

# Valorización de CO<sub>2</sub> ¿Residuo o materia prima?



La dependencia de los combustibles fósiles, junto con un aumento continuado de la demanda de energía y el uso de tecnologías energéticas ineficientes, ha conducido a un incremento desmedido de las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub>, lo que está dando lugar a problemas medioambientales tan graves como el cambio climático y el calentamiento global. A día de hoy, se están realizando grandes esfuerzos con objeto de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, por medio del desarrollo de tecnologías energéticas más eficientes, el uso de energías renovables y la utilización de procesos de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>. Asimismo, se plantea como un reto de gran relevancia el desarrollo de procesos de valorización de CO<sub>2</sub> que permitan transformar este compuesto en productos de interés energético o industrial.

Autores: Víctor Antonio de la Peña O'Shea, Juan M. Coronado, David P. Serrano. Instituto IMDEA Energía

## RESUMEN

En una sociedad donde el continuo progreso tecnológico e industrial da lugar a un consumo de energía todavía basado principalmente en combustibles fósiles, uno de los mayores retos a los que debemos enfrentarnos es el impulso de nuevas tecnologías que permitan hacer frente a estas necesidades energéticas de una forma sostenible y compatible con el medio ambiente. En la actualidad, las fuentes de energía primaria fundamentales son el petróleo, el gas natural y el carbón, que aportan el 80% de la energía total que

consumimos. El resto está repartido entre energía nuclear, hidroeléctrica y otras energías renovables.

Dentro de este panorama tecnológico y energético mundial, la demanda de combustibles fósiles se ha incrementado de una manera tan desmesurada que está provocando, además, enormes daños medioambientales. Durante las últimas décadas se ha producido un aumento continuo de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, fruto de este modelo energético no sostenible basado en combustibles fósiles. Las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> (incluidos los efectos in-

directos de la deforestación) han alcanzado en 2010 cifras record de 30.6 Gt/año [1]. El incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico es uno de los principales responsables del calentamiento global debido al efecto invernadero, ya que las vías naturales de fijación del dióxido de carbono por las plantas (fotosíntesis) o en los océanos (formación de CaCO<sub>3</sub>) no resultan suficientes para absorber la gran cantidad de CO<sub>2</sub> producido por el uso de combustibles fósiles.

Recientemente, la Agencia Internacional de la Energía ha publicado la edición de 2011 del informe CO<sub>2</sub> *Emissions from Fuel Combustion* [2], que ha servido de base para los debates en el seno de la última Convención del Cambio Climático, que tuvo lugar en **Durban**, Sudáfrica, en el pasado año 2011. Este informe muestra que los países en vías de desarrollo han incrementado sus emisiones de CO<sub>2</sub> hasta 2009, mientras que los países desarrollados disminuyeron de manera significativa dichas emisiones, alcanzando niveles un 6.4% por debajo de las emisiones globales en 1990. Esta disminución de las emisiones ha sido posible gracias a la entrada en vigor del *Protocolo de Kyoto* que puso de manifiesto la necesidad de reducir las emisiones antropogénicas de dióxido de carbono mediante la aplicación de un conjunto de medidas destinadas a cambiar el actual modelo energético.

Además, de acuerdo con el IPCC (*Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático*), para estabilizar la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera en 450 ppm (el valor actual es de aproximadamente 390 ppm), sería necesario lograr una reducción en las emisiones de CO<sub>2</sub> del 50-60% antes del 2050. En este sentido, la reciente adopción de una Política Energética Europea y su transposición al ámbito español marcan ambiciosos objetivos en la reducción de emisiones para el año 2020 (20%) y recomendaciones para el año 2050 (50%), y similares porcentajes para la penetración de las energías renovables. Para la consecución de estos objetivos es imprescindible: 1) la mejora de la eficiencia de los sistemas de generación y uso de energía, 2) la utilización de energías renovables y no contaminantes, 3) la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías en procesos de post-tratamiento de CO<sub>2</sub> que incluirían secuestro, almacenamiento y valorización.

Dentro de estas medidas, una de las más importantes es la sustitución paulatina de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural). Como posibles alternativas se barajan, principalmente, la utilización de fuentes de energía renovables (eólica, solar y biomasa). La utilización de combustibles derivados de la biomasa puede contribuir a una disminución de las emisiones netas de CO<sub>2</sub> generadas por el sector del transporte. Por ejemplo en la Unión Europea se ha acordado que para el año 2020 el 10 por ciento de los carburantes utilizados sean derivados de la biomasa.

Una reducción relevante de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera requiere la eliminación de varias Giga-toneladas por año. Por esta razón, los métodos más efectivos son los de captura (absorción, adsorción y procesos de membrana) combinados con el almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, a pesar del desarrollo que han experimentado estas

tecnologías se encuentran todavía en fase de demostración. Por otra parte, el transporte y/o almacenamiento de grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, ya sea en formaciones geológicas, depósitos subterráneos, terrestres o en océanos, presenta ciertas incertidumbres respecto de sus efectos medioambientales y su estabilidad a medio/largo plazo. Por otro lado, la utilización de estos procesos conllevará un incremento en el coste de producción de la electricidad, que puede llegar a ser del 50%, además de implicar un gasto energético adicional con sus correspondientes emisiones de CO<sub>2</sub>.

Otro posible enfoque, que está suscitando interés en los últimos años, es el desarrollo de procesos de valorización de CO<sub>2</sub> que sean capaces de consumir una fracción significativa de las emisiones totales. En la actualidad cerca de 110 Mt de CO<sub>2</sub> se convierten cada año en productos químicos [3] como: urea (70 Mt/año), carbonatos inorgánicos y pigmentos (cerca de 30 Mt/año) o se usan como aditivos en la síntesis de metanol (6 Mt/año). Otros productos químicos de valor añadido, obtenidos a partir de la valorización de CO<sub>2</sub>, son el ácido salicílico (20 kT de CO<sub>2</sub> por año) y el carbonato de propileno (varios miles de toneladas por año), que ocupan una pequeña parte del mercado. Por otra parte, 18 Mt/año de CO<sub>2</sub> se utilizan como fluido tecnológico, así como en la industria alimenticia y la agroquímica. Teniendo en cuenta todos estos consumos, apenas un 1% del total de CO<sub>2</sub> emitido es reutilizado y valorizado en productos de interés. Por lo tanto, resulta necesario el planteamiento de nuevas estrategias de I+D+i respecto de la valorización de CO<sub>2</sub>, que puedan ampliar el horizonte de alternativas tecnológicas, mejorando los aspectos económicos, energéticos y medioambientales. Llevado a una visión francamente optimista todo ello podría sentar las bases para una futura “**Economía del CO<sub>2</sub>**”.

El principal obstáculo al que se enfrentan este tipo de desarrollos es la gran estabilidad que posee la molécula de dióxido de carbono, lo que la convierte en un compuesto muy difícil de activar, por lo que se requiere un elevado aporte energético. En este sentido, es esencial que los procesos de valorización de CO<sub>2</sub> estén basados en fuentes de energía renovables, como por ejemplo la energía solar, para suministrar la energía consumida durante la activación y transformación del CO<sub>2</sub>. Teniendo en cuenta todas estas consideraciones, la valorización de CO<sub>2</sub> debe enfocarse hacia la optimización de los procesos actuales y al desarrollo de nuevas tecnologías que permitan su aplicación a nivel industrial como:

- Avances en las tecnologías de separación y purificación para que sean más eficientes y económicamente rentables.
- Mejora de los procesos de valorización biológica de CO<sub>2</sub> usando biomasa de carácter no alimentario (terrestre y acuática) para la producción de productos químicos y combustibles.
- Desarrollo de procesos de valorización química de CO<sub>2</sub>, por medio de: a) Síntesis de productos químicos con aplicaciones diversas (polímeros,

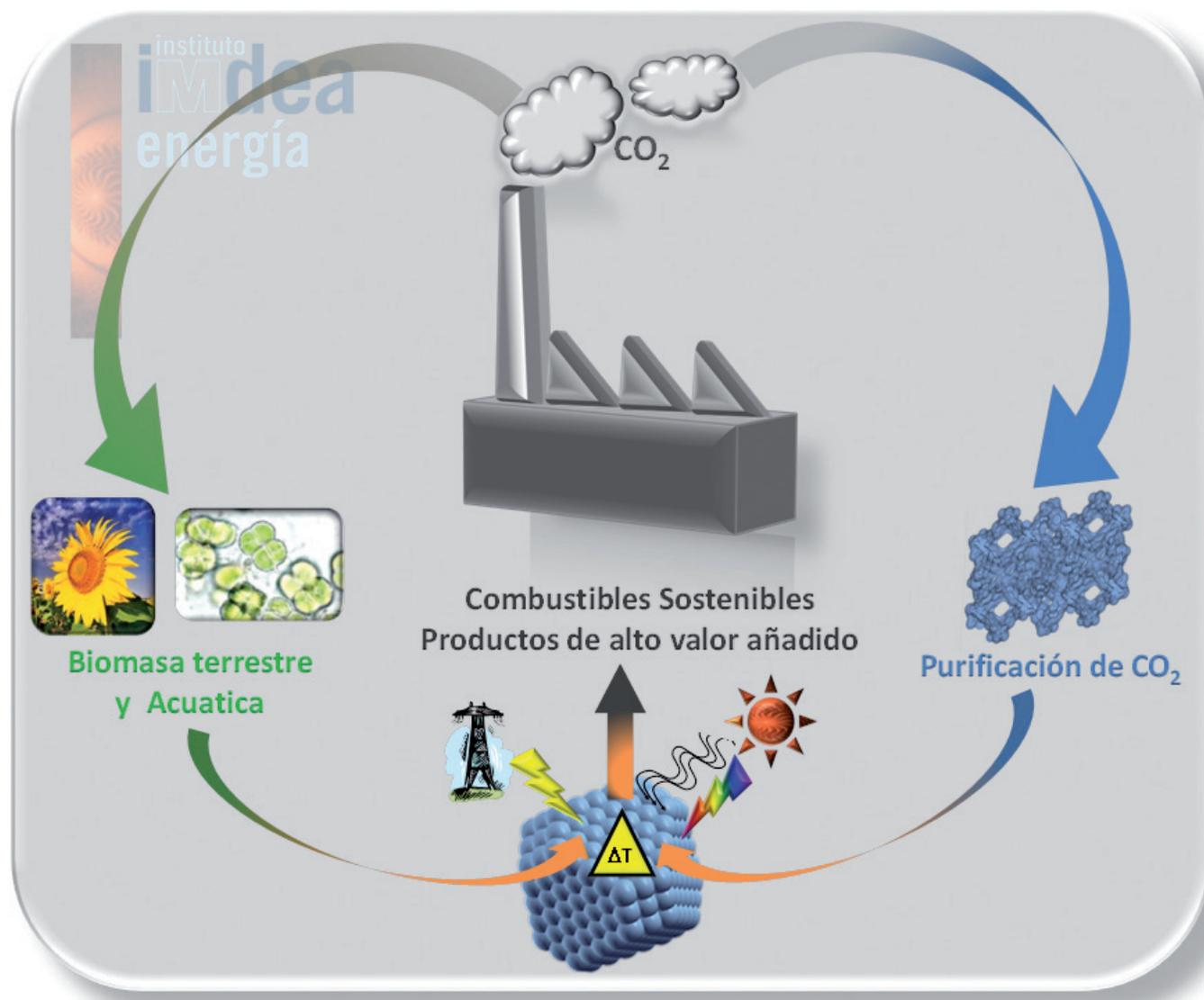
materiales de construcción, etc.), b) Producción de combustibles como hidrocarburos, metanol o de gas de síntesis, c) Uso como disolvente (CO<sub>2</sub> supercrítico) en procesos de purificación y conservación en diferentes sectores como es el caso de la industria alimentaria.

Dentro del primer grupo de utilización de CO<sub>2</sub> la síntesis de compuestos químicos es un claro ejemplo de un proceso basado en un desarrollo 'químico sostenible' [4]. En este sentido, cabe destacar el gran avance que han sufrido durante los últimos años los catalizadores utilizados en procesos de carboxilación de olefinas u otros substratos que dan lugar a la formación de ácidos carboxílicos o lactonas de gran interés en la industria de la química fina, así como la producción de carbonatos lineales o cíclicos que son la base de solventes, aditivos para gasolinas o para la producción de polímeros.

Por otra parte, uno de los grandes desafíos dentro de los procesos de valorización de CO<sub>2</sub> es la producción de

combustibles por medio de la reducción del dióxido de carbono. La mayoría de los desarrollos realizados en este campo están basados en los procesos biológicos de reducción de CO<sub>2</sub> que son llevados a cabo por una amplia variedad de microorganismos como algas y bacterias. Por otra parte, se están abordando diferentes vías de investigación y desarrollo de catalizadores y tecnologías para la elaboración de productos con aplicaciones en la industria química y energética como la generación de:

- **Gas de síntesis**, obtenido por medio de la reacción de reformado seco de metano utilizando catalizadores principalmente basados en níquel. El gas de síntesis se puede emplear en la producción de hidrocarburos de cadena larga (diesel y gasolina) y alcoholes por medio de la síntesis Fischer-Tropsch y en procesos relacionados con la química fina (hidroformilación).



Esquema de un proceso global de valorización de CO<sub>2</sub> (Fuente: Instituto IMDEA Energía)

- **Producción de metanol.** Representa una de los desarrollos industriales más importantes en lo que se refiere a los métodos de valorización de CO<sub>2</sub> de los últimos años. Este proceso combina la hidrogenación de monóxido y del dióxido de carbono utilizando catalizadores de Cu/ZnO en condiciones de reacción de entre 250-300°C y 5-10 MPa.

Por otra parte, cabe mencionar que además de las vías más convencionales, están apareciendo otros desarrollos mucho más ambiciosos dentro de los procesos de utilización de CO<sub>2</sub>. Una de ellos, que actualmente está suscitando elevado interés es la **Fotosíntesis Artificial**, que consiste en mimetizar el comportamiento de las plantas para la producción de combustibles y productos de interés industrial. La valorización fotocatalítica de CO<sub>2</sub> se realiza en condiciones suaves, empleando luz solar como fuente de energía. Esta temática de investigación constituye un enorme desafío científico.

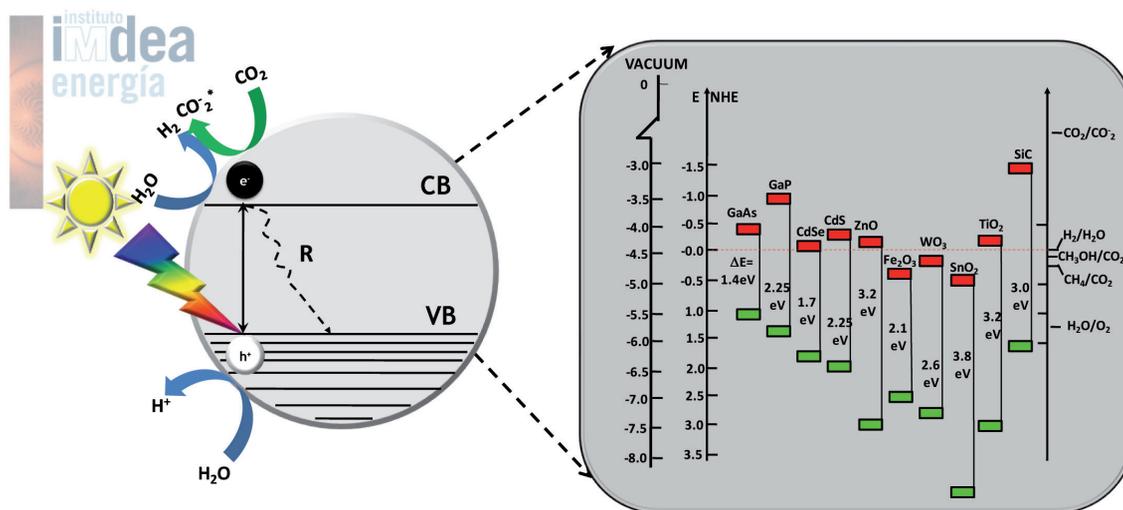
La Fotosíntesis Artificial implica el acoplamiento de dos procesos: a) por un lado, se produce la reducción del CO<sub>2</sub> que es un complejo proceso multielectrónico que tiene lugar en una escala temporal muy corta, b) por otro lado, para que el proceso redox global tenga un balance neto de cargas igual a cero, otros compuestos han de ser oxidados (donadores de electrones). Estos donadores tienen que ser compuestos abundantes y económicos para dar lugar a una alta producción con un coste competitivo. El donador de electrones más adecuado es el agua, al igual que ocurre durante la fotosíntesis. Teniendo en cuenta que en los procesos de combustión de hidrocarburos los productos finales son CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, la posibilidad de convertir estos dos productos, de nuevo, en combustibles es muy atractiva, pero para llevar a cabo con éxito estas transformaciones es necesario todavía superar numerosas barreras tecnológicas.

En el *Instituto IMDEA Energía* se están investigando nuevos sistemas catalíticos basados en la utilización de óxidos semiconductores modificados con el fin de llevar a cabo la reacción de foto-reducción de CO<sub>2</sub> utilizando luz solar. Estos materiales se modifican con la inclusión de elementos no metálicos en la estructura cristalina que modifican las propiedades optoelectrónicas y con la incorporación de metales soportados que actúan como co-catalizadores y, además, ayudan a disminuir la velocidad de recombinación electrón-hueco, facilitando la transferencia electrónica hacia los reactivos adsorbidos.

A pesar del gran potencial que tienen los desarrollos que se están llevando a cabo en las tecnologías anteriormente comentadas y los avances científicos en el diseño y síntesis de diferentes catalizadores multifuncionales, aún quedan muchas preguntas por contestar que será necesario responder antes de conseguir la aplicación de los procesos valorización de CO<sub>2</sub> a una escala industrial.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Herzog H. J., Drake E. M., "Carbon Dioxide recovery and disposal form large energy systems Annu. Rev. Energy Environ. 1996. Vol 21 p. 145.
2. International Energy Agency, CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion. Highlights (2011).
3. M. Ricci, in Recovery and Utilization of Carbon Dioxide, M. Aresta (Ed.), Kluwer, Dordrecht, 2003, pp. 395-402.
4. H. Arakawa, et al "Catalysis research of relevance to carbon management: progress, challenges, and opportunities" Chem. Rev. 2001 vol.101 p. 953



Esquema de un proceso de fotosíntesis artificial basado en un catalizador semiconductor. (Fuente: Instituto IMDEA Energía)