂ (PTECO₂) (www.pteco2.es). El proyecto se ha desarrollado bajo la dirección del Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial (OPTI). Actualmente, OPTI se ha fusionado con la Fundación EOI, habiendo pasado a ser una unidad funcional dentro de la misma.

los diferentes combustibles, las expectativas de desarrollo de las distintas fuentes disponibles, la evolución de las tecnologías y las consideraciones medioambientales, fundamentalmente la reducción de las emisiones de CO₂, son algunos de los temas críticos que afectan al panorama energético a corto, medio y largo plazo.

Desde la segunda mitad del siglo XX, la producción de energía se ha incrementado utilizando fundamentalmente combustibles fósiles, y esto ha traído aparejado un incremento de las emisiones de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero (GEIs) a la atmósfera, provocando un calentamiento a nivel global. Este fenómeno ha trascendido el ámbito meramente científico, donde existe un amplio consenso en torno a la realidad del fenómeno, y se ha constituido en el centro de una polémica geopolítica, económica y social.

En el momento actual, las tecnologías de Captura, Transporte y Almacenamiento de CO₂ (CAC¹) se pueden considerar como uno de los instrumentos fundamentales y más prometedores para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente en algunos sectores, como el energético y el industrial. Los Estados firmantes del Protocolo de Kioto, incluyendo la Unión Europea (UE), están apostando por la investigación y el desarrollo de estas tecnologías, tanto en proyectos a nivel nacional como en grandes proyectos participados por varios países.

La Unión Europea es consciente de que resulta necesario “descarbonizar” la generación de electricidad y por ello ha realizado grandes inversiones en las últimas décadas en proyectos de I+D que permiten la comercialización de tecnologías de CAC. Para conseguir este objetivo es necesario que se demuestre que dichas tecnologías resultan eficientes. En julio de 2014 la Comisión Europea ha propuesto mejorar la eficiencia energética un 30% para el 2030, con el fin de reducir el consumo y disminuir así la dependencia energética de la Unión Europea. Este último objetivo junto con el de reducir un 40% las emisiones de gases de efecto invernadero y conseguir una cuota de renovables del 27%, componen la política de la UE en materia de energía y cambio climático para el año 2030.

Al igual que la UE, España ha suscrito diferentes compromisos internacionales que le obligan a tomar medidas para controlar las emisiones de gases de efecto invernadero. La política energética del país está vinculada, en el horizonte más próximo, a través del Compromiso 2020, que se centra en alcanzar un 20% de reducción en las emisiones de GEIs sobre las cifras de 1990², un 20% de reducción en el consumo de energía, también con referencia a 1990, promoviendo mayor eficiencia energética³ y conseguir que el 20% de la energía primaria consumida proceda de fuentes renovables⁴. A más largo plazo, a través del Compromiso 2050, la UE se compromete a reducir para ese año las emisiones de GEIs en un 80-95% por debajo de los niveles de 1990⁵.

(1) CAC en sus siglas en español. En inglés se reconoce por las siglas CCS (Carbon Capture and Storage).

(2) Consejo Europeo de marzo de 2007.

(3) Comunicación de la Comisión de 19 de octubre de 2006: “Plan de acción para la eficiencia energética: realizar el potencial”.

(4) Comunicación de la Comisión de 10 de enero de 2007: Programa de trabajo de la energía renovable – Las energías renovables en el siglo XXI: construcción de un futuro más sostenible.

(5) Comunicación de la Comisión Europea del 15 de diciembre de 2011: “Energía: Hoja de ruta para el año 2050”.

En este contexto, diversos organismos e instituciones consideran que las tecnologías CAC son una herramienta efectiva dentro del abanico de posibilidades que puede emplearse para cumplir los objetivos ambientales (Ministerio de Medio Ambiente, 2007, Sala y Oltra, 2010). Las tecnologías para la descarbonización de la producción de energía y de ciertas actividades industriales desempeñarán un papel preeminente en la transición hacia un sistema energético internacional más sostenible y con un menor impacto medioambiental. Su importancia estará en función de la relevancia estratégica que se confiera a la consecución de los objetivos de reducción de emisiones comprometidos internacionalmente para los horizontes temporales señalados y a la evolución de la demanda energética en ese periodo de tiempo.

En el caso de las emisiones originadas por la actividad industrial, la International Energy Agency (IEA, 2012, pág. 5) asigna a las tecnologías CAC un papel muy relevante:

“La captura y almacenamiento de CO₂ sigue siendo fundamental a largo plazo. La CAC se perfila hoy en el horizonte como la única tecnología que permitirá a las industrias (tales como la del acero y el hierro, el cemento o el procesamiento de gas natural) cumplir con los objetivos de drástica reducción de las emisiones”.

Dado que los precios de los combustibles fósiles están sometidos a inesperados cambios debido a factores sociopolíticos, la descarbonización del sistema energético es un factor fundamental en la política energética, pues un descenso en los precios podría provocar un aumento insostenible en las emisiones de GEIs. Según la International Energy Agency (2015), en el caso de la captura y almacenamiento de carbono (CAC) el descenso de precios de los combustibles fósiles reduce los costes asociados a la penalización energética que conlleva añadir la CAC a la generación de energía. A su vez, la capacidad de la CAC para permitir el uso de recursos fósiles sin dejar de contribuir a los objetivos de reducción de emisiones de CO₂ requiere la implantación por parte de los gobiernos de mercados que estimulen la inversión privada en la CAC. Según la IEA, integrar la captura de carbono, mejorar la eficiencia de utilización de los recursos, reutilizar flujos de procesos residuales e identificar aplicaciones alternativas para productos diversificados deben ser objetivos intersectoriales.

En resumen, las tecnologías de captura, transporte y almacenamiento de CO₂ aparecen como un recurso para combatir el cambio climático, cuyo grado de implantación definitivo estará condicionado en cada país por su capacidad de abastecimiento energético, la demanda final de energía, consideraciones políticas o de carácter geoestratégico, la evolución de los precios de los combustibles fósiles y el ritmo de mejora tecnológica, tanto en las tecnologías CAC como en las energías renovables.

En este contexto, el trabajo que aquí se presenta evalúa el impacto que tendría en España la implantación de las tecnologías CAC en el sector eléctrico, ya que este sector aporta una cuarta parte de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero generadas (Cámara *et al.*, 2013). Para la construcción del escenario técnico se ha realizado un análisis de fuentes secundarias y documentación existente y se han llevado a cabo entrevistas con expertos. La evaluación de impacto se instrumenta a través de la metodología *Input-Output*⁶ y el horizonte temporal considerado es el

(6) Una descripción de esta metodología puede encontrarse en Lahr and Dietzenbacher (2001) y en Miller and Blair (1985).

2030. Los resultados del análisis permiten cuantificar, por primera vez en el ámbito nacional, las consecuencias de la incorporación de estas tecnologías en el sector, obteniéndose una serie de indicadores económicos y medioambientales tradicionales con este tipo de metodología. Además, se ha incorporado en la metodología un vector de empleo que aproxima el impacto social y un vector de emisiones que amplía y complementa la aportación ambiental y económica.

Por lo tanto, el objetivo principal de esta investigación se centra en medir el impacto socioeconómico y ambiental que tendría el desarrollo en España del programa de captura, transporte y almacenamiento geológico de CO₂ (el Programa⁷, para el resto del documento) diseñado con el asesoramiento técnico de la Plataforma Tecnológica Española del CO₂ (PTECO₂).

Los objetivos específicos derivados son los siguientes:

1. Estimar el valor de las inversiones necesarias vinculadas al desarrollo de las tecnologías CAC en el sector eléctrico, según el escenario técnico, para cada fase⁸: captación, transporte y almacenamiento, e identificar las ramas de actividad receptoras directas de dichas inversiones.
2. Calcular el impacto directo e indirecto en la economía española de la ejecución de las inversiones vinculadas al desarrollo del Programa⁹.
3. Estimar el número de empleos (directos e indirectos) creados durante el periodo en el que se ejecuten las inversiones, así como las ramas de actividad protagonistas de la creación de empleo.
4. Profundizar en el tipo de empleo creado. Esta aportación es novedosa en la literatura sobre el tema, pues no se limita a cuantificar el empleo, sino que, además, se detalla la distribución por sexo, nivel de estudios, tramos de edad y ámbito de residencia de los/as trabajadores/as, permitiendo dar una aproximación al impacto social en cuanto a la diversificación del empleo, especialmente para personas con dificultades en el acceso al mismo.
5. Estimar las emisiones de CO₂ vinculadas a la ejecución de las inversiones del Programa y ponerlas en relación con la reducción de las mismas que la captura provocaría.

El artículo se estructura como sigue. En el siguiente apartado se presenta una revisión de la literatura sobre el tema. En el apartado 2 se detalla la metodología utilizada para el diseño del escenario técnico y para el análisis de impacto. En el apartado 3 se incluyen los resultados económicos, medioambientales y sociales y, por último, se cierra con las principales conclusiones.

(7) El diseño del escenario técnico del Programa se detalla en el apartado 3.2.

(8) Gran parte de la literatura se centra en la primera fase de captura y pocos trabajos incluyen las fases de transporte y almacenamiento.

(9) El impacto sobre la operación y mantenimiento de las mismas no es objeto de este artículo, si bien se incluye en el proyecto "Implicaciones socioeconómicas del desarrollo tecnológico y comercial de la CAC" del que parte este estudio.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La implantación de las tecnologías de captación de CO₂ de forma particular, o integrada en el resto de fases de transporte y almacenamiento, ha sido evaluada a nivel nacional e internacional tanto desde el punto de vista técnico, como económico y medioambiental. El desarrollo de las diferentes tecnologías CAC se ha visto reflejado en un crecimiento de la literatura específica, que abarca desde estudios de evaluación económica de los costes de implantación de las tecnologías de captación en una central térmica hasta la evaluación de la rentabilidad de estas tecnologías en un país o el impacto económico y ambiental a nivel nacional.

Cada tipo de estudio lleva asociada una metodología concreta, que va desde una valoración monetaria de los costes de captura o de la producción de electricidad con y sin tecnologías de captación, hasta modelos globales de análisis de ciclo de vida, para la estimación de todas las consecuencias medioambientales que conlleva la implementación de estas tecnologías o modelos de impacto económico y ambiental. Estos últimos incluyen además de la evaluación a nivel económico a través de las Tablas Input-Output (TIO) nacionales, el análisis de las consecuencias ambientales a través de un vector ambiental agregado a las TIO y los efectos sociales, medidos a través del tipo de empleo generado, que es la aproximación que se desarrolla en esta investigación.

Los trabajos centrados en la medición de los costes asociados a la tecnología son fundamentales para fijar las bases en el análisis de impacto y poder cuantificar las inversiones necesarias, así como los costes de operación y mantenimiento de las mismas. En este sentido, autores como Herzog (1998, 1999) o Finkenrath (2011) aportan información sobre los costes de electricidad desglosados en capital, fuel y operación y mantenimiento, producción de energía neta y CO₂ emitido, para varios tipos de planta y tecnologías. En ambos casos, se centran en la fase de captación y compresión del CO₂ y no aportan información sobre las fases de transporte y almacenamiento. Rammerstorfer y Roland (2011) sí incluyen costes de transporte, diferenciando si el transporte es por ferrocarril o por tuberías; asimismo, también aportan información sobre el coste del almacenamiento dependiendo de la posición geográfica y si es en alta mar o en tierra.

En España, el Grupo de Trabajo de Conama 10 para la Captura y Almacenamiento del CO₂ (coordinado por A. Cámara) presenta un exhaustivo análisis sobre el estado de la cuestión desde el punto de vista legislativo y técnico de estas tecnologías, presentando información actualizada e incorporando referencias de los proyectos nacionales e internacionales más importantes en cada una de las fases. En cuanto a análisis económico, incluye un apartado de estimación de costes actualizados, partiendo de las referencias de EEUU que presentó el IEA en 2008, y se especifica que, en ningún caso, se tiene información sobre costes de transporte y almacenamiento.

Una parte importante de la literatura se centra en evaluar la inversión de la tecnología frente a los derechos de emisión. Una de las primeras aproximaciones sobre el cálculo de los costes de mitigación de GEIs en España se encuentra en Ocaña (2004), que los calcula a través del déficit de los permisos de emisión otorgados a los sectores incluidos en el mercado de CO₂ europeo o EU-ETS. Para un precio estimado de 10-20 euros/tonelada, el coste para España de cumplir el protocolo de Kioto se situaría entre 150 y 300 millones de euros. La principal limitación de este

tipo de estudios es que únicamente consideran los costes de los sectores incluidos en el EU-ETS (aproximadamente el 50% de las emisiones de GEIs) y que, además, no tienen en cuenta los impactos indirectos que se generan. Los gobiernos determinan mediante Planes Nacionales de Asignación los permisos que recibirá cada instalación y autorizan que se intercambien a un precio de mercado. En un primer momento, muchos de los derechos de emisión se concedieron gratuitamente a las centrales eléctricas, pero desde principios de 2013 algunas empresas tienen que comprar todos sus derechos mediante subasta, mientras que otras deben comprar una proporción que aumenta todos los años. Actualmente la Comisión Europea está trabajando en reducir el volumen de permisos de emisión a partir de 2021 y hasta 2030 en un 2,2 % anual de media, pero seguir manteniendo el mismo nivel de subasta, lo que en la práctica se traduce en menos autorizaciones gratuitas.

Algunos trabajos evalúan la opción de instalar unidades de captura de CO₂ dentro de las plantas de energía y para ello calculan el valor presente neto esperado de la inversión a partir del valor presente neto de los derechos de emisión y los correspondientes al transporte y almacenamiento, a los costes de operación y mantenimiento, al desembolso de la inversión y de la pérdida de eficiencia en la producción de electricidad [Abadie y Chamorro (2008); Sarkis y Tamarkin (2005)].

Por último, se presentan los trabajos más relevantes en relación a la metodología que se desarrolla en esta investigación. Como señala De la Rúa (2009), los compromisos adquiridos con la firma del protocolo de Kioto para un desarrollo sostenible, y las líneas de acción derivadas de las políticas gubernamentales en esta materia, deben estar apoyados por herramientas capaces de analizar su impacto en las economías que implanten dichas tecnologías.

Las herramientas que de forma parcial o total consideran los principales aspectos económicos y ambientales del desarrollo sostenible son, principalmente, el Análisis del Ciclo de Vida, el Análisis Input Output y los Modelos de Equilibrio General Aplicado.

La metodología de Análisis del Ciclo de Vida (ACV) evalúa el impacto medioambiental de un producto a lo largo de su ciclo vital, desde la extracción de las materias primas hasta el momento del deshecho del bien analizado. Analiza las entradas de materia y energía en un sistema y las salidas del mismo a la naturaleza en forma de productos, co-productos, emisiones y residuos. Es un método complejo que requiere del seguimiento de una serie de etapas con los límites bien definidos (procesos que deben ser integrados, asignación de consumos interrelacionados, subproductos, ...). Es una herramienta que analiza adecuadamente los aspectos medioambientales, sin embargo, deja de lado aspectos económicos que condicionan de manera importante la toma de decisiones. Un ejemplo de esta metodología se puede encontrar en Badea *et al.* (2010), que hacen una comparativa entre tecnologías para producir electricidad a partir de gas natural y de carbón examinando las emisiones en el ciclo de vida de tres tipos de planta de energía.

A principios de los noventa, el Green Design Group (GDG), de la Universidad Carnegie Mellon, de Pittsburg (EEUU) comenzó a considerar la posibilidad de utilizar los análisis económicos Input-Output como una alternativa o aproximación complementaria a las herramientas que ya existían, desarrollando el modelo Economic Input-Output Life Cycle Assessment (EIO-LCA) para Estados Unidos. Esta herramienta permite medir los efectos directos e indirectos medioambientales y socioe-

conómicos asociados a un cambio en la demanda de un bien o servicio a lo largo de todas las etapas de su ciclo de vida. El cambio en la demanda viene generado por el desarrollo e implementación de proyectos, inversiones o estrategias. Un ejemplo de este tipo de análisis es el trabajo de De la Rúa (2009).

El Análisis Input-Output es una herramienta económica utilizada para medir los impactos directos e indirectos en la economía asociados a un cambio en la demanda de bienes y servicios. El marco de contabilidad de un territorio (a nivel nacional, regional o multi-regional) es la base del análisis que se realiza en este trabajo. Las actividades económicas están divididas en sectores de producción y los datos observados son flujos de bienes y servicios de un sector (productor) a otro (comprador) en un periodo de tiempo determinado. A partir de un conjunto de tablas interrelacionadas, donde las diferentes actividades económicas se agregan en ramas de actividad, se pueden obtener los coeficientes técnicos, que expresan los consumos intermedios que una rama hace de los bienes o servicios producidos por otra, para obtener una unidad de producto.

A partir de los años 70, se sugieren ampliaciones a este modelo teniendo en cuenta factores medioambientales. Leontief sugirió añadir una nueva fila y columna a la matriz de coeficientes técnicos para describir la cantidad de contaminante generado por unidad monetaria de producción de cada rama de actividad (Miller y Blair, 1985). Se consideran los efectos medioambientales como variables exógenas al modelo Input-Output y se añade un vector al modelo que describe los efectos medioambientales de cada rama por unidad de producción total de esa misma rama (Hendrickson *et al.*, 1998). En los años 90 comienza a aplicarse esta extensión del análisis Input-Output y a considerarse una metodología adecuada para el ACV.

El Marco Input-Output es una referencia en la bibliografía especializada para conocer los impactos económicos de las inversiones en infraestructuras en cualquiera de las ramas de actividad de un país. Sin embargo, algunos autores han utilizado la información de las Tablas Input-Output en una fase previa al análisis de impacto, para conocer qué procesos son más sensibles a la reducción de emisiones de CO₂ (Taracón y Del Río, 2004), o como dato de partida en alguna de las fases de los modelos de equilibrio general (Telli *et al.*, 2008 para Turquía o González-Eguino, 2011 en España).

Otro tipo de modelos construidos a partir de las tablas Input-Output son los Modelos de Equilibrio General Aplicado (MEGA). Estos modelos utilizan una Matriz de Contabilidad Social, que se obtiene ampliando las tablas Input-Output con información de contabilidad nacional. El objetivo principal de los MEGA es conseguir ser una representación empírica, lo más próxima posible, a las características reales de la estructura económica que es objeto de análisis. En España, Gómez (2007) y González-Eguino (2011) utilizan esta metodología.

A continuación, se presentan algunos estudios de impacto económico a través de Tablas Input-Output, ordenados temporalmente, dentro del ámbito internacional y nacional.

A nivel internacional, el modelo EPPA (Emissions Prediction and Policy Analysis) del MIT (Babiker *et al.*, 2001) es uno de los principales modelos de equilibrio general desarrollado para analizar la política de cambio climático en la economía mundial. McFarland, *et al.* (2001) exploran la economía de las tecnologías de cap-

tura de CO₂ aplicadas a plantas de generación de electricidad utilizando el modelo EPPA. Los autores modelizan dos de las tecnologías más prometedoras¹⁰ (plantas de ciclo combinado de gas natural y plantas de gasificación integrada de ciclo combinado de carbón) especificándolas en la función de producción y ofrecen resultados para diferentes escenarios políticos. Para identificar los costes del modelo, los autores se basan en el análisis de David y Herzog (2000) sobre costes actuales de la tecnología y posibles mejoras técnicas. En el cálculo de los costes, asumen que el coste neto de la emisión es la suma de: (1) producir la electricidad, (2) transportarla y distribuirla y (3) capturar el CO₂ (más transporte y almacenaje) en plantas con tecnologías de captura. Se calculan costes para cada una de las tecnologías recogidas en las diferentes funciones de producción.

El Observatorio Económico Keio, donde Hayami, H. (2007) desarrolla sus estudios, utiliza, desde el año 1991, unas TIO ampliadas ambientalmente para Japón. Todos los análisis presentados se centran en tecnologías para mejorar el medio ambiente. El autor considera que la actividad clave en la reducción de CO₂ es la generación de energía y, por tanto, se centra en evaluar la generación de energía eléctrica sin emisiones de CO₂. El objetivo principal del trabajo es estimar cuánto CO₂ puede ser reducido por distintas políticas. Una de las políticas se centra en la utilización de casas eficientes energéticamente. Para el análisis, obtienen un valor neto de las emisiones mediante la comparación entre las emisiones de CO₂ vinculadas a la construcción de las casas (incluyendo la producción de los nuevos materiales necesarios) y el ahorro de emisiones de CO₂ por la utilización de este tipo de casas (con ahorro energético). Este autor cuenta con otros estudios similares para la comparación entre el vehículo eléctrico y el de gasolina, el reciclaje y diferentes tecnologías de producción de energía eléctrica.

Lehr *et al.* (2012) muestran los efectos globales de las energías renovables bajo diferentes escenarios (de evolución de los precios de energía, instalaciones nacionales, políticas globales sobre el clima y comercio internacional), aplicando un modelo extendido de las Tablas Input-Output para Alemania (PANTA RHEI). Su principal aportación se centra en el impacto en el empleo y muestra que, de forma genérica, todos los escenarios tienen efectos positivos netos en el mismo.

Para España, Tarancón y del Río (2004) identifican los sectores que más contribuyen a las emisiones de CO₂ a través de la TIO del año 1995 y del vector de emisiones de CO₂ publicado por el INE, con una agrupación de 44 ramas y aplicando los coeficientes técnicos interiores. Estos autores obtienen que la mayor contribución al descenso de emisiones de las diferentes actividades productivas debería proceder de la disminución de los requerimientos energéticos. Prueba de ello es que, de los 25 coeficientes más sensibles, 16 representan compras de las distintas actividades productivas a la rama Producción y distribución de electricidad, gas y vapor.

Cámara *et al.* (2011) realizan un análisis para integrar el impacto económico y medioambiental, siguiendo la metodología utilizada por Alcántara y Roca (1995), entre otros. Utilizan como base del análisis una TIO actualizada para la economía

(10) Se incluye, además, una tercera tecnología, el ciclo combinado de gas natural sin captura, para representar también tecnologías de generación convencional nuevas.

española del año 2008 a partir de la Tabla Simétrica del último Marco Input-Output publicado por el INE para el año 2005, las cuentas de emisiones atmosféricas correspondientes a esa Tabla y los datos del Inventario CORINE (Coordination of Information on the Environment) de España para 2008. En la información medioambiental se incluyen tanto las emisiones atmosféricas de CO₂ como la suma de los seis gases de efecto invernadero (GEIs) considerados en el Protocolo de Kioto, medida en unidades de CO₂ equivalente, que realiza cada agente económico. En un trabajo posterior, Cámara *et al.* (2013) señalan que el sector eléctrico aporta alrededor de una cuarta parte de las emisiones generadas en nuestro país, por lo que cualquier estrategia encaminada al cumplimiento de los objetivos del Protocolo de Kioto pasa por abordar las emisiones de este sector.

2. METODOLOGÍA

El presente estudio se fundamenta en una exhaustiva revisión de fuentes secundarias que ha permitido objetivar los factores críticos asociados a la implantación de la tecnología, así como realizar una adecuada contextualización en el marco nacional e internacional. La revisión bibliográfica ha aportado las referencias monetarias de los costes asociados a las diferentes fases de las tecnologías CAC y de distintos indicadores técnico-económicos para la valoración de las diferentes tecnologías y plantas energéticas. Estos datos han sido contrastados en reuniones de expertos, y con los datos de varios proyectos piloto en España, entre ellos el proyecto integrado de la Fundación Ciudad de la Energía, que incluye las tres fases de las tecnologías CAC.

A partir de la revisión bibliográfica, de las reuniones de expertos y de los datos aportados por los proyectos piloto y las estimaciones para su escalado, se ha construido un escenario técnico. Para ello, también se han tenido en cuenta las diversas tecnologías posibles en relación con los diferentes escenarios que se plantean desde diversas organizaciones internacionales para el futuro del sector energético, las previsiones para España y las implicaciones de la crisis financiera global.

Puesto que el interés del trabajo es el análisis de los efectos en el sector productivo español se ha decidido aplicar al escenario técnico la metodología de Análisis con Tablas Input-Output ampliadas, con un vector ambiental y con un vector de empleo. Otros autores que han utilizado esta misma metodología, ampliada con impacto ambiental en el sector energético son Alcántara y Roca (1995), Hayami (2007), Cámara *et al* (2011, 2013) y Tarancón y del Río (2004), entre otros.

2.1. Marco contextual

Las tecnologías vinculadas a la captación, transporte y almacenamiento de CO₂ tienen como objetivo producir una corriente concentrada de CO₂ en la fase de captura que pueda transportarse fácilmente a un lugar de almacenamiento seguro. Así, se clasifican habitualmente en torno a las tres fases siguientes (Ballesteros, 2007):

1. Captura propiamente dicha del CO₂ producido en los focos de emisión, principalmente centrales térmicas y ciertas plantas industriales. Esta fase es la que más se ha desarrollado, tanto a nivel teórico como aplicado, y se distinguen principalmente tres procedimientos de captura: postcombustión, oxicombustión y precom-

bustión. La postcombustión separa el CO_2 de la corriente de gases *después* de la combustión, a través de absorción química o física. La oxcombustión consiste en llevar a cabo la captura de CO_2 *durante* la combustión empleando para ello oxígeno en lugar de aire y para ello es necesaria la presencia de una unidad de separación de aire. La precombustión es una técnica que se desarrolla *previa* a la combustión, donde se obtiene un gas de síntesis a partir de un combustible sólido y que, tras llevarlo a un reformador, produce CO_2 e Hidrógeno.

El factor crítico de las tecnologías de captura es la gran cantidad de energía que requieren, lo que implica un mayor consumo de combustible y se traslada a una merma en la eficiencia global de la instalación, tanto en nuevas centrales como en centrales en uso, si bien los desarrollos tecnológicos esperados permitirán reducir este impacto mediante la mejora de los procesos generales de producción de energía y los particulares de captura.

2. Transporte del CO_2 capturado hasta el lugar de su almacenamiento. La mayor parte de los estudios indican que el transporte se realizaría por tuberías (ceoductos). Una experiencia similar en transporte a gran escala es la del gas natural, aunque en el caso del CO_2 hay que tener en cuenta posibles problemas de corrosión, además de los de fugas y control, así como la necesidad de construcción de puntos intermedios de intercambio en la red hacia los puntos de almacenamiento.

3. Almacenamiento geológico del CO_2 en un depósito seguro. También existe una experiencia similar en almacenamiento de gas natural en España, aunque las exigencias durante la fase de caracterización, las condiciones de explotación y el comportamiento del CO_2 en las fases de inyección y en relación con su interactividad con los suelos, han hecho preciso desarrollar métodos específicos que justifican la existencia de diversos proyectos piloto que se han llevado a cabo en el país, como el de Hontomín (Burgos). El almacenamiento geológico también podría realizarse en alta mar.

Las principales líneas de trabajo desarrolladas en España están lideradas por la Asociación de la Plataforma Tecnológica Española del CO_2 (PTECO₂) y se corresponden con las tendencias a nivel europeo (principalmente de la Zero Emissions Platform –ZEP–) e internacional. La PTECO₂ expone en su primer Documento de Despliegue Estratégico y Agenda de I+D+i (2008) un análisis general del estado de las tecnologías de captura y almacenamiento del CO_2 y presenta una planificación temporal en torno a las tres fases de las tecnologías CAC y propone un plan específico de actuaciones. En relación con la fase de Captura, estipulaba que entre 2007 y 2012 se deberían desarrollar plantas piloto y de demostración; y de 2012 a 2015, plantas a escala comercial para mostrar su viabilidad. En la fase de Transporte, de 2012 a 2020 se deberían desarrollar gran parte de las infraestructuras y en relación con el Almacenamiento, en 2006 comenzó la exploración y caracterización de emplazamientos. El Documento de Despliegue Estratégico y Agenda de I+D+i se actualizó en 2011 y en él se proponen, bajo la misma planificación temporal, las líneas de actuación prioritarias (y su coste) para alcanzar en el objetivo fijado en el 2020.

2.2. *Escenario técnico de implantación generalizada de tecnologías de captura, transporte y almacenamiento de CO₂ en España*

Con el fin de analizar el impacto potencial de la implantación generalizada de las tecnologías de captura, transporte y almacenamiento de CO₂ se ha tomado como referencia el trabajo del proyecto COMET¹¹, al ser el más actual que trata de abordar escenarios posibles de despliegue de las tecnologías.

COMET es un proyecto inscrito en el 7º Programa Marco de la Unión Europea que trata de diseñar la forma de la infraestructura de transporte y almacenamiento de CO₂ en la región del Mediterráneo Occidental. El objetivo es encontrar las redes de transporte óptimas desde el punto de vista económico para los tres países considerados en el trabajo –España, Portugal y Marruecos– en distintos escenarios considerados.

El proyecto ha durado tres años (2010-2013) y se ha centrado en hallar la infraestructura óptima en términos de coste-eficiencia para un sistema de captura, transporte y almacenamiento, considerando las características del terreno por el que discurrirían las canalizaciones para minorar el coste del sistema. El sistema tiene en cuenta los aspectos espaciales y temporales de desarrollo del sector energético y la actividad industrial, las localizaciones de los puntos de emisión, así como la capacidad y disponibilidad de puntos de almacenamiento potencial en formaciones geológicas profundas.

De entre los escenarios planteados por COMET, el que se ha elegido para llevar a cabo el análisis de impacto socioeconómico potencial de la implantación de las tecnologías de CAC es el escenario conservador, en el horizonte temporal 2030. Dicho escenario estima que para el año 2020, únicamente se habrá implantado la red de captura, transporte y almacenamiento en España. La captura tiene lugar en distintas fuentes situadas a lo largo de un corredor principal, que sirve de esqueleto primario para los desarrollos posteriores. El almacenamiento se produciría en esa etapa fundamentalmente en las cuencas del Duero y del Guadalquivir.

A partir de la información del proyecto COMET, de las reuniones de expertos y de los valores aportados por las experiencias piloto en España, se propone un escenario técnico, que incluye un conjunto de parámetros y supuestos que se concretan en la Tabla 1 y que es la base para el cálculo de las inversiones vinculadas a la construcción de las infraestructuras del Programa de implantación generalizada de tecnologías de captura, transporte y almacenamiento de CO₂ en España que se analiza en este trabajo.

Así, por ejemplo, respecto de los parámetros del escenario técnico para la fase de captura, utilizando como referencia el proyecto COMET, se seleccionaron los puntos de emisión para modelizar el análisis de impacto, a aquellas instalaciones a las que se pudiesen incorporar dispositivos de captura de CO₂ que además emitiesen por encima de los 100 kt CO₂/año como promedio del periodo 2005-2010. Se identificaron de esta forma 228 fuentes puntuales de emisión existentes en este periodo, agrupadas en 55 clústeres atendiendo a su localización y proximidad geográfica. La hipótesis principal es que esos 55 clústeres se irían sustituyendo por nuevas plantas de entre 300 y 400 MW con captura de CO₂ incorporada a lo largo del periodo 2015-2030,

(11) El proyecto ha sido realizado por un consorcio internacional coordinado por el Laboratorio Nacional de Energía y Geología (LNEG) de Portugal, e incluye siete centros de investigación, cuatro universidades, una pyme y cinco compañías de energía de seis países europeos y Marruecos.

suponiendo que, en el escenario conservador, año 2030, se encontrarán conectados a la red 44 de estos puntos. De estos 44 puntos de emisión, se ha supuesto que un 10% utilizarán tecnologías de precombustión, y para el resto de plantas, se considera que las tecnologías se reparten al 50% entre oxcombustión y precombustión.

Tabla 1: PARÁMETROS DEL ESCENARIO TÉCNICO CONSIDERADO EN EL PROGRAMA DE TECNOLOGÍAS DE CAPTURA, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE CO₂ EN ESPAÑA. AÑO 2030

Parámetros del escenario técnico

a. Fase de captura

- Se supone la recogida de CO₂ en 44 puntos¹² de emisión diferentes. Todos los puntos de emisión pertenecen al sector de producción de energía eléctrica.
- Se asume la aplicación de los tres tipos de tecnologías actuales en captura de CO₂: precombustión, oxcombustión y postcombustión.
- Se supone la aplicación de estas tecnologías a centrales nuevas de entre 300MW y 400MW.
- La estimación del impacto de las inversiones está centrada en el proceso de captura. Es decir, el análisis de impacto no recoge el impacto económico de construir nuevas centrales sino sólo de las inversiones vinculadas a los módulos de captura, aproximando así lo que se conoce en la literatura especializada como “sobrecoste de la inversión”.

b. Red de transporte

- El CO₂ se transporta a través de ceoductos (por tubería). No se utiliza otro tipo de transporte.
- La longitud total de los ceoductos sería de aproximadamente 5.000 km (Escenario conservador del Proyecto COMET).
- Se supone la necesidad de unas 97 estaciones con bombas de refuerzo¹³: una cada 150 km; una en cada punto de salida de un hub de captura; una en cada punto de entrada a un hub de almacenamiento.

c. Red de almacenamiento

- Se consideran 15 puntos de almacenamiento distribuidos por la geografía nacional.
- El almacenamiento subterráneo se realiza en formaciones salinas profundas.
- La tecnología de inyección del CO₂ presenta importantes similitudes, en relación con la cadena de valor, con la de inyección de gas natural en almacenamientos subterráneos.

(12) Estos 44 puntos son hipotéticos, basándose en los 55 clústeres del escenario conservador para el año 2030 del COMET y que incluye aquellas instalaciones a las que se pueden incorporar dispositivos de captura de CO₂ y que presentaron emisiones por encima de los 100 kt CO₂/año como promedio del periodo 2005-2010.

(13) Supuesto procedente del escenario conservador del proyecto COMET.

En cada una de las fases, la estimación del coste de las inversiones se ha realizado a partir de distintas fuentes de información (entrevistas personales con expertos, información procedente de proyectos piloto, información del proyecto COMET, referencias bibliográficas, etc.).

Fuente: Elaboración propia.

2.3. Metodología para el análisis del impacto de las inversiones

Para el desarrollo de este trabajo se ha utilizado la metodología Input-Output de análisis de impactos. El método Input-Output se apoya en el cálculo matricial y es una herramienta utilizada en el análisis estructural de una economía ya que integra, en un esquema contable, el conjunto de relaciones que definen la producción de un país. Por ello, permite estimar el impacto de shocks exógenos en el producto, el valor agregado y la renta, así como medir el impacto de alteraciones en los precios de los factores.

Los modelos input-output son modelos multisectoriales en los que se considera la producción total de los sectores productivos como una función lineal del vector de demanda final. De esta forma, el output total de cada sector puede ser expresado como la suma de las transacciones con el resto de sectores y las transacciones con la demanda final. Esta idea se expresa mediante la siguiente ecuación matricial:

$$Y = A \cdot Y + D \quad [1]$$

donde D representa la demanda final, Y representa el output total de los sectores productivos y A es la matriz formada por las propensiones medias al gasto de los sectores productivos (matriz de coeficientes técnicos).

Resolviendo la ecuación anterior obtenemos:

$$Y = (I - A)^{-1} \cdot D \quad [2]$$

De esta manera, el impacto económico del Programa se puede descomponer en efectos directos, sobre los sectores y actividades económicas que ejecutan el Programa de Captura, Transporte y/o Almacenamiento; efectos indirectos, sobre los proveedores de los primeros y sobre el resto del tejido productivo; y efectos totales, como la suma de ambos.

El uso de esta metodología nos va a permitir medir el impacto socioeconómico y ambiental que tendría el desarrollo de un programa de captura, transporte y almacenamiento geológico de CO₂ en España. El núcleo del impacto está vinculado a la ejecución de las inversiones del Programa, un aspecto poco analizado en la economía del CO₂.

El análisis input-output nos ha permitido también estimar los efectos sobre el empleo de las inversiones realizadas, siendo este efecto una de las principales aportaciones de este análisis, en relación a los análisis habituales centrados en impacto económico y ambiental. Para ello se ha trabajado con los datos de la Encuesta de Población Activa (EPA) publicados por el Instituto Nacional de Estadística para el año 2008. Construyendo una matriz diagonal E que contiene el empleo generado en cada

sector por unidad de su output, el modelo de Leontief nos permite calcular los efectos de las inversiones en términos de empleo creado¹⁴:

$$\Delta Y_E = E(I - A)^{-1} \Delta D \quad [3]$$

Posteriormente, atendiendo a la información disponible sobre cómo las distintas ramas de actividad distribuyen su empleo por niveles de estudios, sexo, tramos de edad y ámbito de residencia de los/as trabajadores/as (urbano o rural), se ha desagregado el empleo creado por cada rama en las características señaladas. La información de las estructuras educativa, por sexo y por tramos de edad procede de la EPA y la del ámbito geográfico de residencia de los/as trabajadores/as se ha obtenido de la Muestra Continua de Vidas Laborales (MCVL).

Para ello se han construido las siguientes matrices de distribución del empleo:

Dos matrices $M_{n \times 4}$ (siendo n el número de ramas de actividad) para distribuir la variación en el empleo de cada una de las ramas de actividad en 4 niveles de estudios y en 4 franjas de edad.

Dos matrices $M_{n \times 2}$ para distribuir la variación en el empleo de cada una de las ramas de actividad entre hombres y mujeres y entre empleo urbano y rural.

Premultiplicando dichas matrices por una matriz $M_{n \times n}$ que contiene el vector de variación en el empleo diagonalizado, obtenemos la desagregación del empleo creado o destruido en función de los cuatro criterios considerados.

Además del impacto socioeconómico se ha analizado el impacto medioambiental de las inversiones que se han modelizado. Para ello se ha utilizado también la matriz inversa de Leontief, valorando no solo el aumento directo sino también el indirecto de las emisiones de CO₂ provocado por el incremento de la actividad económica que suponen las inversiones modelizadas. Esta información se obtiene premultiplicando la matriz inversa de Leontief por un vector de coeficientes unitarios de emisiones atmosféricas diagonalizado, EM , que muestra las emisiones atmosféricas de un sector por unidad de su producción. De este modo obtenemos los efectos medioambientales provocados por cada medida.

$$\Delta Y_{EM} = EM(I - A)^{-1} \Delta D \quad [4]$$

De esta manera podemos calcular las modificaciones en las emisiones atmosféricas, ΔY_{EM} , directas e indirectas, provocadas por las inversiones necesarias para poder llevar a cabo la captura, el transporte y el almacenamiento del CO₂.

3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE IMPACTO SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTAL DEL PROGRAMA DE CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CO₂

En este epígrafe se aproxima el impacto socioeconómico y ambiental de la ejecución de las inversiones necesarias para poner en marcha el programa de captura,

(14) El hecho de utilizar coeficientes de empleo supone admitir una relación de proporcionalidad entre empleo y producción, lo que permite que los incrementos en la productividad puedan expresarse en términos de puestos de trabajo, sin diferenciar las características de los contratos que pueden ser indefinidos, temporales, a tiempo completo o a tiempo parcial.

transporte y almacenamiento de CO₂¹⁵ en España. Para ello, se han empleado las siguientes fuentes de información: escenario técnico, Contabilidad Nacional de España Base 2008, Tablas Input-Output 2008 de la economía española y otras fuentes secundarias, como la MCVL.

Los resultados que se presentan permiten alcanzar los objetivos específicos definidos. En primer lugar, se establece un conjunto de cifras económicas básicas y de parámetros económicos que permiten calibrar la dimensión económica de las distintas inversiones vinculadas al programa de captura, transporte y almacenamiento de CO₂ y que miden el impacto global. En segundo lugar, se cuantifica el impacto económico del Programa sobre distintos ámbitos, distinguiendo los efectos directos de las empresas implicadas de forma directa en la ejecución de las inversiones, de los efectos indirectos sobre el resto del tejido productivo, además de incluir el efecto sobre el empleo, aportando una caracterización del mismo, lo que supone una aportación a este tipo de estudios que no había sido realizada hasta ahora. Por último, desde el punto de vista del impacto medioambiental, se cuantifica el efecto sobre las emisiones de CO₂.

3.1. Cuantificación de las inversiones

Atendiendo a las estimaciones propias realizadas, las inversiones a desarrollar en la Fase de captura del Programa que se analiza en este proyecto alcanzarían los 16.595 millones de euros (Tabla 2). En cuanto a las ramas de actividad que recibirían un impacto directo de estas inversiones, cabe señalar que el 52,8% de este importe (8.766 millones de euros) se destinaría a la compra de material y equipo y beneficiarían de forma directa a distintos sectores industriales. Un 9,0% adicional (en torno a 1.500 millones) se destinarían a los servicios de instalación de maquinaria y equipo industrial, otro 34,2% al sector de la construcción (5.670 millones de euros) y el 4% restante (664 millones de euros) a servicios de ingeniería y asesoramiento técnico.

El importe de las inversiones necesarias en la Fase de transporte de CO₂, de acuerdo con el alcance del Programa que se considera en este proyecto, ascendería a 3.920 millones de euros (Tabla 3). Las inversiones se ejecutarían en el período 2014-2024. Las ramas de actividad más beneficiadas, de forma directa, por estas inversiones son Construcción de redes (con un aumento de su demanda de 1.154 millones de euros), Fabricación de tubos, tuberías, perfiles huecos y accesorios de acero (1.066 millones de euros) e Instalación de máquinas y equipos industriales (523 millones de euros). Estas tres ramas concentran más del 70% de las inversiones totales de esta fase.

Las inversiones necesarias vinculadas a las infraestructuras de los 15 puntos de almacenamiento geológico de CO₂ contemplados en el Programa tendrían un coste aproximado 2.400 millones de euros (Tabla 4). Las ramas de actividad que concentrarían en mayor medida estas inversiones serían Fabricación de maquinaria de uso general (1.143 millones de euros), Demolición y preparación de terrenos (564 millones de euros) e Instalación de máquinas y equipos industriales (201 millones de euros).

(15) En el trabajo de base en el que se apoya este artículo se evalúa el impacto que tendría el desarrollo de un programa de captura, transporte y almacenamiento geológico de CO₂ en España, incluyendo tanto las inversiones como el mantenimiento. Sin embargo, los resultados presentados en este artículo se circunscriben al ámbito de la ejecución de las inversiones.

Tabla 2: CUANTIFICACIÓN DE LAS INVERSIONES A DESARROLLAR EN LA FASE DE CAPTURA DE CO₂. DETALLE DE LOS SECTORES DE DESTINO DE LAS INVERSIONES (CNAE 2009)

Código	CNAE 2009	Millones de euros	%
201	Fabricación de productos químicos	100,247	0,6
242	Fabricación de tubos, tuberías, perfiles huecos y sus accesorios de acero	1.906,531	11,5
251	Fabricación de elementos metálicos para la construcción	2.166,512	13,1
252	Fabricación de grandes depósitos y contenedores de metal	1.559,889	9,4
281	Fabricación de maquinaria de uso general	2.166,512	13,1
289	Fabricación de otra maquinaria para usos específicos	866,605	5,2
332	Instalación de máquinas y equipos industriales	1.496,163	9,0
429	Construcción de otros proyectos de ingeniería civil	4.536,146	6,8
433	Acabado de edificios	1.134,036	6,8
711	Servicios técnicos de arquitectura e ingeniería y otras actividades relacionadas con el asesoramiento técnico	663,813	4,0
Total		16.595,320	100,0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3: CUANTIFICACIÓN DE LAS INVERSIONES A DESARROLLAR EN LA FASE DE TRANSPORTE DE CO₂. DETALLE DE LOS SECTORES DE DESTINO DE LAS INVERSIONES (CNAE 2009)

Código	CNAE 2009	Millones de euros	%
236	Fabricación de elementos de hormigón y cemento	271,901	6,9
242	Fabricación de tubos, tuberías, perfiles huecos y sus accesorios de acero	1.065,769	27,2
281	Fabricación de maquinaria de uso general	349,345	8,9
332	Instalación de máquinas y equipos industriales	523,149	13,3
422	Construcción de redes	1.153,846	29,4
429	Construcción de otros proyectos de ingeniería civil	358,390	9,1
433	Acabado de edificios	57,212	1,5
711	Servicios técnicos de arquitectura e ingeniería y otras actividades relacionadas con el asesoramiento técnico	140,389	3,6
Total		3.920,000	100,0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4: CUANTIFICACIÓN DE LAS INVERSIONES A DESARROLLAR EN LA FASE DE ALMACENAMIENTO DE CO₂. DETALLE DE LOS SECTORES DE DESTINO DE LAS INVERSIONES (CNAE 2009)

Código	CNAE 2009	Millones de euros	%
091	Actividades de apoyo a la extracción de petróleo y gas natural	24,750	1,0
236	Fabricación de cemento	95,197	4,0
242	Fabricación de tubos, tuberías, perfiles huecos y sus accesorios de acero	104,500	4,4
281	Fabricación de maquinaria de uso general	1.143,391	47,6
289	Fabricación de otra maquinaria para usos específicos	69,234	2,9
332	Instalación de máquinas y equipos industriales	201,507	8,4
429	Construcción de otros proyectos de ingeniería civil		0,0
431	Demolición y preparación de terrenos	564,219	23,5
433	Acabado de edificios	40,301	1,7
711	Servicios técnicos de arquitectura e ingeniería y otras actividades relacionadas con el asesoramiento técnico	156,900	6,5
	Total	2.400,000	100,0

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Impacto global de las inversiones

En este apartado se comienza presentando los resultados globales del impacto de las inversiones previstas en el Programa, todas ellas destinadas a la construcción de las infraestructuras requeridas en las fases de captura, de transporte y de almacenamiento de CO₂. Estos resultados permiten incorporar a la toma de decisiones variables de carácter económico, ambiental y social. En particular, en este apartado se avanza en el tipo de empleo que se crearía con la ejecución de las inversiones, es decir, las características de los/as trabajadores/as (sexo, edad, nivel de educación y ámbito de residencia) que ocuparían dichos empleos.

Los resultados globales del impacto económico y ambiental se obtienen a partir de los impactos parciales de las inversiones vinculadas a las distintas fases del Programa: Captura, Transporte y Almacenamiento de CO₂.

El conjunto de inversiones previstas en el Programa requeriría un presupuesto de 22.915 millones de euros. La Fase de Captura concentraría el 72,4% de las inversiones; Transporte, el 17,1%; y Almacenamiento, el 10,5% (Tabla 5).

El impacto económico del Programa se concreta, a lo largo del período 2014-2024, en un aumento de la producción agregada de 43.378 millones de euros; en la creación neta de más de 247.820 empleos; y en un aumento de emisiones de CO₂ de 5,4 millones de toneladas. Las inversiones de la Fase de Captura concentran también la mayor parte del impacto sobre la producción agregada, el empleo y las emi-

Tabla 5: PRINCIPALES CIFRAS DEL IMPACTO ECONÓMICO Y AMBIENTAL DE LAS INVERSIONES DEL PROGRAMA DE CAPTURA, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE CO₂

	Impactos							
	Inversiones		Producción agregada		Empleo		Emisiones de CO ₂	
	Millones de €	%	Millones de €	%	Número de personas	%	Toneladas	%
Captura	16.595	72,4%	33.070	76,2%	188.029	75,9%	3.825.612	71,0%
Transporte	3.920	17,1%	5.984	13,8%	36.497	14,7%	1.073.281	19,1%
Almacenamiento	2.400	10,5%	4.324	10,0%	23.295	9,4%	489.769	9,1%
Total	22.915	100,0%	43.378	100,0%	247.820	100,0%	5.388.662	100,0%

Fuente: Elaboración propia.

siones ambientales. No se observan grandes disparidades en la distribución del impacto entre las tres fases consideradas porque, en términos de la cadena de valor, las infraestructuras de las tres fases son similares.

No obstante, en términos relativos, las inversiones de la Fase de Captura son más intensivas en empleo, ya que dan lugar a un mayor número de puestos de trabajo por cada millón de euros, frente a las de las fases de Transporte y Almacenamiento. En términos de emisiones de CO₂ producidas por la incorporación de la tecnología, las inversiones de la fase de Almacenamiento son menos contaminantes que las de la Fase de Captura y que las vinculadas al Transporte.

A continuación, se presentan los impactos detallados: en el epígrafe 4.2.1 se presentan los impactos sobre la producción, en el 4.2.2 los impactos sobre el empleo y en el 4.2.3. los impactos sobre las emisiones de CO₂.

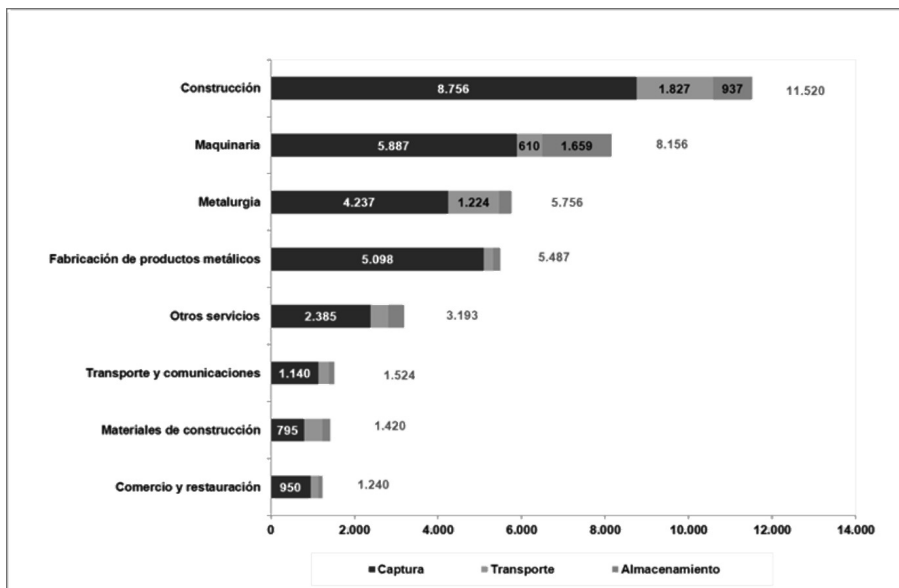
3.2.1. Impacto sobre la producción sectorial

El sector más beneficiado por las inversiones del Programa de captura, transporte y almacenamiento de CO₂ sería el sector de la Construcción. La producción de este sector se incrementaría en más de 11.500 millones de euros en la década de referencia. La fase de captura sería la que mayor aportación haría a este crecimiento sectorial, pero las de transporte y almacenamiento contribuirían también de forma significativa (Gráfico 1).

Otros sectores que muestran un importante aumento de su producción debido a las inversiones del Programa son Maquinaria (8.156 millones de euros), Metalurgia (5.756 millones de euros), Fabricación de productos metálicos (5.487 millones de euros) y Otros servicios¹⁶ (3.193 millones de euros). No obstante, otros muchos sectores registrarían también un impacto significativo sobre su producción (Tabla 6).

(16) Este sector incluye las ramas siguientes: Intermediación financiera, Seguros y planes de pensiones, Actividades auxiliares de intermediación financiera, Actividades informáticas, Investigación y desarrollo, Otras actividades empresariales y Actividades recreativas, culturales y deportivas.

Gráfico 1: IMPACTO DE LAS INVERSIONES NECESARIAS PARA LA CAPTURA, EL TRANSPORTE Y EL ALMACENAMIENTO DE CO₂ SOBRE LA PRODUCCIÓN SECTORIAL. SECTORES MÁS AFECTADOS. AUMENTO DE LA PRODUCCIÓN EN MILLONES DE EUROS



Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Impacto sobre el empleo sectorial

Al igual que en términos de producción, el sector de la Construcción sería también el más beneficiado en el caso de la creación de empleo vinculada a las inversiones del Programa. Según las estimaciones procedentes del análisis de impacto realizado, este sector crearía 87.608 nuevos empleos a Tiempo Completo Equivalente¹⁷ (TCE, en adelante) en el período de referencia 2014-2024, la mayor parte de ellos en la Fase de Captura (Gráfico 2).

Otros sectores que protagonizarían la creación de empleo vinculada al Programa serían Metalurgia y fabricación de productos metálicos (51.175), Maquinaria (27.918), Otros servicios (21.603), Comercio y restauración (18.066), Transporte y comunicaciones (10.234) y Materiales de construcción (8.161). No obstante, otras ramas de actividad se verían también beneficiadas (Tabla 7).

Las inversiones del Programa no sólo afectan a aquellas ramas en las que se concentran las actuaciones más significativas, sino que tienen incidencia, en mayor o

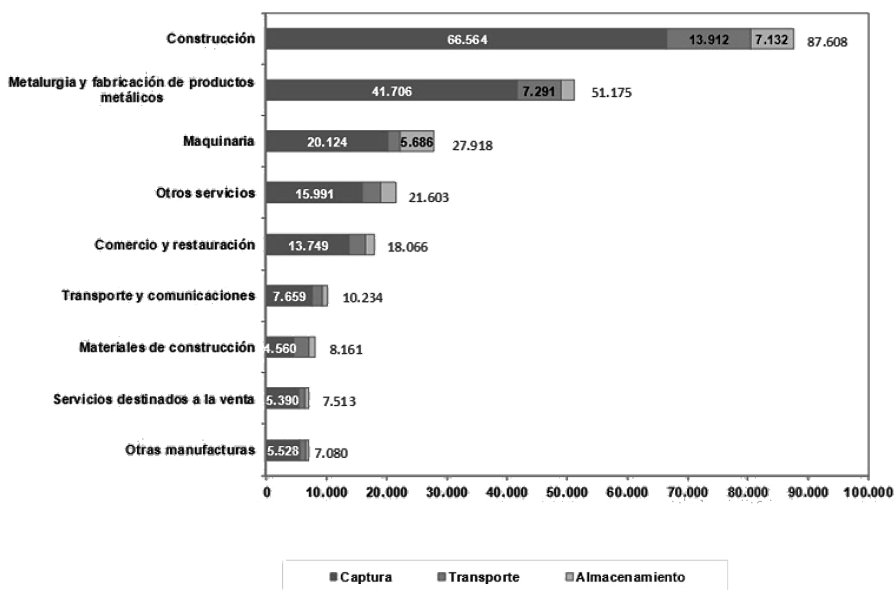
(17) De cara a homogeneizar la medición, los empleos se expresan en términos de Tiempo Completo Equivalente, estableciendo equivalencias para los empleos a jornada parcial y convirtiéndolos en empleos a jornada completa, por tanto, equiparables a empleo a jornada completa, pudiendo ser tanto empleos asalariados como por cuenta propia.

Tabla 6: IMPACTO DE LAS INVERSIONES NECESARIAS PARA LA CAPTURA, EL TRANSPORTE Y EL ALMACENAMIENTO DE CO₂ EN LA PRODUCCIÓN SECTORIAL. DETALLE POR RAMAS DE ACTIVIDAD. AUMENTO DE LA PRODUCCIÓN EN MILLONES DE EUROS

Producción	Impacto del shock de inversión (comparación en el escenario base) Millones de €	Impacto del shock de inversión (comparación en % con el escenario base)
R-26 (Descripción)	Variación	Variación (sit. 1-sit. 0)
1 Agricultura, ganadería y silvicultura	59,8	0,13%
2 Pesca y acuicultura	2,2	0,06%
3 Extracción de antracita, hulla, lignito y turba	62,8	2,47%
4 Extracción de crudos de petróleo y gas natural. Extracción de uranio y tono	252,2	1,03%
5 Resto extractivas	380,2	5,41%
6 Coquerías, refinio y combustibles nucleares	183,0	0,72%
7 Producción y distribución de energía eléctrica	529,1	1,29%
8 Producción y distribución de gas	138,0	1,37%
9 Captación, depuración y distribución de agua	23,9	0,37%
10 Alimentación	116,5	0,10%
11 Textil y piel	87,8	0,26%
12 Elaborados de madera	425,4	1,40%
13 Industria química	801,7	1,06%
14 Materiales de construcción	1.419,9	3,89%
15 Metalurgia	5.756,5	10,96%
16 Fabricación de productos metálicos	5.487,4	9,98%
17 Maquinaria	8.155,7	6,70%
18 Fabricación de vehículos de motos y remolques	57,4	0,06%
19 Fabricación de otro material de transporte	17,1	0,09%
20 Otras manufacturas	1.187,0	1,64%
21 Construcción	11.520,5	3,67%
22 Comercio y restauración	1.239,6	0,39%
23 Transporte y comunicaciones	1.524,4	0,93%
24 Otros servicios	3.192,8	1,07%
25 Servicios destinados a la venta	757,4	0,31%
26 Servicios no destinados a la venta	0,0	0,00%
Total	43.378,1	1,78%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 2: IMPACTO DE LAS INVERSIONES NECESARIAS PARA LA CAPTURA, EL TRANSPORTE Y EL ALMACENAMIENTO DE CO₂ EN EL EMPLEO SECTORIAL. SECTORES MÁS AFECTADOS. AUMENTO EN NÚMERO DE EMPLEOS A TCE



Fuente: Elaboración propia.

menor medida, sobre la práctica totalidad de las ramas de la economía y cada una de ellas demanda un empleo con características específicas, muy heterogéneo.

Considerando el empleo creado por el conjunto de la economía (impacto directo e indirecto sobre el empleo), cabe señalar que el Programa de captura, transporte y almacenamiento de CO₂ conllevaría la creación de un empleo (Tabla 8) mayoritariamente masculino (el 80% de los nuevos empleos serían ocupados por hombres), equilibrado atendiendo al ámbito de residencia (el 51,7% residirían en el ámbito rural), muy polarizado por nivel de estudios, ya que casi la mitad (el 48,3%) de los nuevos empleos serían ocupados por personas con educación primaria o secundaria obligatoria y un 23,3% sería ocupado por trabajadores/as con estudios de formación profesional. En cuanto a los tramos de edad, estaría centrado principalmente en el tramo de edad intermedia, de entre 26 y 45 años (el 60,2% de los nuevos empleos serían ocupados por este grupo de trabajadores/as).

3.2.3. Impacto sobre las emisiones de CO₂

La ejecución de las inversiones previstas en el Programa provocaría la emisión de 5.388.662 de toneladas de CO₂ en el período 2014-2024. Las ramas responsables, en mayor medida, de estas emisiones serían Materiales de construcción (1.737.932 toneladas), Metalurgia y fabricación de productos metálicos (1.559.875 toneladas)

Tabla 7: IMPACTO DE LAS INVERSIONES NECESARIAS PARA LA CAPTURA, EL TRANSPORTE Y EL ALMACENAMIENTO DE CO₂ EN EL EMPLEO SECTORIAL. DETALLE POR RAMAS DE ACTIVIDAD. AUMENTO EN NÚMERO DE PERSONAS A TCE

Empleo	Impacto del shock de inversión (comparación en el escenario base) N° de personas	Impacto del shock de inversión (comparación en % con el escenario base)
R-19 (Descripción)	Variación	Variación (sit. 1-sit. 0)
1 Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	972	0,12%
2 Extractivas	1.037	1,96%
3 Coquerías, refino, combustibles nucleares y gas	207	0,87%
4 Producción y distribución de energía eléctrica	831	1,25%
5 Captación, depuración y distribución de agua	148	0,36%
6 Alimentación	499	0,10%
7 Textil, piel y elaborados de madera	2.898	0,78%
8 Industria química	2.046	1,04%
9 Materiales de construcción	8.161	3,89%
10 Metalurgia y fabricación de productos metálicos	51.175	10,52%
11 Maquinaria	27.918	6,69%
12 Fabricación de vehículos de motor y otro material de transporte	184	0,06%
13 Otras manufacturas	7.080	1,61%
14 Construcción	87.608	3,57%
15 Comercio y restauración	18.066	0,39%
16 Transporte y comunicaciones	10.234	0,91%
17 Otros servicios	21.603	1,07%
18 Servicios destinados a la venta	7.153	0,31%
19 Servicios no destinados a la venta	0	0,00%
Total	247.820	1,23%

Fuente: Elaboración propia.

y Energía eléctrica (987.442 toneladas) (Gráfico 5). Las emisiones del resto de ramas son de mucha menor importancia en términos cuantitativos.

Como se ha señalado anteriormente, estas emisiones son de una cuantía ínfima si se comparan con las cantidades que permite capturar el sistema.

A título meramente ilustrativo, ya que los puntos de captura del Programa analizado en este análisis son hipotéticos, cabe comparar las emisiones de CO₂ vinculadas a las inversiones contempladas en el Programa con las emisiones evitadas una vez éste estuviese finalizado.

Tabla 8: IMPACTO DEL PROGRAMA DE CAPTURA, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE CO₂ EN EL EMPLEO. CREACIÓN DE EMPLEO POR CARACTERÍSTICAS. PERÍODO 2014-2024. NÚMERO DE PERSONAS Y PORCENTAJE

	Nº trabajadores/as	%
Total	247.820	100
Por sexo		
Hombres	199.086	80,3
Mujeres	48.734	19,7
Por nivel de estudios		
Nivel 1. Educación primaria y secundaria obligatoria	119.589	48,3
Nivel 2. Formación profesional	57.769	23,3
Nivel 3. Bachiller y otras titulaciones medias	32.529	13,1
Nivel 4. Estudios universitarios	37.932	15,3
Por tramos de edad		
Menores de 25 años	23.719	9,6
De 26 a 45 años	149.120	60,2
De 46 a 55 años	49.447	20,0
De más de 55 años	25.536	10,3
Por ámbito de residencia		
Urbano	119.674	48
Rural	128.146	52

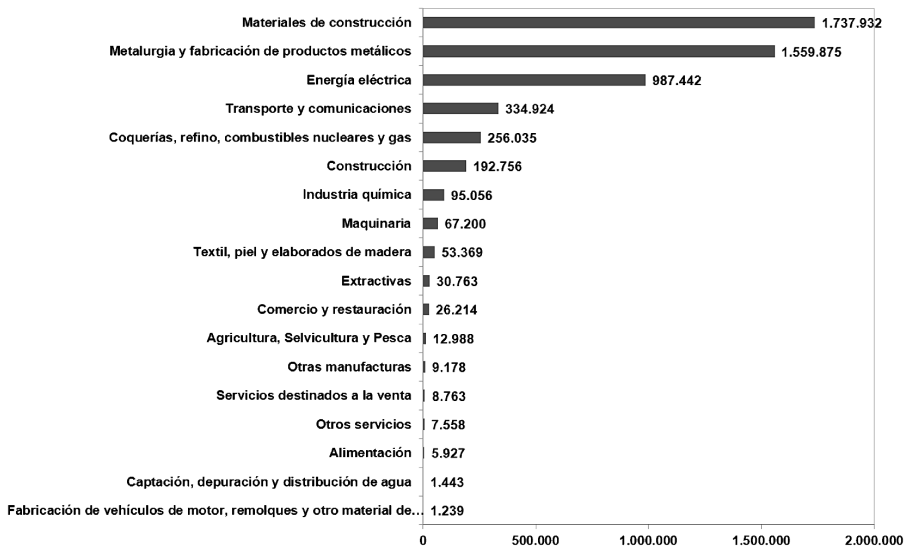
Fuente: Elaboración propia.

Las inversiones en infraestructuras contempladas en este Programa son de una notable envergadura económica y elevan de forma significativa la demanda de algunas de las ramas más intensivas en emisiones de CO₂, relacionadas con la industria pesada y los materiales de construcción. Las emisiones totales de CO₂ vinculadas a estas infraestructuras se estiman, como ya se ha señalado, en 5,4 millones de toneladas distribuidas en la década de ejecución de las inversiones. Pero las emisiones evitadas en un solo año, una vez desarrollado el Programa, en los 44 puntos hipotéticos de captura, se elevarían a casi 19 millones de toneladas (Gráfico 4). Esta última cifra se ha estimado a partir de las emisiones promedio¹⁸ de una muestra de 18 centrales nacionales, térmicas y de gas, operativas en 2012.

Por otra parte, se puede considerar que se empiezan a evitar emisiones antes de que la infraestructura esté completa. En ese sentido, podría realizarse una hipótesis aproximativa, suponiendo que el total de emisiones evitadas se incrementa lineal-

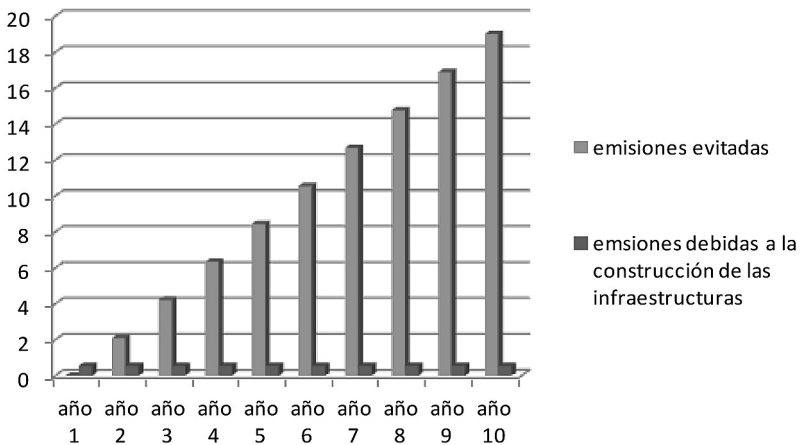
(18) El valor promedio se ha calculado a partir de la información del Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).

Gráfico 3: IMPACTO DE LAS INVERSIONES NECESARIAS PARA LA CAPTURA, EL TRANSPORTE Y EL ALMACENAMIENTO DE CO₂ SOBRE LAS EMISIONES AMBIENTALES. DETALLE POR SECTORES EMISORES. TONELADAS DE CO₂



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4: CO₂ EMITIDO DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS FRENTE A LAS EMISIONES EVITADAS DURANTE LOS 10 AÑOS DE CONSTRUCCIÓN. MILLONES DE TONELADAS DE CO₂



Fuente: Elaboración propia.

mente desde el final del año 1 de construcción hasta alcanzar el máximo posible (19 millones de toneladas) en el año 10, al tiempo que se reparte homogéneamente el valor de las emisiones producidas por la construcción de las infraestructuras.

A partir del año de finalización de la construcción de la infraestructura y a lo largo de los 40 años de vida útil considerados en el estudio, se evitarían 19 millones de toneladas anualmente, considerando únicamente la captura en los puntos que se han tenido en cuenta para este escenario concreto. Como se recoge en el COMET, se plantea ir incorporando paulatinamente nuevos puntos de emisión para incluir las producidas por la actividad industrial, de modo que la cantidad capturada se incrementaría conforme se fueran añadiendo puntos de captura.

4. CONCLUSIONES

Como se ha señalado a lo largo del trabajo, los objetivos de reducción de emisiones de CO₂, como parte de la estrategia de lucha contra el cambio climático, requieren de un planteamiento que tenga en cuenta las actividades humanas desde un punto de vista global, prestando especial atención a los procesos industriales y a la generación de energía, como ámbitos responsables de la mayor parte de emisiones de gases de efecto invernadero.

Aun con los esfuerzos realizados en incorporación de ciclos combinados y en renovables, y contando también con la reducción inducida por la crisis económica, todavía no se alcanzan los objetivos de reducción de CO₂, por lo que resulta esencial incorporar nuevas estrategias para la consecución de esos objetivos. Dentro del abanico de posibilidades para conseguir ese objetivo, las tecnologías de captura, transporte y almacenamiento de CO₂ ofrecen muy buenas prestaciones como tecnologías paliativas, que será imprescindible implementar para alcanzar los objetivos planteados dentro del plazo previsto y cuya contribución se estima en el entorno del 20-30% del total de emisiones evitadas.

Ante esta perspectiva, es muy importante conocer qué repercusión socioeconómica puede tener la apuesta por este tipo de tecnologías. Este trabajo fue concebido con la intención de dar respuesta a algunos de esos interrogantes, así como al interés social relacionado con la sostenibilidad y el medio ambiente en el ámbito de la generación de energía.

Para España, estas tecnologías suponen además una oportunidad de liderazgo tecnológico, debido al número de proyectos en marcha en territorio nacional y al número de investigadores trabajando en esta área, muy integrados además en investigaciones transnacionales con socios europeos.

De acuerdo con el escenario técnico que se ha empleado como punto de partida para el modelo económico, el conjunto de las inversiones vinculadas al Programa requerirá una inversión de 22.915 millones de euros, concentrando la parte correspondiente a captura un 72,4% de las inversiones. Por su parte, el sistema de transporte mediante ceoductos supondría el 17,1% y el almacenamiento el 10,5%. Esta inversión supondría un aumento de la producción agregada de 43.378 millones de euros, con la creación neta de más de 247.820 empleos.

El empleo generado sería mayoritariamente masculino (en torno al 80%), equilibrado atendiendo al ámbito de residencia (la mitad de los trabajadores y trabaja-

doras residirían en el ámbito rural y la otra mitad en el urbano), muy polarizado según el nivel de estudios (casi la mitad de los puestos de trabajo serán ocupados por personas con educación primaria o secundaria obligatoria) y centrado principalmente en el tramo de edad intermedia, entre los 26 y 45 años.

El sector más beneficiado por el programa sería el de la Construcción, con un incremento de la producción de 11.500 millones de euros en la década de referencia, seguido por Maquinaria (8.156 millones de euros), Metalurgia (5.756), Fabricación de Productos Metálicos (5.487) y Otros servicios (3.193 millones de euros).

El sector donde más empleo se generaría sería también el de la Construcción, particularmente en la etapa de captura, con la creación estimada de 87.600 nuevos empleos en el periodo de referencia (2014-2024).

En cuanto a las emisiones de CO₂, el Programa supondría liberar 5.388.662 toneladas de este gas en el periodo 2014-2024, si bien las emisiones evitadas anualmente considerando los 44 puntos de captura que plantea el escenario técnico asciende a casi 19 millones de toneladas cada año de operación durante su vida técnica-comercial, que se ha considerado de 40 años.

Uno de los elementos críticos para la adecuada implantación de un sistema de captura y almacenamiento de CO₂, que merece la pena destacarse en estas conclusiones, es la necesidad de un apoyo decidido por parte de la Administración, en particular, una clarificación de la estrategia a seguir en la lucha contra el cambio climático y el papel concedido a las tecnologías CAC dentro de la estrategia nacional de planificación energética, que permita a los agentes posicionarse adecuadamente y provisionar sus recursos. El volumen de las inversiones necesarias para la puesta en marcha comercial de un sistema nacional de captura aplicado a los principales puntos de emisión, así como el despliegue del sistema de ceoductos necesario para transportar el CO₂ hasta los puntos de inyección, es muy elevado. Para reducir el riesgo asociado a la inversión, es preciso que la Administración se implique y transmita un mensaje claro que disipe la incertidumbre.

Los desarrollos normativos que ha de implementar la Administración han de complementarse con regulaciones que también tengan en cuenta la captura y el transporte, con el fin de dotarlos de un corpus normativo que ampare su actividad. Así mismo, es necesario impulsar el desarrollo de normas específicas y de estándares que unifiquen criterios relativos a la implantación práctica de las tecnologías, y el desarrollo de documentos de Buenas Prácticas que aseguren la prestación de servicios bajo criterios de calidad. Este tipo de actuaciones permitirían sustentar el desarrollo tecnológico de la CAC en un marco adecuado y favorable, que debería incluir también los aspectos fiscales, capaz de generar confianza y reducir las incertidumbres que permitan abordar con seguridad la financiación.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abadie, L.M. y Chamorro, J.M. (2008): “European CO₂ prices and carbon capture investments”, *Energy Economics*, vol. 30, nº 6, págs. 2992-3015.
- Alcántara, V. y Roca, J. (1995): “Energy and CO₂ emissions in Spain: methodology of analysis and some results for 1980-90”, *Energy Economics*, vol. 17, nº 3, págs. 221-230.

- Babiker, M.H., Mayer M., Wieng I.S. y Hyman, R.C. (2001): "The MIT emissions prediction and policy analysis (EPPA) model", *MIT Global Change Joint Program, Working Paper 71*.
- Badea, A., Dinca, C. y Apostol, T. (2010): "Evaluation of fossil fuel power plants with CO₂ recovery", *Proceedings of the International Conference on Energy and Environment Technologies and Equipment*.
- Ballesteros, J.C. (2007): "Actividades de Endesa en tecnologías de captura de CO₂", en Linares, J.I. y Moratilla, B.Y. (2007), *Captura y almacenamiento de CO₂*, Seminario permanente en tecnologías energéticas, Biblioteca Comillas Ingeniería, Universidad Pontificia Comillas.
- Cámara, A. (2012): "Documento preliminar del Grupo de Trabajo de CONAMA 10: GT-02–Captura y Almacenamiento de CO₂, Documento de trabajo de CONAMA 10.
- Cámara, A., Flores, M. y Fuentes, P.D. (2011): "Análisis económico y medioambiental del sector eléctrico en España", *Estudios de Economía Aplicada*, vol. 29, nº 2, págs. 493-514.
- Cámara, A., Flores, M. y Fuentes, P.D. (2013): "Análisis de las emisiones asociadas al sector energético en España", *Estudios de Economía Aplicada*, vol. 31, nº 1, págs. 151-170.
- David, J. y Herzog, H. (2000): *Proceedings of the Fifth International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies*, págs. 973-978.
- De la Rúa Lope, C. (2009): *Desarrollo de la herramienta integrada "Análisis de Ciclo de Vida – Input Output" para España y aplicación a tecnologías energéticas avanzadas*, Tesis (Doctoral), E.T.S.I. Agrónomos (UPM).
- Finkenrath, M. (2011): "Cost and Performance of Carbon Dioxide from Power Generation", International Energy Agency, OECD.
- Gómez, A. (2007): "Política medioambiental y sustitución tecnológica entre *inputs*", Hacienda Pública Española, 181, págs. 9-28.
- González-Eguino, M. (2011): "The importance of the design of market-based instruments for CO₂ mitigation: An AGE analysis for Spain", *Ecological Economics*, vol 70, págs. 2292-2302
- Hayami, H. (2007): "Applications of the environmental input-output analysis", *The TERI (The Energy Resource Institute) and G-SEC conference on "Input-Output Analysis for Indian and the World Economy"*, The Energy Resource Institute, Nueva Delhi, India.
- Hendrickson, C., Horvath, A., Joshi, S., Lave, L.B. (1998): "Economic models for input-output lifecycle analysis", *Environmental Science and Technology*, vol. 29, nº 9, págs. 184A-191A
- Herzog, H.J. (1998): "The economics of CO₂ capture", Massachusetts Institute of Technology (MIT), Laboratory for Energy and the Environment, Presented at the Fourth International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, August 30 – September 2, 1998, Interlaken, Suiza.
- Herzog, H. (1999): "The Economics of CO₂ Separation and Capture", Second Dixy Lee Ray Memorial Symposium, Washington, D.C.
- Herzog, H.J. (2000): "The economics of CO₂ separation and capture". Massachusetts Institute of Technology (MIT), Laboratory for Energy and the Environment Technology, vol. 7, nº 1, págs. 13-23 (2000).
- International Energy Agency (2012): *Energy Technology Perspectives 2012, Pathways to a Clean Energy System*.
- International Energy Agency (2015): *Energy Technology Perspectives 2015*, OCDE
- Instituto Nacional de Estadística (2011): "Cuentas Satélite de Emisiones atmosféricas".
- Instituto Nacional de Estadística (2012): "Contabilidad Nacional de España 2008".
- Instituto Nacional de Estadística (2012): "Tablas Input-Output 2008".

- International Energy Agency & Organization for Economic Co-operation and Development (2009): *Technology Roadmap: Carbon capture and storage*, París, OECD/IEA.
- Lahr, M.L. y Dietzenbacher, E. (2001): *Input-Output Analysis: Frontiers and Extensions*, Palgrave, Nueva York.
- Lehr, U., Breitschopf, B., Diekmann, J., Horst, J., Klobasa, M., Sensfub, F., Steinbach, J. (2012): “Renewable energy deployment – do the benefits out-weigh the cost?”, *gws Discussion Paper 2012/5*.
- McFarland, J., Herzog, H., Reilly, J. y Jacoby, H. (2001): “Economic Modeling of Carbon Capture and Sequestration Technologies”, *Proceedings of the First National Conference on Carbon Sequestration*.
- Miller, R., Blair, P. (1985): *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*, Cambridge University Press, 2009.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2012): “Inventario de Gases de Efecto Invernadero”.
- Ministerio de Medio Ambiente (2007): *Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia. Horizonte 2007-2012-2020*.
- Ocaña, C. (2004): “Impacto del Protocolo de Kioto sobre la Economía Española”, *Revista interdisciplinaria de gestión ambiental*, vol. 63, págs. 12-26.
- PTECO₂ (2008): *Documento de Despliegue Estratégico y Agenda de I+D+i*. PTECO₂.
- PTECO₂ (2011): *Documento de Despliegue Estratégico y Agenda de I+D+i*. PTECO₂.
- Sala, R., y Oltra, C. (2010): *Percepción de expertos sobre la tecnología de CAC en España (Informe preliminar)*, CIEMAT.
- Rammerstorfer, M. y Roland, E. (2011): “Carbon Capture and Storage – Investment Strategies for the Future?”, *Energy Policy*, vol. 39, págs. 7103-7111.
- Sarkis, J. y Tamarkin, M. (2005): “Real options analysis for “green trading”: the case of greenhouse gases”, *The Engineering Economist*, vol. 50, págs. 273-294.
- Tarancón, M.A. y Del Río, P. (2004): “Cambio tecnológico y emisiones de CO₂: Análisis input-output y análisis de sensibilidad mediante programación lineal”, *Estudios Económicos de Desarrollo Internacional*, enero-junio, año/vol.4, nº 001, págs. 41-68.
- Telli, C., Voyvoda, E. y Yeldan, E. (2008): “Economics of environmental policy in Turkey: A general equilibrium investigation of the economic evaluation of pectoral emission reduction policies for climate change”, *Journal of Policy Modelling*, vol. 30, nº 2; págs. 321-340.
- Zero Emissions Platform (2011): “The Costs of CO₂ Capture, Storage and Transport. Post-demonstration CCS in the EU”, *European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants*.
- Zero Emissions Platform (2012): “CO₂ Capture and Storage. Creating a secure environment for investment in Europe”, *European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants*.

Fecha de recepción del original: marzo, 2015

Versión final: enero, 2016

ABSTRACT

One of the main objectives of the Kyoto Protocol is reducing CO₂ emissions for combating climate change globally. A key instrument to achieving a significant reduction in emissions is to incorporate the technologies of capture, transport and storage of CO₂ in energy production processes. The development and commercial use of these technologies is very expensive, being necessary to know their economic, social and environmental impact. This article carries out an assessment of economic, social and environmental impact of the initial investment required for the implementation of these technologies in the Spanish electricity sector. In order to carry out this analysis impact, we use a multisectoral model that allows us to identify economic sectors that are benefited from the investments both directly and indirectly. In addition, labor market statistics are used to analyze the type of jobs created during the development of the necessary investments.

Key words: CO₂ capture, economic impact, environmental impact, social impact, electricity sector, CCS technologies.

JEL Classification: C67, Q43, Q52.

