

# Simulación del comportamiento del mercado europeo de derechos de emisión de CO<sub>2</sub>: horizonte 2030

**Amado Gil Martínez, Eduardo Fernández Rodríguez**

Gas Natural Fenosa

**Miguel García, Ignacio Povo, Enrique Doheijo**

Deloitte

Las políticas energética y climática de la Unión Europea están orientadas al establecimiento de incentivos para que los agentes económicos reduzcan sus emisiones de gases de efecto invernadero, de acuerdo con criterios de competitividad, seguridad, y sostenibilidad económica y medioambiental.

El principal objetivo de estas políticas es la reducción en un 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero en la Unión Europea en 2030 con respecto de las emisiones de 1990: este objetivo supone una disminución del 43% comparada con las emisiones del Esquema Europeo de Comercio de Emisiones de 2005. Evidentemente, este objetivo tendrá un impacto muy relevante en el aumento de la penetración de las tecnologías energéticas con menor contenido de carbono y de las energías renovables, así como en el desarrollo de medidas de eficiencia energética en Europa.

Durante los dos últimos años, la Unión Europea ha diseñado las directrices de su política energética y climática para la próxima década: el nuevo marco tendrá una incidencia importante tanto en términos de dependencia energética de Europa como

en lo relativo a la lucha contra el cambio climático, y afectará a los modelos de negocio de los principales sectores industriales, con una incidencia muy relevante en las empresas energéticas.

Con el objetivo de participar en este proceso de regulación y evaluar el impacto económico de las diferentes propuestas, las empresas líderes del sector energético han desarrollado modelos que simulan el comportamiento del mercado de derechos de emisión con el horizonte de 2030, con la intención de:

- Mejorar su comprensión de los criterios de decisión de los agentes en el mercado de derechos de emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Diseñar su estrategia en materia de política energética y medioambiental.
- Cuantificar el impacto del aumento de la penetración de energías renovables y medidas de eficiencia energética en sus negocios.
- Simular el perfil de generación derivado del desarrollo de diferentes planteamientos de política energética y medioambiental con el fin de analizar su impacto económico.
- Evaluar la interacción entre los precios de los derechos de emisiones de CO<sub>2</sub>, el pre-

cio de los combustibles fósiles y el precio de la electricidad.

- Analizar el impacto que el precio de los derechos de CO<sub>2</sub> tiene sobre el retorno de las inversiones.
- Identificar aspectos que deberán tomarse en consideración en la futura política de inversiones.

En este artículo, se presenta el modelo de simulación del comportamiento del mercado europeo de derechos de emisión de CO<sub>2</sub> en el horizonte 2030, desarrollado por Gas Natural Fenosa y Deloitte.

## **Mercado europeo de derechos de emisión de CO<sub>2</sub>: horizonte 2030**

La metodología desarrollada simula el mercado europeo de derechos de emisión de CO<sub>2</sub> de acuerdo con el comportamiento de la oferta y la demanda en 2030. Para ello es necesario definir:

1. La función de necesidades (demanda) de abatimiento de CO<sub>2</sub>
2. La curva de abatimiento de CO<sub>2</sub> en la Unión Europea: identificando las oportunidades de abatimiento y cuantificando su coste marginal.

En función de diferentes hipótesis y escenarios, se construyen estas dos curvas con el fin de estimar el rango del precio futuro (2030) de los derechos de emisión de CO<sub>2</sub>, el nivel de penetración de las energías renovables y los perfiles de generación de energía, el impacto que el precio de los derechos tendría en los costes de generación y en el precio de la electricidad, y la intensidad de carbono de la economía de la Unión Europea. Además, a partir de la estimación de la curva de abatimiento se identifican las tecnologías de reducción de emisiones más eficientes.

### La función de demanda de abatimiento de CO<sub>2</sub>

De acuerdo con el nivel de actividad previsto y el factor de emisión, puede estimarse para 2030 el volumen de emisiones para cada uno de los sectores incluidos en el Esquema de Comercio de Emisiones de CO<sub>2</sub> de la Unión Europea<sup>1</sup>. La demanda prevista de soluciones de abatimiento de CO<sub>2</sub>, se estima como la diferencia entre la previsión de emisiones de CO<sub>2</sub> y el límite de emisiones autorizado por la Unión Europea (considerando tanto los derechos de emisión gratuitos como los asignados a través de procedimientos de subasta): los agentes de los sectores incluidos dentro del esquema de comercio de emisiones, deberán tomar medidas para mitigar dichas emisiones con el fin de cumplir con límite establecido por la Unión Europea.

Para cuantificar la curva de demanda de abatimiento se ha desarrollado el siguiente procedimiento:

1. Realizar la previsión del nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> generado en 2030 por la

actividad esperada de cada uno de los sectores incluidos en el esquema europeo de comercio de emisiones, calculado usando el volumen de actividad y el factor de emisión sectorial.

En el caso de la previsión de las emisiones producidas por la generación eléctrica, ésta se ha realizado a partir de la información pública disponible relativa a las estimaciones de demanda a 2030 y los perfiles de generación previstos aplicándoles el factor de emisión correspondiente a cada una de las tecnologías de cada país.

2. La estimación del máximo nivel de emisiones que será autorizado en 2030, se ha realizado según las diferentes alternativas consideradas durante el proceso regulatorio. El caso base de la simula-

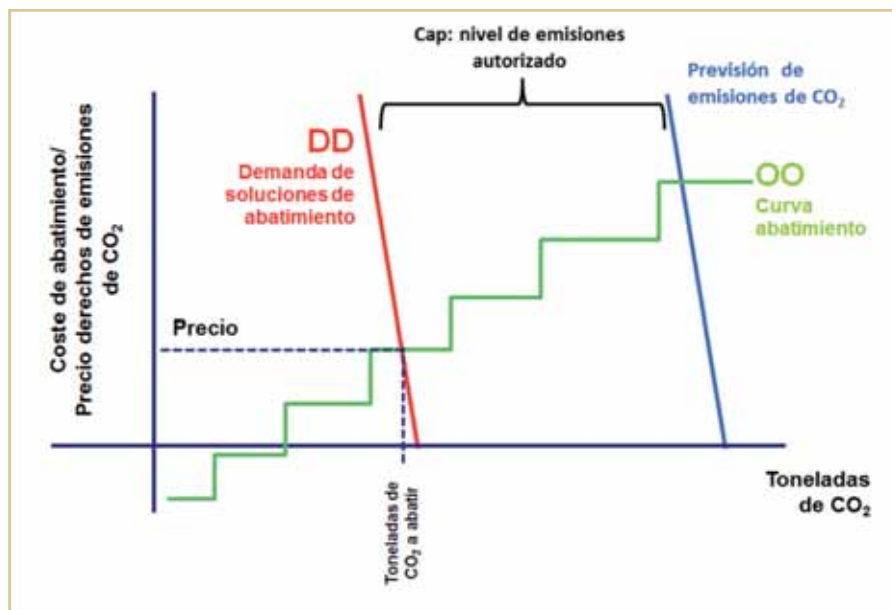
ción ha tenido en cuenta un factor lineal de reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> autorizadas de:

- 1,74% hasta 2020.
- 2,20% de 2021 a 2030.

3. La curva de necesidades de abatimiento (función de demanda en este mercado) se ha estimado como la diferencia entre la previsión de emisiones de CO<sub>2</sub> en 2030 y la previsión del límite máximo de emisiones que sería autorizado.

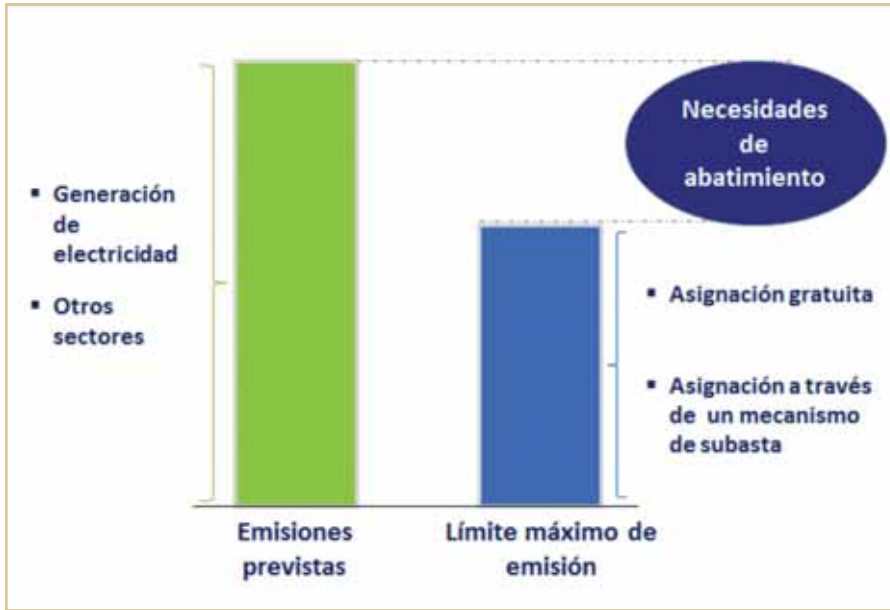
La pendiente de la curva de demanda ha sido calculada de acuerdo con la información histórica de la sensibilidad entre el precio de los derechos de emisión y la evaluación del volumen de las emisiones de CO<sub>2</sub>: el resultado es que dicha sensibilidad es muy baja y la pendiente tiende a 0.

**Figura 1. Curvas de oferta y demanda de soluciones de abatimiento**



<sup>1</sup> Producción de energía eléctrica, refinerías de hidrocarburos, siderurgia y coquerías, cemento, cal, vidrio, productos cerámicos, papel y cartón, aviación.

**Figura 2. Necesidades de abatimiento (demanda): enfoque de cálculo**



La función de la demanda de soluciones de abatimiento para 2030 ha sido calculada de acuerdo con el siguiente algoritmo:

$$E = \sum_{k=1}^n P Z_k + \sum_{k=1}^n \beta_k Y_k = Q^d + \text{Cap}$$

$$Q^d = \sum_{k=1}^n P Z_k + \sum_{k=1}^n \beta_k Y_k - \text{Cap} = \sum_{k=1}^n P Z_k + C - \text{Cap}$$

Donde:

**E**: previsión de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los sectores incluidos en el Esquema Europeo de Comercio de Emisiones

**Q<sup>d</sup>**: demanda de soluciones de abatimiento de emisiones de CO<sub>2</sub>

**n**: número de los sectores incluidos en el Esquema Europeo de Comercio de Emisiones

**P**: precio de los derechos de emisiones de CO<sub>2</sub> en el mercado

**Z<sub>k</sub>**: factor que evalúa la sensibilidad entre las emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector k y el precio de los derechos de CO<sub>2</sub> en el mercado.

Actualmente la estimación de esta sensibilidad según la información histórica existente es que Z<sub>k</sub> menor que 0 y tiende a 0

**β<sub>k</sub>**: sensibilidad entre las emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector económico k y la actividad económica de dicho sector

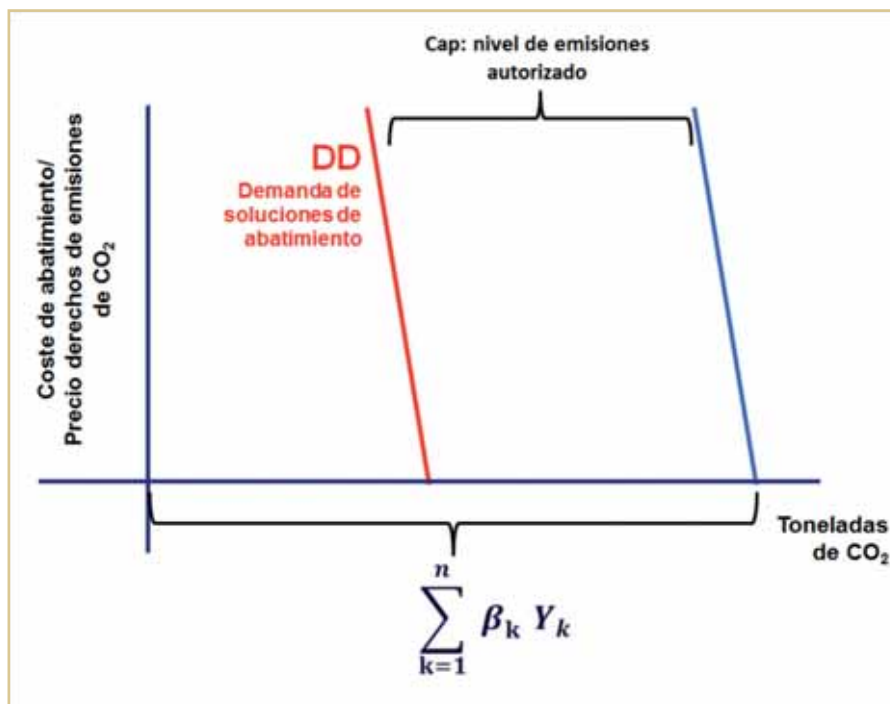
**β<sub>k</sub>** = f (CO<sub>2</sub> del sector k, factor de emisión)

**Y<sub>k</sub>**: actividad económica prevista en el sector k.

### La curva de abatimiento de CO<sub>2</sub> (función de oferta)

La curva de abatimiento establece una clasificación cuantitativa de las soluciones de reducción de CO<sub>2</sub> más eficaces en función de sus costes marginales. Entre otras, se han tenido en cuenta para realizar el análisis las siguientes soluciones y tecnologías: medidas de eficiencia energética, las energías renovables, la sustitución de combustibles fósiles por otros con menor impacto ambiental, la energía nuclear, la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> (CCS), etc.

**Figura 3. Enfoque para la estimación de la curva de demanda de abatimiento**



Se han evaluado más de trescientas alternativas en los Estados miembros de la Unión Europea, porque la misma medida puede tener un impacto diferente en función de dónde se instale (por ejemplo la energía solar fotovoltaica):

- El nivel de producción es diferente: generalmente, en los países del sur la producción es mayor que en los del norte.
- El nivel de CO<sub>2</sub> abatido no es el mismo y depende del perfil de generación del sistema eléctrico en el que se desarrolle la instalación.
- Existen diferencias de precios relevantes en los precios de la electricidad de los diferentes países.
- ...

La curva de abatimiento ha sido estimada a partir de la aplicación del siguiente procedimiento:

1. Identificación de soluciones de abatimiento de emisiones de CO<sub>2</sub> en los diferentes Estados miembros de la Unión Europea para las diferentes actividades incluidas en el Esquema Europeo de Comercio de Emisiones. En concreto, se ha evaluado el potencial de abatimiento de cada una de las soluciones, el máximo nivel de penetración que puede tener la solución de acuerdo con la aplicación de criterios técnicos, disponibilidad del recurso y criterios de negocio.
2. Análisis de negocio de la alternativa identificada: para cada solución (por tecnología y país) se han estimado los ingresos derivados de la misma, y las inversiones y gastos necesarios para su operativa. A partir de estas estimaciones se ha calculado el valor actual de un proyecto estándar.
3. Cuantificación del coste de abatimiento de cada alternativa: se ha calculado el

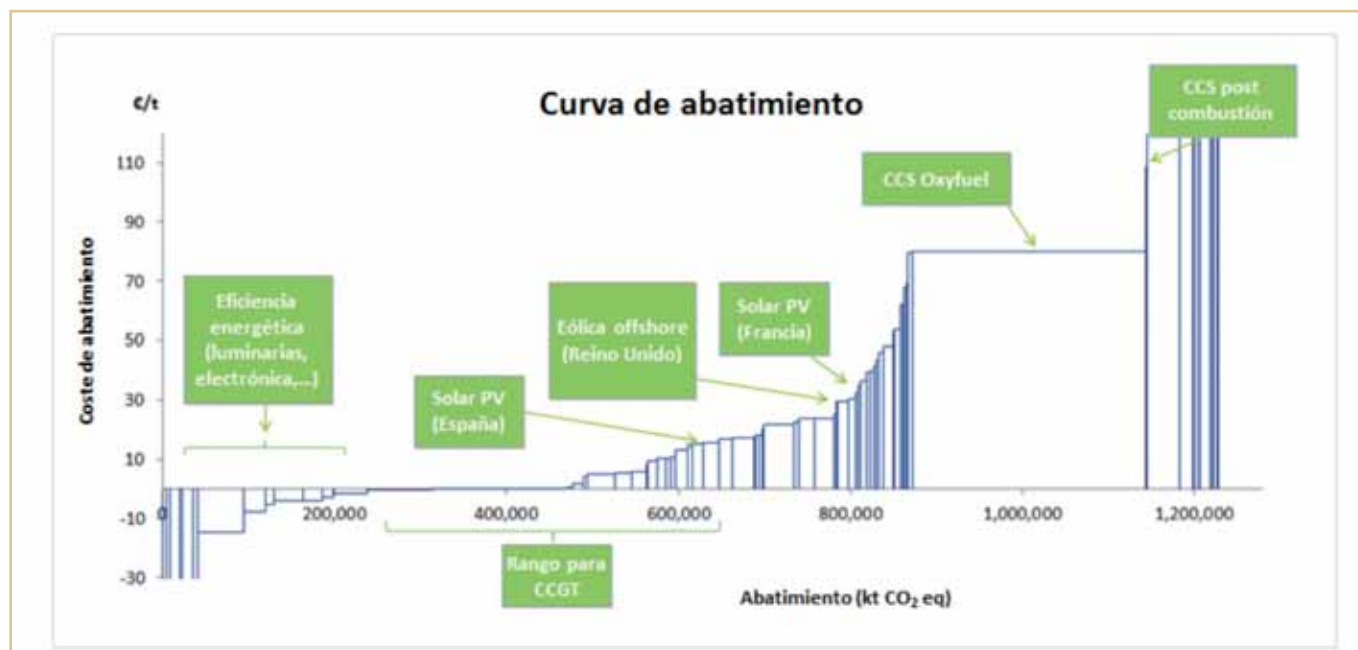
cociente entre el valor actual neto de cada alternativa (€) y el volumen de emisiones evitadas por la solución (toneladas).

- Si el valor actual neto del proyecto es negativo, éste requiere de ingresos adicionales para su desarrollo: por ejemplo, un incentivo por tonelada evitada.

Existe por tanto un coste de abatimiento.

- Si el valor actual neto del proyecto es positivo, el proyecto es viable por sí mismo: no es necesario un incentivo para su desarrollo.
4. Clasificar las medidas de acuerdo con su coste de abatimiento (€/tonelada) y tener en consideración el nivel de reducción de emisiones derivado de cada una de las soluciones (toneladas).

**Figura 4. Curva de abatimiento de acuerdo con los sectores incluidos en el Esquema Europeo de Comercio de Emisiones (curva de oferta)**



Las curvas de oferta y demanda de soluciones de abatimiento están vinculadas. Así por ejemplo, los cambios en las hipótesis realizadas con respecto a la generación en la curva de demanda modifican el potencial de las oportunidades de abatimiento.

Si se realiza la reducción de 1 TWh en la previsión de producción de energía eólica para 2030, entonces:

1. La demanda de abatimiento se incrementa, debido a que la energía eléctrica que no se genera mediante tecnología eólica, debe producirse mediante otras tecnologías que sí generan emisiones de CO<sub>2</sub>.
2. Simultáneamente, el potencial de abatimiento por energía eólica se incrementaría con el volumen de emisiones de CO<sub>2</sub> que evitaría dicha energía.

Por otra parte, la estructura de la función de la curva de oferta de soluciones de abatimiento ha sido definida de acuerdo con el esquema de la tabla 1:

Donde:

- Q<sup>s</sup>**: oportunidades de abatimiento de emisiones de CO<sub>2</sub> (oferta)
- Q<sub>i</sub>**: máximo nivel de abatimiento en un país para un tecnología específica (eficiencia energética en el sector papel, cambios de luminarias, instalación de ciclos combinados de gas natural, energía solar, energía eólica, CCS, etc.). Este nivel en cada país depende, por ejemplo, de la disponibilidad de la fuente de energía renovable, de la posible sustitución de las antiguas tecnologías de energía, de la previsión de la demanda de energía, de portfolio actual de generación, etc.

**Tabla 1**

Nivel de emisiones	Cantidad: nivel de abatimiento	Precio
$q_1 < Q^s < q_2$	$Q_I = (q_2 - q_1)$	$P_I$
$q_2 < Q^s < q_3$	$Q_{II} = (q_3 - q_2)$	$P_{II}$
...	...	...
$q_{m-1} < Q^s < q_m$	$Q_M = (q_m - q_{m-1})$	$P_M$

**P<sub>i</sub>**: coste marginal de la solución de abatimiento i en un país de la Unión Europea dado

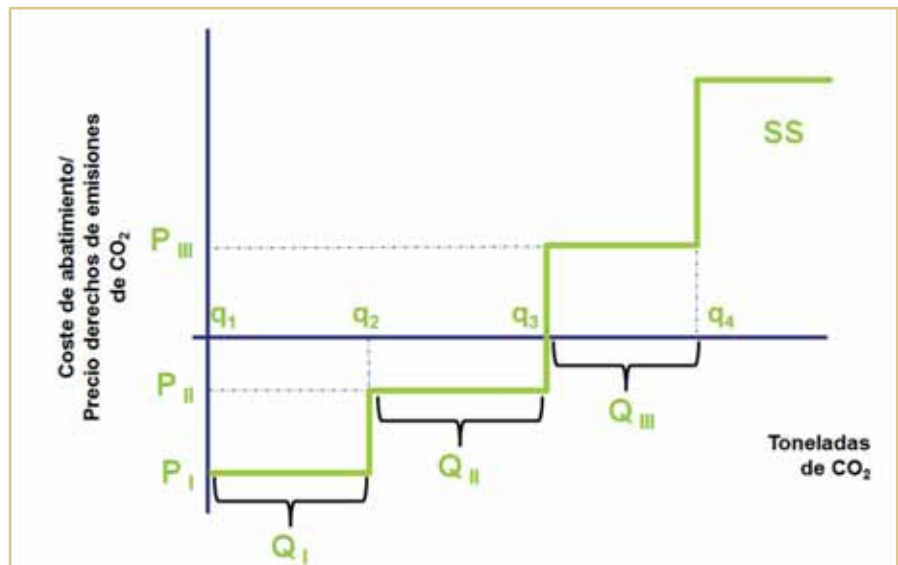
$$P_i = \frac{\sum_{j=0}^n CF_j / WACC^j}{A}$$

Donde

**CF<sub>j</sub>**: flujo de caja en el año j debido al proyecto de abatimiento de emisiones de CO<sub>2</sub>.

- Depende del rendimiento de la tecnología, de los precios de los outputs que genera y los inputs que utiliza, de la inversión requerida, de los precios de los derechos de emisión, etc.
- h**: vida útil del proyecto de emisiones de abatimiento de CO<sub>2</sub> (años).
- WACC**: coste del capital medio ponderado de los promotores de los proyectos.
- A**: emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas por el proyecto durante su vida útil.

**Figura 5. Estructura de la curva de abatimiento**



### La previsión del precio de los derechos de emisiones de CO<sub>2</sub> y otros outputs del modelo

De acuerdo con las previsiones de comportamiento de las funciones de demanda y oferta de soluciones de abatimiento, se estima el precio de los derechos de emisiones de CO<sub>2</sub> para 2030: el coste del abatimiento es el coste de oportunidad de los derechos de emisión.

El precio de los derechos de emisiones de CO<sub>2</sub> es estimado como el resultado de la intersección entre las curvas de demanda y oferta de soluciones de abatimiento ( $Q^d = Q^s$ ): este cálculo se realiza a través de un proceso iterativo.

Adicionalmente a la estimación del precio de los derechos de emisión, y de acuerdo con las hipótesis realizadas para calcular las funciones de demanda y oferta, se han realizado previsiones de las siguientes variables:

- Las emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel europeo y en detalle, por sector y país.
- El perfil de generación para cada uno de los países de la Unión Europea.
- El coste de la generación de electricidad y el precio de los mercados mayoristas en Europa.
- El nivel de penetración de energía renovable para generar electricidad por tecnología y país, así como su nivel de penetración en términos de consumo de energía primaria.
- La intensidad en carbono de la economía de la Unión Europea.

Dado que existe una alta volatilidad de las variables, se ha realizado una simulación dinámica del comportamiento del mercado de derechos de emisión que tiene en cuenta:

- Precios de *commodities*: gas natural, carbón, electricidad, etc.
- Horas equivalentes de las diferentes tecnologías de generación de electricidad que utilizan recursos renovables.

Adicionalmente, como estas variables no son independientes se ha incluido dicha circunstancia en el modelo de simulación.

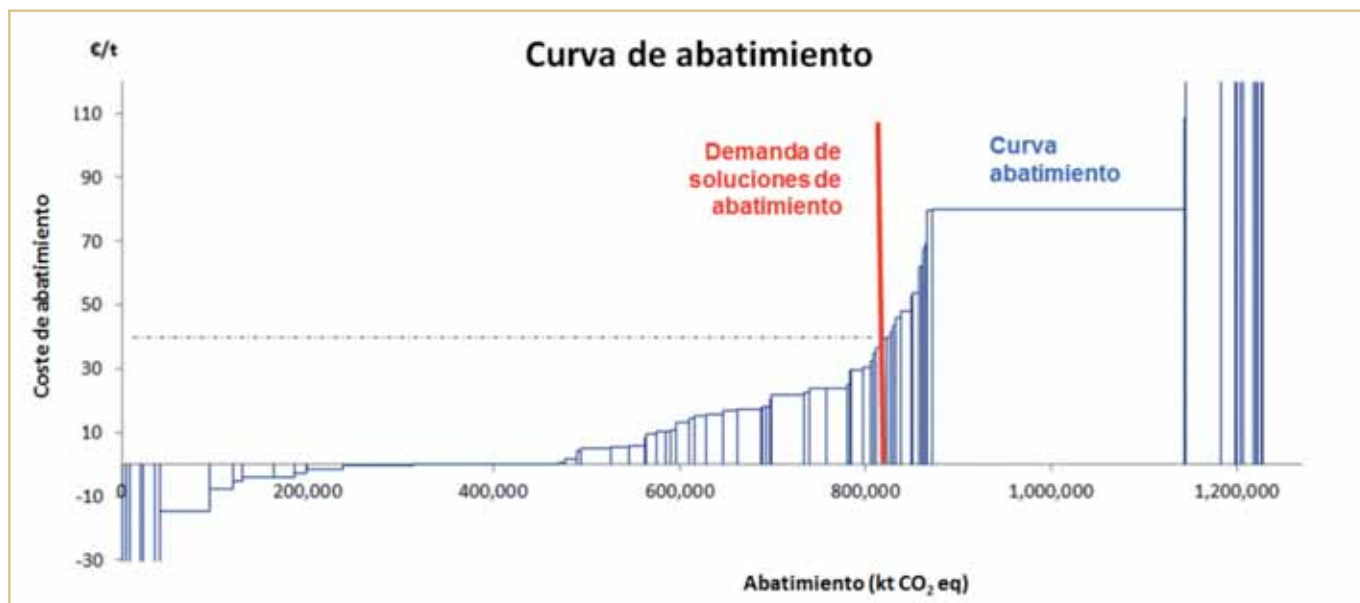
### El output del modelo

La aplicación del modelo dinámico permite obtener una función de distribución para la estimación del precio de los derechos de emisiones de CO<sub>2</sub>:

Las principales conclusiones del análisis realizado son las siguientes:

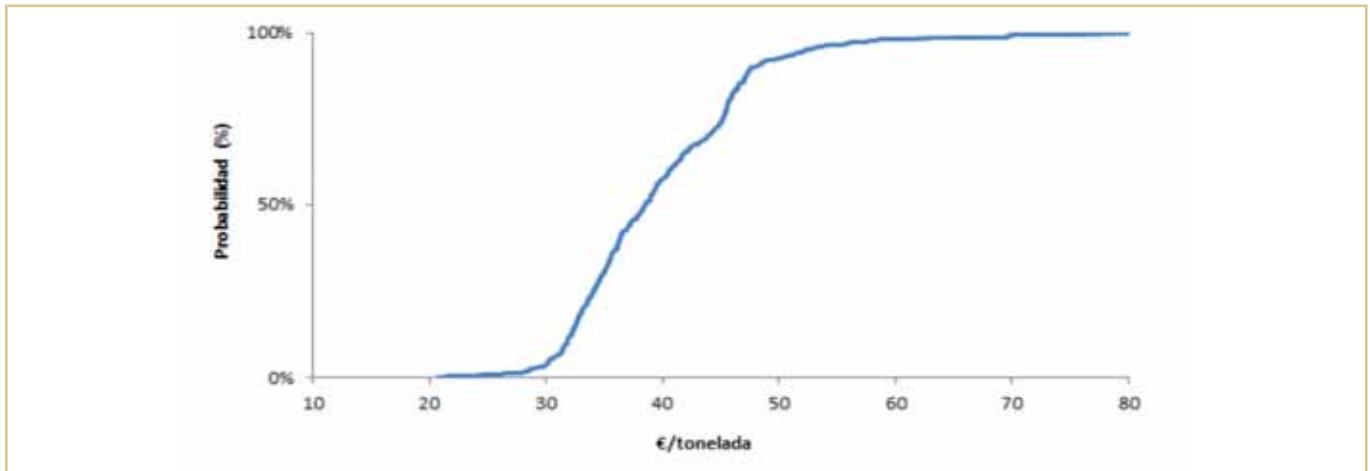
- El precio medio estimado es de 41,5€ /tonelada, siendo los principales estadísticos obtenidos los que se detallan a continuación:
  - La volatilidad del precio de los derechos de emisión sería del 19% (medida como la desviación típica de los precios estimados)
  - En el 95% de los casos, el precio de los derechos de emisión en 2030 estaría entre 30€/tonelada y 60€/tonelada

**Figura 6. Mecanismo de predicción del precio de los derechos de emisiones de CO<sub>2</sub>**





**Figura 7. Función de distribución de la previsión de los precios de los derechos de emisiones de CO<sub>2</sub> para 2030**



- El percentil 99 de la distribución de la previsión del precio es 69,9 €/tonelada: siendo la diferencia entre este valor y la media del 68,6%.
- En 2030, el volumen de emisiones de CO<sub>2</sub> (toneladas) sería de 1.506 millón toneladas en los sectores incluidos en la Directiva de Comercio de Emisiones, con unas necesidades de abatimiento

del 828 millones de toneladas<sup>2</sup>. Mientras el volumen de emisiones de la Unión Europea se habría reducido un 22,9% con respecto al año 2013 (1.955 millones).

- De acuerdo con nuestro estudio las alternativas de abatimiento más eficientes son: la eficiencia energética (cambio de luminarias, sustitución de tecnologías de producción basadas en combustibles fó-

siles por otras más eficientes que utilizan gas natural), sustitución de antiguas unidades de generación por ciclos combinados y desarrollo de proyectos de energía renovables en algunos países (energía eólica y solar fotovoltaica).

Actualmente, las soluciones de captura de CO<sub>2</sub> no serían competitivas.

### Bibliografía utilizada en el análisis

- European Council 20/21 March 2014 Conclusions. Chapter: Climate and Energy.
- Climate and energy priorities for Europe: the way forward. Presentation of J.M. Barroso President of the European Commission, to the European Council of 20-21 March 2014.
- Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030. 22/01/2014.
- Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A policy framework for climate and energy in the period from 2020 up to 2030: Impact Assessment. 22/01/2014. ■

<sup>2</sup> Esta estimación ha sido realizada bajo la hipótesis de no considerar los mecanismos de Backloading y Set Aside.