



# Encuentro con las ciencias para el mundo contemporáneo

Cuadernos de divulgación científica

5ª edición



**CSIC**





|   |    |
|---|----|
| Los químicos frente a los virus, una lucha sin cuartel<br>F. Javier Rojo Marcos                 | 3  |
| Plásticos: ¿una amenaza para el medio ambiente?<br>Juan Cámpora Pérez                           | 7  |
| La plasticidad de las plantas<br>Myriam Calonje Macaya  | 14 |
| Las proteínas que interpretan el código genético: una caja de sorpresas<br>Ignacio Luque Romero | 19 |
| Tecnología de plasma y materiales<br>José Cotrino Bautista                                      | 25 |
| El hidrógeno como combustible sostenible<br>Gisela Arzac y Asunción Fernández                   | 31 |
| Sobre los autores   | 36 |



## Tecnología de plasma y materiales

José Cotrino Bautista

**Resumen:** Mediante el uso de plasmas las propiedades de materiales a escala nano- o micrométrica y de láminas delgadas, depositadas sobre sustratos, pueden diseñarse y ajustarse ejerciendo control sobre el tamaño, la forma, la morfología y el ambiente (inorgánico, orgánico o biológico). Nuevas características de estos materiales, denominadas funcionalidades, tales como hidrofobicidad / hidrofiliidad, la unión a biomoléculas, respuesta magnética, respuesta de fluorescencia, inmovilización superficial, actividad catalítica, polarizabilidad, conductividad térmica, ancho de banda fotónico, alta resistencia mecánica, etc. se pueden lograr mediante el uso de estructuras de columnas, estructuras de núcleo-envoltura, materiales compuestos e híbridos que implican una amplia variedad de combinaciones de nanopartículas orgánicas, inorgánicas, o biológicas, nanohilos, nanotubos, etc., en plasma de diversas características. Las técnicas de procesamiento con plasmas constituyen una ciencia y tecnología de gran alcance con importantes aplicaciones actuales y prometedoras actividades futuras.

Desde los primeros años de la evolución la humanidad luchó por controlar el fuego. En la edad de los metales, en la revolución industrial y en el desarrollo de la industria de semiconductores. Los griegos presocráticos ya afirmaron que eran cuatro los elementos de la naturaleza: tierra, agua, fuego y aire. Hoy al fuego se le denomina plasma y es el estado de agregación más abundante de la naturaleza, la mayor parte de la materia en el Universo visible se encuentra en estado de plasma, una gran parte del cual es el enrarecido plasma intergaláctico y las estrellas.

Formamos plasma al conseguir arrancar electrones de las órbitas de átomos y moléculas aplicando cualquier tipo de energía (Figura 1). De esta manera se obtiene un nuevo medio en el que coexisten electrones, iones y partículas neutras. Normalmente el plasma es cuasi-neutro, es decir, la cantidad de electrones e iones es casi la misma y realizando el cociente entre el número de electrones y de partículas neutras se define el grado de ionización.

Los dos parámetros fundamentales que nos ayudan a clasificar los diferentes tipos de plasmas son el valor de la densidad electrónica, número de electrones por unidad de volumen, y la energía media (temperatura) de los electrones. Podemos encontrarnos plasmas con una densidad electrónica extremadamente baja o extremadamente alta. Lo mismo podemos decir para la temperatura de los electrones. Estos dos parámetros son muy importantes para entender los procesos que ocurren en el interior del plasma cuando trabajamos con materiales.

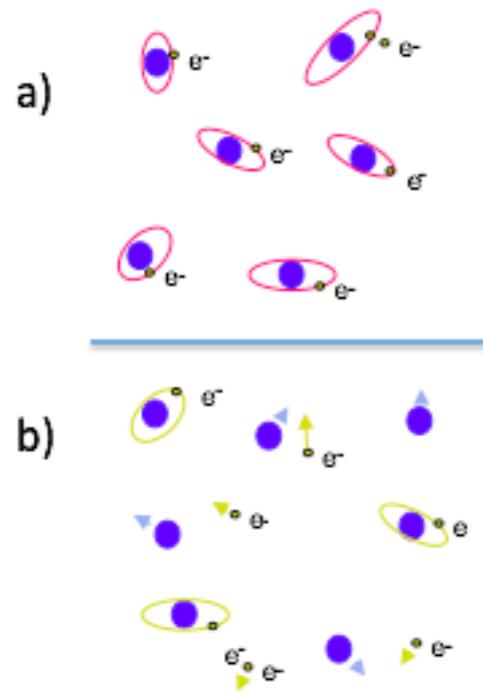


Figura 1. a) En un gas neutro los electrones permanecen acotados dentro de las partículas neutras, b) al suministrar energía arrancamos electrones de las órbitas y tenemos una mezcla de electrones, iones, partículas neutras, radicales, etc.

Podemos tener plasmas muy ionizados (alto grado de ionización), cuando prácticamente todas las especies neutras se han roto, como en las estrellas, y plasmas poco ionizados (grado de ionización pequeño), donde el

número de electrones es muy inferior al de neutros, como en los plasmas tecnológicos que usamos en los laboratorios. En la Tierra los plasmas muy ionizados también tienen importantes aplicaciones en la búsqueda de la fusión nuclear como alternativa energética.

Entre las especies neutras coexisten los denominados “radicales”, especies de gran reactividad química, muchas de ellas solo existentes en ambientes de plasma. Ejemplos de radicales pueden ser las especies atómicas de oxígeno y nitrógeno o el grupo hidroxilo. También tenemos fotones, provenientes de la des-excitación de neutros con más energía, estos fotones, dependiendo de su origen pueden ser desde ultravioletas a infrarrojos. Tenemos ya los ingredientes fundamentales de nuestro plasma tecnológico, jugando adecuadamente con ellos podemos

realizar lo que se denomina la “Química del plasma”. En la Figura 2 se presentan los dos tipos de plasmas de mayor interés industrial. Tenemos los plasmas que se denominan no térmico y en ellos son sus diferentes especies las que constituyen la materia prima para el

|  |  |
|--|--|
| <p><b><math>T_e \approx T_g \approx 2000 \text{ K}</math></b></p>  <p><b>Plasma térmico<br/>(antorcha de plasma)</b></p> | <p><b><math>T_g \approx 300 \text{ K}, T_e \approx 30000 \text{ K}</math></b></p>  <p><b>Plasma no térmico<br/>(magnetron)</b></p> |
|--|--|

Figura 2. Plasmas de interés industrial con grados pequeños de ionización. Plasmas térmicos en los que electrones y neutros tienen igual temperatura y plasmas no térmicos (plasmas fríos) donde los electrones (menos numerosos) alcanzan elevadas temperaturas, permaneciendo el gas neutro cercano a la temperatura ambiente



tratamiento, creación y modificación de materiales. En este tipo de plasma, los electrones aunque menos numerosos poseen una gran energía, ya que son partículas de menor masa y adquieren fácilmente energía de fuentes externas. Tenemos pues una situación en la que los electrones menos numerosos adquieren gran energía y las partículas neutras, más numerosas, prácticamente permanecen con la energía ambiente. Existe también la posibilidad de conseguir un plasma poco ionizado en condiciones denominadas térmicas, ahora electrones y partículas pesadas pueden alcanzar casi la misma temperatura. De es-

tos plasmas usamos su elevada densidad de energía para las aplicaciones tales como recubrimientos cerámicos con antorchas o para soldadura por plasma.

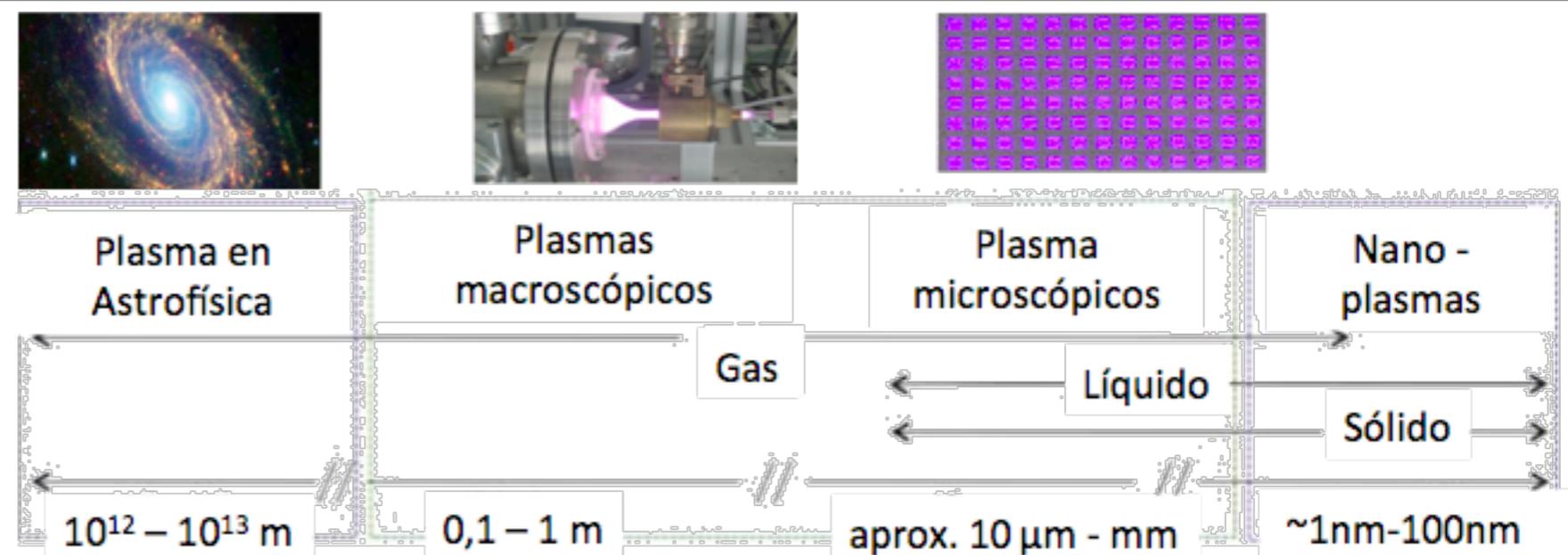
Ahora podemos dar una definición del cuarto estado de la materia, los plasmas son medios conductores compuestos de partículas cargadas, neutras y campos electromagnéticos (producidos al moverse las partículas cargadas) que interaccionan a grandes distancias (efecto colectivo).

En las aplicaciones tecnológicas podemos encontrar plasmas en un amplio espectro de escalas de distancia y de energía,

decimos que los plasmas son radicalmente multiescala. En la Figura 3 podemos ver la enorme escala de longitudes en las que tenemos plasma e interacción con materiales. Desde escalas del orden astrofísico a escalas de orden nanométrico.

Manejando de forma adecuada las características únicas del plasma y los fenómenos físico/químicos específicos en la organización de los sistemas en estado sólido a macro, micro y nanoescala, en una gran gama de composiciones, de estructuras y dimensiones, podemos conseguir materiales imposibles por otros procedimientos.

**Figura 3. Plasmas en diversas situaciones.** En las aplicaciones tecnológicas, desde la escala nano a la macro, el plasma puede coexistir con el resto de estados de la materia (gas, líquido y sólido).





En los reactores de plasma mediante el control de la producción, el transporte, y la auto-organización de las diferentes especies precursoras se tiene una gran variedad de procesos fuera del equilibrio termodinámico que dan lugar a procesos cinéticos impulsando fenómenos específicos del plasma a través de las diversas escalas temporales y espaciales. La capacidad de controlar la localización de la energía a diferentes escalas y la materia liberada en el interior de los plasmas es la clave para conseguir las propiedades morfológicas, estructurales y funcionales deseadas de los materiales. Por otro lado, la energía y la materia también pueden limitarse a escalas nanométricas si el propio plasma se limita a la nanoescala, en otras palabras, cuando se generan nanoplasmas.

Tenemos así una rama de la tecnología genérica que tiene que ver con modificaciones de superficies, recubrimientos y nuevos materiales. En el proceso de modificación de la superficie las propiedades de la superficie del material del sustrato se cambia, como por

ejemplo en el endurecimiento de la superficie de acero mediante la introducción de carbono o nitrógeno en la superficie o como en el dopado de semiconductores para cambiar su conductividad eléctrica. En el proceso que implica la aplicación de un recubrimiento, el material del sustrato y el revestimiento pueden ser muy diferentes, como por ejemplo en la deposición de aluminio o cromo sobre superficies de polímero o la deposición de un revestimiento duro de nitruro de titanio sobre herramientas de trabajo.

¿Qué características de los procesos son importantes para formar o provocar las modificaciones deseadas de la superficie? Se tiene que considerar el papel de la presión, la concentración de especies en el plasma, la energía cinética de las partículas incidentes, velocidad de deposición, la naturaleza del material del sustrato, la temperatura del sustrato y la limpieza de la superficie, la orientación y la nano- o microestructura. Todos estos tienen un efecto sobre el tipo de nano- o microestructura de la película/material que

se forma. La nano- o microestructura que se forma también puede ser influenciada por agentes externos, tales como fotones, electrones y bombardeo iónico. ¿Cuál es la relación de las variables en el procesamiento con las características nano- o microestructurales de las películas? Responder a esta pregunta de forma adecuada pasa por tener un buen control de las propiedades del plasma y controlar con precisión los flujos de materia y energía al material. Esto se realiza mediante técnicas de diagnóstico o de simulación numérica del plasma.

## Aplicaciones

La tecnología de plasma está encontrando aplicación en todas aquellas áreas que son muy exigentes en calidad, productividad, compatibilidad ambiental, precisión y flexibilidad. Esto se refiere, en particular, al suministro de la energía, el medio ambiente, la salud y la movilidad, y muchas otras. Es especialmente importante en las áreas de crecimiento de la electrónica, el automóvil, en máquinas-he-



ramientas, en la tecnología de la energía, la industria de la óptica, y la textil, la tecnología del medio ambiente, y la medicina.

En la Figura 4 se han representado algunas de las posibles aplicaciones de los plasmas en diversas técnicas actuales de producción. Se señalan las aplicaciones ópticas, la industria de semiconductores, las nuevas y prometedoras aplicaciones de los plasmas en el campo de la medicina, las aplicaciones de embalajes para alimentación e industria. Otros apartados importantes lo constituyen las aplicaciones de los plasmas para la descontaminación de gases, y las nuevas síntesis química de productos usando plasmas, el diseño y elaboración de sensores específicos a una gran cantidad de agentes y las enormes posibilidades de modificar los materiales para dotarlos de propiedades específicas, funcionalización. En resumen, La tecnología de plasma es una tecnología del futuro, una tecnología que puede hacer una importante contribución al crecimiento sostenible, la innovación y la aparición de nuevos productos.

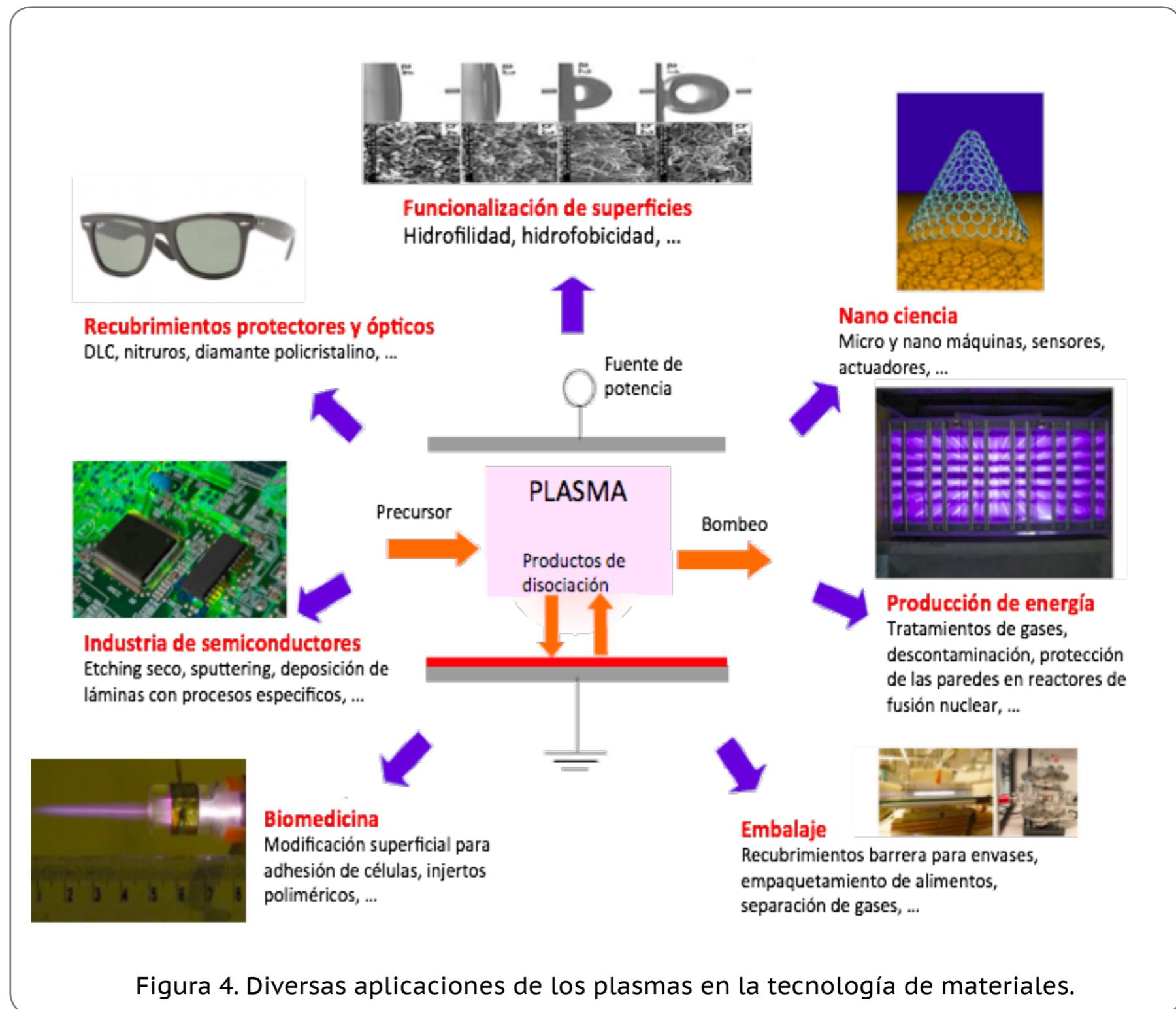


Figura 4. Diversas aplicaciones de los plasmas en la tecnología de materiales.



## Conclusiones

- El plasma suministra una gran variedad de especies energéticas, excitadas, y activas en la forma de partículas cargadas, neutras y radicales.
- Las características del plasma, densidad y energía de los electrones, su distribución espacial y temporal, permiten controlar la producción, el transporte, y la auto-organización de dichas especies.
- Las especies del plasma pueden usarse de muchas maneras para crear y ajustar (casi) cualquier funcionalidad de un material simple o compuesto, a temperatura relativamente baja, con técnicas respetuosas del medio ambiente, en cualquier forma dimensional, morfología, y área superficial con precisión muy elevada
- Debido al excelente control que se puede realizar en el plasma y a la reproducibilidad de sus resultados en las aplicaciones de la tecnología de materiales, hoy día asistimos a una explosión de nuevas aplicaciones en microelectrónica, fotónica, óptica integrada, celdas solares, sensores, dispositivos para almacenamiento de datos e imágenes, espintrónica, ingeniería de superficies, micro-mecánica, micro-robótica, etc.

### Para saber más:

- Francisco José Gordillo Vázquez. Investigación y ciencia, ISSN 0210-136X, Nº 381, 2008, págs. 70-79. Plasmas fríos
- Teresa De Los Arcos e Isabel Tanarro. Plasma: El Cuarto Estado De La Materia. Los Libros de la Catarata (16 de mayo de 2011) ISBN-10: 8483195941
- Una gran cantidad de información sobre los plasmas y sus aplicaciones ([www.plasmas.org](http://www.plasmas.org))



## El hidrógeno como combustible sostenible

Gisela Arzac y Asunción Fernández

**Resumen:** Existe una consciencia generalizada de que nuestro actual modo de vida implica un alto consumo energético. Esta energía proviene de los combustibles fósiles que producen contaminación y a la vez son escasos. El hidrógeno se propone como el combustible del futuro porque es capaz de producir grandes cantidades de energía sin contaminar y porque en principio, su precursor, el agua es muy abundante. Sin embargo, no todo es tan sencillo: los científicos tenemos mucho que trabajar para que el hidrógeno sea realmente sostenible, seguro y práctico y de eso va este artículo.

### ¡Energía para todo!

Estamos transitando ya la segunda década del siglo XXI y todos nosotros alguna vez hemos oído hablar de cuestiones como el significativo aumento que se está produciendo en la población mundial, los problemas que se generan con la búsqueda y posesión de fuentes de energía (que actualmente son petróleo y carbón) y la contaminación que el uso de las mismas genera. También es cierto que se oye hablar de sostenibilidad, ahorro energético, reducción de la contaminación, etc. ¿Cómo se relacionan todas estas cuestiones?

En primer lugar tenemos que tener en claro que la humanidad se ha desarrollado a

pasos agigantados a partir de las revoluciones industriales. Digamos que en los últimos 150 años el hombre produjo más conocimiento y más crecimiento que en el resto de los miles de años que lleva sobre esta tierra. Ese crecimiento ha permitido mejorar la calidad y la esperanza de vida para la mayoría de los habitantes de este mundo. Ahora, este crecimiento implica un consumo energético mundial muy grande: energía para fabricar bienes (maquinarias, automóviles, viviendas, indumentaria, etc), energía para fabricar los alimentos, energía para transportarlos de un punto a otro del planeta... es decir: Energía para todo. Por otra parte, cada vez somos

más habitantes en el planeta con lo cual el consumo energético se eleva constantemente.

### ¿De dónde obtiene el hombre la energía?

En el apartado anterior vimos que para vivir como vivimos... necesitamos grandes cantidades de energía... más aún cuanto más desarrollado sea el país en el que estemos. La energía que utilizamos hoy en día proviene principalmente de los combustibles fósiles: petróleo, gas natural y carbón. Estos combustibles fósiles son excelentes almacenadores de energía por unidad de masa (por gramo, por ejemplo)... Sin embargo, no son sostenibles. Si observamos la reacción química por la que se produce la energía vemos que



conjuntamente se genera dióxido de carbono y otros compuestos contaminantes. Por otro lado, los combustibles fósiles algún día se van a acabar. Y aquí queda planteado el problema, y aquí venimos los científicos, que nos encanta meternos en los problemas de nuestra sociedad para tratar de darles una solución que sea más sostenible.

hidrógeno molecular (H<sub>2</sub>). El hidrógeno como sabréis es el primero de la tabla periódica, el más ligero de todos y el más abundante del Universo. En nuestro Planeta Azul, el hidrógeno se encuentra “camuflado” formando una de las moléculas más importantes para nuestra vida: el agua (H<sub>2</sub>O). El hidrógeno molecular (H<sub>2</sub>) es algo así como un combustible

No todo es tan fácil como pensamos. El hidrógeno molecular tiene sus cuestiones también

La ecuación anterior parece resolverlo todo... o casi todo: nos dice que si usamos el hidrógeno como fuente de energía obtenemos agua que no contamina nada nada (en principio). Pero sin embargo surgen varios problemas:

¿De dónde sacamos el hidrógeno molecular?  
¿Cómo almacenamos el hidrógeno molecular?

Hay más preguntas, pero nos vamos a quedar con las más importantes, las preguntas del millón.

Con respecto a la primera pregunta, el hidrógeno molecular (H<sub>2</sub>) no existe como tal

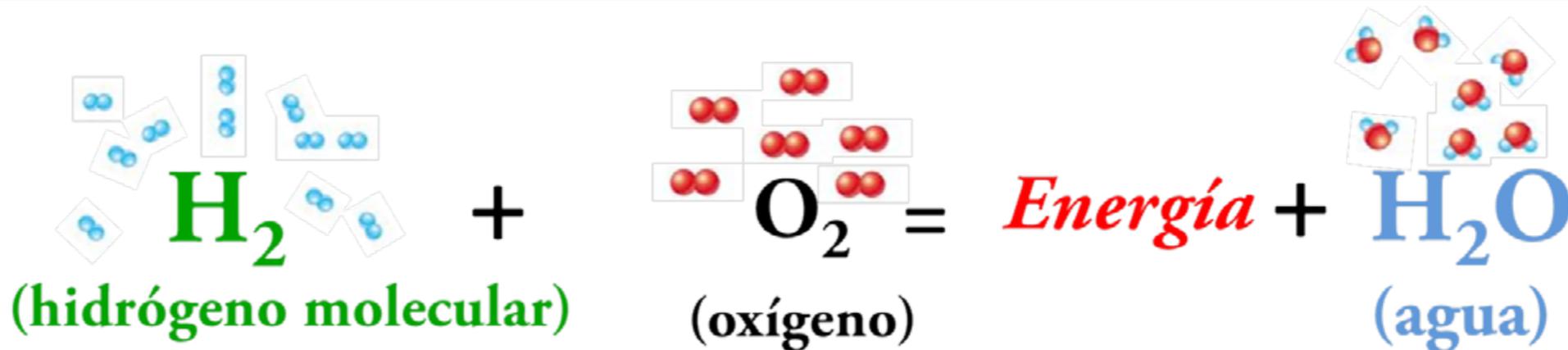
combustibles fósiles + oxígeno = **energía** + dióxido de carbono + otros contaminantes  
Ecuación de generación de energía por combustibles fósiles

¿Y el hidrógeno, ¿para qué sirve?

En el apartado anterior explicamos que nuestro modo de vida actual no es sostenible, porque requiere grandes cantidades de energía que se producen a partir de los combustibles fósiles que son contaminantes y cuya cantidad es limitada.

Para darle solución a este problema, los científicos, allá por los años ´70 del siglo pasado propusieron utilizar el

“del futuro” porque, una vez formado, puede dar grandes cantidades de energía por unidad de masa (por gramo), y el único producto que genera es: ¡Agua!. Veamos la ecuación:



Ecuación de generación de energía por el hidrógeno



en la naturaleza. Para generarlo, el hombre tiene que utilizar sus conocimientos de química y hacer transformaciones sobre otras moléculas que contengan átomos de H. Actualmente el hombre produce H<sub>2</sub> a partir de los combustibles fósiles... pero eso no es lo que queremos (si no quedó claro releer los apartados 1 y 2). Lo que sería ideal es producir el H<sub>2</sub> a partir del agua, que tan abundante es en nuestro planeta. Sobre este tema, científicos en todo el mundo están trabajando hace ya mucho tiempo.

La segunda pregunta, no es para nada trivial. El almacenamiento de hidrógeno es uno de esos problemas de la ciencia aplicada que nos comen el coco, porque la solución al problema tiene que adaptarse muy bien a las necesidades. Veamos el siguiente apartado **De cómo solucionar el problema del almacenamiento de hidrógeno**

Lo primero que tenemos que saber es que a temperatura ambiente el H<sub>2</sub> es un gas. Esto es una desventaja con respecto a la mayoría de los combustibles fósiles que

son líquidos. ¿Cuáles son los problemas que se plantean al almacenar un gas? En primer lugar el gas es poco denso, lo que quiere decir que tiende a ocupar mucho lugar. Esto hace que los tanques de almacenamiento de hidrógeno tengan que ser enormes (fíjate en la gráfica el espacio que ocuparía un tanque de H<sub>2</sub> gaseoso a presión que permita recorrer 400km sin repostar). Por otra parte, el hidrógeno se escapa por la ma-

yoría de los materiales. Los científicos estudian constantemente nuevos materiales que permitan almacenar el hidrógeno sin pérdidas (es que si el hidrógeno molecular llega a encontrarse con el oxígeno de nuestra atmósfera sin control puede explotar) en tanques lo más pequeños posibles.

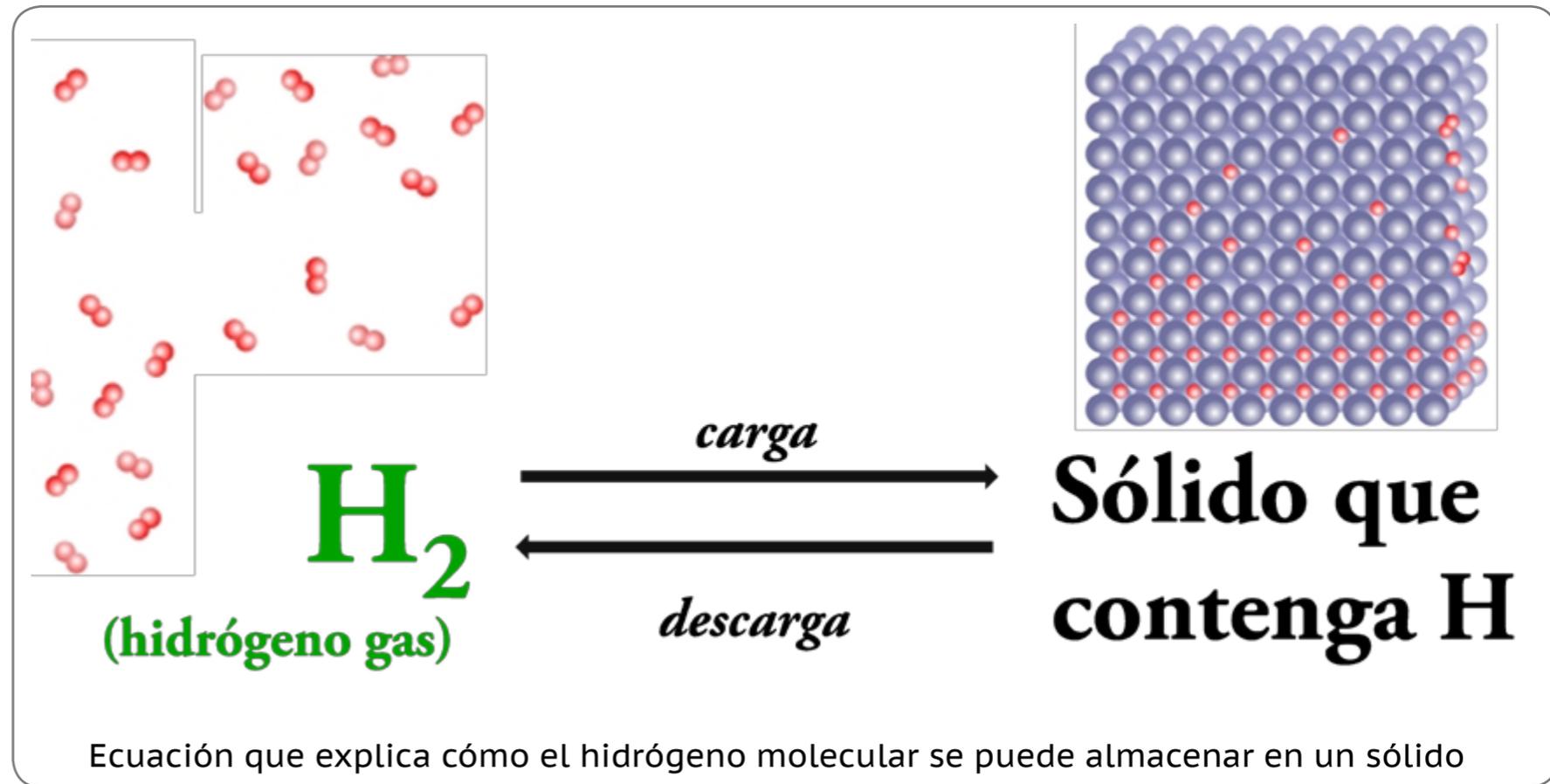


**Esquema del volumen que ocuparía: (de izq a derecha) tanques de almacenamiento sólido de hidrógeno ( $Mg_2NiH_4$ ,  $LaNi_5H_6$ ), tanque de almacenamiento líquido de hidrógeno y tanque de almacenamiento en forma de gas a presión para recorrer 400km.**



Entonces el almacenamiento en forma de gas puede ser útil para las denominadas “aplicaciones estacionarias” (casas, industrias, etc) pero de ninguna manera para “aplicaciones móviles” como un coche que pretenda llevar pasajeros y utilizar un maletero. Tal vez sí para un tren o un gran camión que disponga de suficiente espacio.

El almacenamiento en forma de sólido es el más interesante. Los sólidos son muy densos con lo cual a igual cantidad de masa ocupan mucho menos espacio que los gases. Además es mucho más seguro que almacenarlo en forma de gas. ¿Cómo hacer que el hidrógeno molecular, que es un gas se transforme en sólido? La respuesta está en la propia pregunta, en una “transformación” que es lo que nos encanta a los químicos. La idea es hacer reaccionar químicamente (transformar) el  $H_2$  en un material sólido (como por ejemplo el  $LaNi_5H_6$  en la gráfica de más arriba) que sea estable (que no se descomponga) y que libere el  $H_2$  nuevamente según sea necesario. A ver qué te parece esta ecuación:



Lo que hacemos en nuestro Instituto de Ciencia de Materiales

En nuestro Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla hay grupos que estudian diversos aspectos de la temática del hidrógeno. En particular, en nuestro grupo (NanoMatMicro) estudiamos reacciones de descarga (mira la ecuación de arriba) de sólidos muy seguros y que ocupan muy poco espacio y que

dan hidrógeno. Con ese hidrógeno generamos energía útil. La reacción de descarga es la de hidrólisis (reacción con agua) del borohidruro sódico ( $NaBH_4$ , mira la ecuación de abajo) y del borano de amoníaco ( $NH_3BH_3$ ) Ahora esa reacción de descarga es muy lenta, con lo cual empleamos catalizadores, que no son más que materiales que aceleran la reacción, haciendo que transcurra a velocidades apre-



Ecuación de generación de Energía por el borohidruro sódico

ciables. Esos catalizadores no los elegimos al azar, sino que los estudiamos mucho a nivel nanoscópico utilizando microscopios avanzados... ¡Para intentar quedarnos con el mejor!

## Conclusiones

A lo largo de estos apartados hemos recorrido el camino que realiza un científico de principio a fin. En particular hemos tra-

bajado con la problemática del hidrógeno. Se planteó un problema relacionado con el consumo energético y el uso de los combustibles fósiles. Se mostró como el hidrógeno es un gran candidato a ser el combustible del futuro porque no es contaminante. A su vez se mostró que existe una serie de problemas relacionados con el uso del hidrógeno que

son el comederero de coco de los científicos: la producción el mismo y el almacenamiento. Explicamos los principales desafíos que enfrentamos los científicos respecto al almacenamiento de hidrógeno y por último lo que hacemos en este instituto de investigación.

## Para saber más:

- <http://auto.howstuffworks.com/fuel-efficiency/fuel-economy/hydrogen-economy5.htm>
- [http://www.esa.int/esaKIDSen/SEMG7G62Q8H\\_Technology\\_0.html](http://www.esa.int/esaKIDSen/SEMG7G62Q8H_Technology_0.html)



F. Javier Rojo  
Marcos

Licenciado en Ciencias Químicas (1989) y doctor en Ciencias Químicas (1995) por la Universidad Autónoma de Madrid. Estancias postdoctorales en la Universidad Louis Pasteur de Estrasburgo, Francia (1995-1898) bajo supervisión del Prof. Jean Marie Lehn (Premio Nobel de Química 1987) y el Boston College, USA (1998-1999) bajo supervisión del Prof. Larry W. McLaughlin. Incorporación al Instituto de Investigaciones Químicas con un contrato de reincorporación (2000-2001) y posteriormente como Investigador Ramón y Cajal (2001-2004). En mayo 2004, Científico Titular del CSIC promocionando a Investigador Científico en 2011. Desde mayo 2012, Coordinador del Área de Ciencia y Tecnologías Químicas del CSIC. Trabaja en Reconocimiento molecular; Química de dendrímeros; Química de carbohidratos; Química biológica y Aplicaciones en Nanobiomedicina.



Juan Cámpora  
Pérez

Profesor de Investigación en el Instituto de Investigaciones Químicas desde 2012. Finalizó sus estudios de la Licenciatura en la Facultad de Química de Sevilla en 1986, y realizó su Tesis Doctoral en la misma Universidad. Durante los años 1990 – 1992, disfrutó de una beca postdoctoral Fulbright en el Massachussets Institute of Technology (Cambridge, MA, EE. UU.). Durante los años 2000 – 2004 ostentó la dirección del IIQ, y posteriormente ha sido Vocal de la Comisión del Área de Química y Tecnologías Químicas del CSIC y coordinador el nodo nacional de la Red de Excelencia IDECAT. En la actualidad es vicedirector del IIQ. Sus intereses se centran en la Química Organometálica de los elementos de transición y en sus aplicaciones en Catálisis Homogénea, en particular en el desarrollo de nuevos catalizadores para la polimerización de olefinas.



Myriam Calon-  
je Macaya

Licenciada en Ciencias Biológicas por la Universidad Complutense en 1992. Después de terminar la carrera, realizó la tesina (1992-1994) y la tesis doctoral en el Centro de Investigaciones Biológicas (CIB-CSIC) de Madrid (1994-1998). Tras el doctorado, ha realizado trabajos en distintos centros e institutos de investigación, no solo en España, como en el Centro de Biotecnología de Madrid (1999-2000) y en la Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid (2001-2002), si no también en el extranjero, como en la Universidad de Berkeley (California) (2003-2006) y en la de Heidelberg (Alemania) (2007-2012). Recientemente ha regresado a España para trabajar en el Instituto de Bioquímica vegetal y Fotosíntesis de Sevilla (IBVF).



Ignacio Luque  
Romero

Licenciado en Biología por la Universidad de Sevilla en 1990 y Doctor en Biología por la misma universidad en 1995. Entre los años 1995 y 2000 realizó estancias postdoctorales en el Center for Advanced Biotechnology and Medicine (New Jersey, Estados Unidos) y en el Instituto Pasteur y la École Normale Supérieure (París, Francia). Se reincorporó a la Universidad de Alicante con un contrato Ramón y Cajal (2001-2006) y desde finales de 2006 es Científico Titular del CSIC en el Instituto de Bioquímica Vegetal y Fotosíntesis donde dirige un grupo de investigación.



José Cotrino  
Bautista

Licenciado en Ciencias Físicas (1975) y doctor en Física (1982) por la Universidad de Sevilla. Becario postdoctoral en la Universidad Técnica de Lisboa con el Grupo de investigación del Profesor Carlos Matos Ferreira. Profesor Titular en las Universidades de Córdoba (1982-1991) y Sevilla (1991-2010), Catedrático de la Universidad de Sevilla desde 2010. Miembro del Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (centro mixto de la Universidad de Sevilla y el CSIC). Participa en temas de investigación relacionados con la utilización de plasmas para la creación y modificación de materiales, en particular el uso de técnicas de diagnóstico de estos plasmas y la elaboración de modelos numéricos.



Asunción  
Fernández Camacho

Profesora de investigación del CSIC. Licenciada en Química por la Universidad de Cádiz, en Física por la UNED y Doctora rer. Naturforschung por la Universidad de Dortmund (Alemania). Ha sido estudiante de doctorado en la prestigiosa Sociedad Max Planck y directora del Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla entre 2001 y 2009. Es responsable científica del laboratorio de microscopía electrónica del ICMS y del servicio del CiCCartuja desde 1996. Su labor investigadora se centra en el estudio físico-químico de materiales con tamaños de grano por debajo de 50 nm (nanomateriales).



## Comisión de divulgación

María Pozas Vizoso, Gerencia (cicCartuja)

M<sup>a</sup> del Pilar Palma Ramírez, Investigadora Científica CSIC (IIQ)

Asunción Fernández Camacho, Profesora de Investigación CSIC (ICMS)

M<sup>a</sup> Teresa Ruiz Pérez, Investigadora contratada CSIC (IBVF)

Idalino Rocha González, Comunicación (cicCartuja)

## Coordinador de la edición

Idalino Rocha González, Comunicación cicCartuja



**CSIC**



# cicCartuja

centro de  
investigaciones científicas  
isla de la cartuja



Avda. Américo Vespucio, 49  
Isla de la Cartuja  
41092 Sevilla

T. +34 954 489 501

F. +34 954 460 165

[www.ciccartuja.es](http://www.ciccartuja.es)

[comunicacion@ciccartuja.es](mailto:comunicacion@ciccartuja.es)



**CSIC**

