



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



Los químicos frente a los virus, una lucha sin cuartel

F. Javier Rojo Marcos

Resumen: A pesar de los grandes avances de la medicina en el S. XX, la aparición de nuevas enfermedades y la resistencia de los patógenos a los fármacos que se encuentran disponibles en el mercado hace que la batalla contra estos invasores continúe. La globalización y el flujo de personas de un punto al otro del planeta han contribuido a la diseminación de enfermedades por todo el mundo. Para combatir estas nuevas amenazas es necesaria la colaboración entre médicos, biólogos y químicos lo que permitirá el desarrollo de nuevos fármacos eficaces en la lucha contra estos invasores.

Uno de los grandes logros de la humanidad ha sido la capacidad de combatir las enfermedades que nos acechan, lo cual ha aumentado la calidad de vida de la población y ha alargado de manera notable la esperanza de vida que ha pasado de los 30-40 años a principios del siglo XIX a los 67 años de media actual. Esto se ha debido por un lado, al aumento extraordinario de las medidas de higiene que han permitido mantener a raya a los patógenos y evitar en la medida de lo posible la transmisión de un individuo a otro. Por otro lado, el desarrollo de la investigación básica y de la industria farmacéutica ha contribuido notablemente a aumentar el arsenal de fármacos disponibles, lo que ha permitido dis-

poner de las armas necesarias para combatir de manera eficiente muchos patógenos (virus, bacterias, hongos, parásitos). Sin embargo,

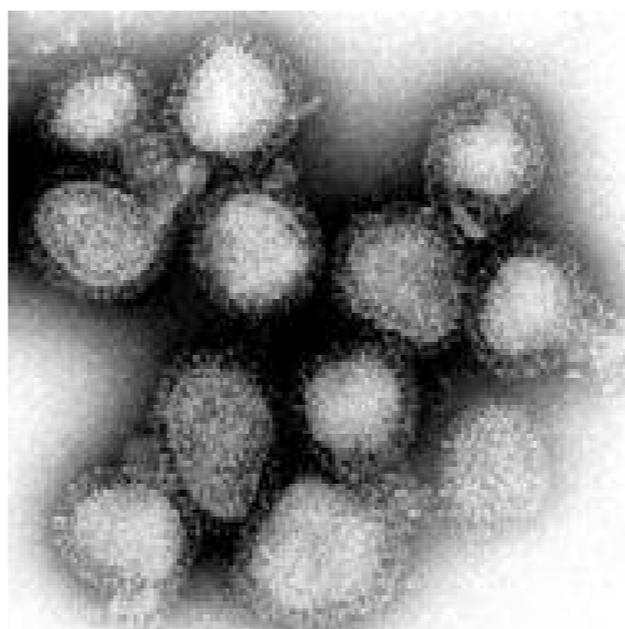


Figura 1: Imagen por microscopía electrónica del virus de la gripe.

aunque se han ganado muchas batallas y hay enfermedades que se han erradicado de la faz de la tierra como la viruela (erradicada en 1977) y casi del todo también la poliomielitis, existen otras muchas que se resisten como el SIDA causado por el VIH.

El trabajo conjunto de médicos y biólogos ha permitido conocer y entender los mecanismos a través de los cuales transcurren los procesos de infección y determinar en muchos casos, los receptores celulares implicados en dichos procesos (entrada del patógeno, replicación, transmisión, etc.). Todo este conocimiento ha contribuido de forma muy importante al diseño y la preparación de nuevos fármacos más eficaces aunque des-



afortunadamente, el enemigo también tiene sus propias armas. Virus y bacterias son capaces de presentar resistencia a los fármacos que hay en el mercado, mutan, cambian y se modifican para poder resistir el ataque de las armas terapéuticas y para engañar al organismo y a sus defensas. Con este panorama queda todavía mucho por hacer para poder ganar esta guerra.

Un caso paradigmático es el virus de inmunodeficiencia humano o VIH. Este virus apareció en escena a principios de los años 80 y es el causante de una enfermedad conocida como SIDA (Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida). El VIH es probablemente uno de los virus de los que se tiene una mayor información y en los que más esfuerzos humanos y económicos se han invertido a lo largo de muchos años. A pesar de todo el arsenal de fármacos disponibles en el mercado y de lo que se conoce como terapia antiretroviral de alta eficacia, el VIH sigue constituyendo una verdadera pandemia de enormes dimensiones a nivel mundial. Según los datos oficiales

de ONUSIDA en 2012, el número de personas infectadas por el virus era alrededor de 34,3 millones, produciéndose cerca de 2,3 millones de nuevos infectados anualmente y alrededor de 1,6 millones de fallecimientos. Estas cifras ponen de relieve el impacto que este virus tiene sobre la población y sobre todo, el devastador efecto que tiene sobre la sociedad y la economía de muchos países en vías de desarrollo, fundamentalmente en el continente africano y asiático. En 30 años de investigación se han aprobado para uso clínico en el tratamiento del SIDA 25 compuestos de diferente clase. La actividad de estos fármacos es muy variada y presentan diferentes dianas que se encuentran en las distintas etapas del ciclo infectivo del virus. A pesar de todo este arsenal de medicamentos, hasta el momento lo que se ha conseguido en el tratamiento del VIH es controlar el progreso de la enfermedad y que las personas infectadas por dicho virus puedan llevar una vida más o menos aceptable con los inconvenientes de tener que seguir un tratamiento caro de por vida.

La búsqueda de una vacuna frente al VIH ha sido durante los últimos años uno de los programas prioritarios de investigación en muchos países. Sin embargo, y a pesar de todos los esfuerzos empleados, esta tarea ha sido poco exitosa. La razón es bien conocida y reside en la gran capacidad que tiene este virus de variar su estructura y eludir al sistema inmunitario. En octubre de 2013 ha tenido lugar en Barcelona el congreso mundial de in-



Figura 2: Fármacos comerciales



Figura 3: Laboratorio de investigación química

investigación sobre la vacuna del VIH. En este congreso ha quedado patente los esfuerzos y avances en este campo en el que participan de forma muy activa investigadores españoles. Sin embargo, estamos todavía lejos de tener una vacuna lista en el mercado con la que poder contar. En numerosas ocasiones se ha puesto de manifiesto la necesidad de nuevos planteamientos sobre la inversión en investigación y sobre las nuevas terapias que debían abordarse frente al SIDA y ha quedado patente la necesidad de profundizar más en los conocimientos básicos a nivel molecular de los procesos que tienen lugar durante la infección para buscar nuevas alternativas y fármacos más efectivos en la lucha contra el VIH. Estos datos demuestran que a pesar de todo lo que conocemos acerca del VIH, aún queda mucho por descubrir y por conocer acerca del virus y de su mecanismo de infección.

Un hito importante en esta investigación tuvo lugar en el año 2000, cuando investigadores de Holanda y Estados Unidos pusieron de relieve el papel fundamental que juega un receptor celular en el proceso de infección del VIH, el receptor DC-SIGN. Posteriormente se ha demostrado que dicho receptor interacciona con muchos otros patógenos (virus, bacterias, hongos y parásitos) lo que ha conducido a que se le denomine receptor universal de patógenos. Por esta razón, hay un gran número de grupos de investigación (entre ellos, el nuestro del Instituto de Investigaciones Químicas del CSIC en el cicCartuja de Sevilla) que están dedicando muchos esfuerzos a entender cómo funciona este receptor y al diseño de nuevas moléculas capaces de inhibir su interacción con el VIH. Estas moléculas tendrían la capacidad de evitar la entrada del virus en el organismo y por lo tanto, de ser consideradas como nuevos compuestos antivirales.

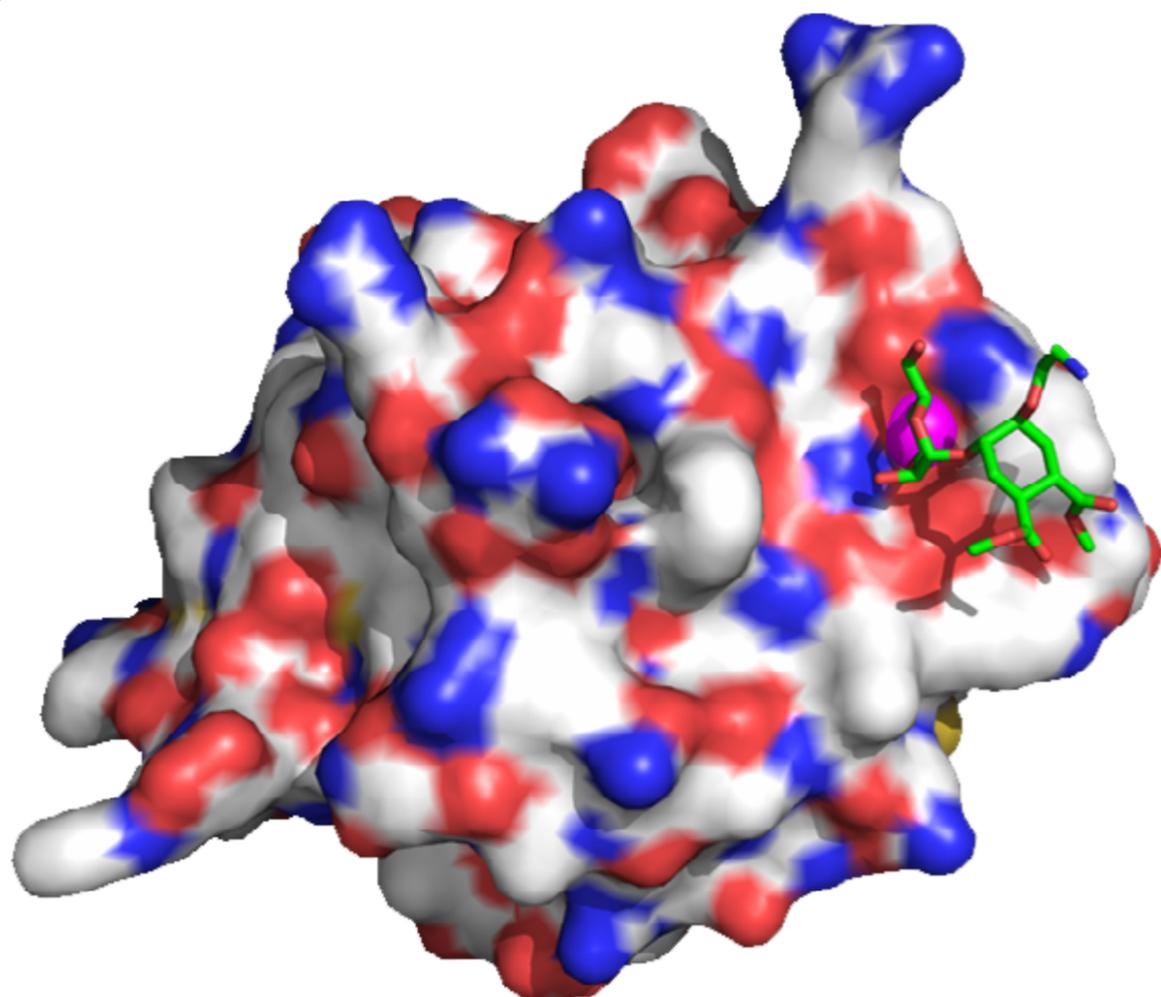


Figura 4: Diana terapéutica, el receptor de patógenos DC-SIGN.

Es ahí, donde los químicos tienen un papel fundamental en la búsqueda de nuevos fármacos y de nuevas dianas terapéuticas frente al VIH. Esta investigación constituye uno de los objetivos prioritarios de muchos programas nacionales e internacionales de investigación tanto a nivel público como privado. A lo largo de todos estos años se ha puesto de manifiesto la importancia fundamental de la investigación básica como soporte de una investigación aplicada que permita la transferencia de conocimiento y tecnología desde el ambiente puramente académico a la industria. Esta investigación necesaria para poder abordar con éxito los nuevos retos científicos que se plantean debe ser interdisciplinar para lo cual es necesario la colaboración de investigadores especialistas en distintas disciplinas como la química, la biología y la medicina. De esta forma, seguiremos viendo importantes avances y contribuciones en los próximos años que mejoren nuestra calidad de vida.

Para saber más:

“El Sida. 30 años de investigación”. Temas Investigación y Ciencia, nº 73 julio/septiembre 2013

ONUSIDA (<http://www.unaids.org/es/>)

Plan nacional sobre el SIDA (<http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/enfLesiones/enfTransmisibles/sida/home.htm>)

Organización Mundial de la Salud (OMS) (<http://www.who.int/features/factfiles/hiv/es/>)



Plásticos: ¿una amenaza para el medio ambiente?

Juan Cámpora Pérez

Resumen: Los plásticos son materiales orgánicos de origen sintético. Están formados por grandes moléculas (polímeros) que a su vez están compuestas por unidades pequeñas que se enlazan unas con otras como las perlas en un collar. Los grandes avances que la tecnología de los plásticos ha experimentado a lo largo del pasado siglo han reducido su costo y extendido de manera espectacular sus aplicaciones, contribuyendo a poner numerosos bienes de consumo al alcance de la mayoría. A pesar de ello, los plásticos tienen para muchas personas una imagen negativa. Este artículo pretende mostrar como estos materiales reducen el impacto de las actividades humanas en el medio ambiente, y contribuyen a la sostenibilidad de las sociedades desarrolladas.

Los plásticos constituyen uno de los elementos más característicos del mundo en que vivimos y nos facilitan el acceso numerosos bienes que, no hace mucho tiempo, eran desconocidos o estaban sólo al alcance de unos pocos. Pero, al mismo tiempo, estos materiales tan útiles tienen una imagen negativa. Para muchas personas, los plásticos se asocian a los restos de basura que salpican las cunetas de las carreteras, ensucian los campos o flotan en las aguas. Además, los plásticos parecen a veces sucedáneos un tanto innobles de los materiales más tradicionales, que se juzgan más limpios, más resistentes, o simplemente más bellos.

Hemos de reconocer que con frecuencia desconocemos las claves que nos permiten formarnos una opinión acerca de temas complejos, como éste que nos ocupa. ¿Merece la pena el costo medioambiental que según parece tenemos que pagar por el uso de los plásticos? ¿O sería mejor renunciar a ellos y aprender de nuevo a vivir como lo hacíamos antes de que aparecieran? Y, de ser cierto esto último, ¿sería ello posible? Estas líneas tienen por objeto proporcionar algunos datos básicos acerca de los plásticos, y quizá mejorar de este modo la opinión que el lector se haya podido formar acerca estos versátiles materiales sintéticos y del papel que desem-

peñan en el mundo moderno.

¿Sabemos a qué nos referimos cuando usamos el término general “plástico”?

El diccionario de la RAE nos indica que el término “plástico” es un adjetivo, que se refiere a la capacidad de ciertos materiales para tomar forma de manera permanente cuando sobre ellos se ejerce una fuerza. También se usa como sustantivo, para referirnos a un grupo de materiales sintéticos que presentan dicho comportamiento. De manera un tanto paradójica, algunos de esos materiales que llamamos “plásticos” presentan un compor-



tamiento rígido, o incluso elástico, como es el caso de las gomas. A lo que nos queremos referir en realidad cuando hablamos de los plásticos, es a las ciertas sustancias de naturaleza orgánica (es decir, que están compuestas principalmente por carbono e hidrógeno), cuyas propiedades las hacen aptas para su uso como materiales para la fabricación de objetos. Por descontado, la humanidad usó materiales orgánicos de origen natural en la manufactura de objetos mucho antes de que aparecieran los plásticos. Estos materiales son la madera, la piel, y las fibras de origen animal (lana, seda, pelo, tendones...) o vegetal (lino, algodón, cáñamo, yute...), así como ciertas resinas y lacas. Algunos de estos materiales pueden ser moldeados, pero no los consideramos “plásticos”, ya que este término se reserva para los que son de origen artificial.

Los materiales orgánicos a los que nos hemos referido, tanto los artificiales como los de origen natural, están constituidos por grandes moléculas, que contienen miles o millones de átomos. Hoy llamamos a estas

grandes moléculas “polímeros”, un neologismo que contiene la partícula griega poli (“muchos”), e indica que están formados por otras unidades moleculares más pequeñas, a las que llamamos “monómeros” (mono = uno). Los monómeros vienen a ser como los ladrillos a partir de los cuales se forman los polímeros.

Las propiedades de los polímeros se diferencian claramente de las sustancias orgánicas sencillas, como el azúcar, los colorantes, o los medicamentos, cuyas moléculas son relativamente pequeñas y contienen, como mucho, algunas decenas o cientos de átomos. A finales del siglo XIX se conocía bastante bien la estructura de muchos de estos compuestos sencillos, pero la constitución los materiales orgánicos complejos como la celulosa, el almidón o las proteínas era un misterio. En 1922 el químico alemán Hermann Staudinger propuso que las moléculas de los polímeros se asemejan a un collar de perlas, en el que sus unidades constituyentes, los monómeros, se unen entre sí por medio de enlaces quími-

cos covalentes. Staudinger propuso que las moléculas orgánicas y las de los polímeros no difieren en lo esencial, porque los enlaces que mantienen unidos los monómeros entre sí son enlaces químicos ordinarios. Esta idea, que hoy parece casi trivial, no tuvo un éxito inmediato, sino que tropezó con la oposición de numerosos químicos importantes de la época. Sin embargo, con el advenimiento de nuevas técnicas adecuadas para el estudio de las macromoléculas, las ideas de Staudinger fueron abriéndose paso de forma gradual, hasta su aceptación definitiva en la década siguiente.

Casi siempre ocurre que los avances tecnológicos preceden con mucho la aparición de las ideas científicas que permiten explicarlos. Esto fue así también en el caso de los plásticos. Al principio, los “plásticos” no eran enteramente artificiales, sino que provenían de la alteración de materias naturales. El primero de ellos fue el caucho, que se obtiene a partir de la savia o látex que secreta el árbol *hevea brasiliensis*. Los nativos americanos obtenían al calentar esta savia un sólido gomoso con



el que fabricaban diversos objetos, por ejemplo las pelotas que usaban en sus juegos. En 1839, Charles Goodyear, un comerciante e inventor norteamericano, descubrió de manera accidental el vulcanizado, un proceso que permite transformar la goma natural en el material elástico que hoy nos es familiar. A lo largo del siglo XIX se crearon otros materiales a partir de polímeros de origen natural. Uno de ellos es el celuloide, que se obtiene de la celulosa contenida en el algodón. Antes de encontrar uso en las películas de cine, el celuloide fue usado como sustituto del marfil, para la fabricación de objetos tales como las bolas de billar. Así pues, este plástico contribuyó a salvar los elefantes del terrible comercio del marfil, que casi precipitó su extinción.

Los primeros plásticos totalmente sintéticos se inventaron bien entrado el siglo XX. El primero fue la baquelita, que marcó toda una época. Con ella se fabricaron los primeros dispositivos eléctricos de consumo: los teléfonos y las radios. Las dos guerras mundiales tuvieron mucho que ver con el desarro-

llo de los plásticos modernos. El bloqueo de los suministros de polímeros naturales como el caucho o la seda durante la Gran Guerra obligó sustituir esas sustancias por productos sintéticos. La historia del Nylon representa un ejemplo muy significativo. En 1928, la compañía americana DuPont contrató a Wallace Carothers, un brillante químico procedente de la Universidad de Harvard, para que encontrase un sucedáneo sintético de la seda. Era la primera vez que se planteaba el desarrollo de un material artificial de diseño, es decir, cuyas propiedades debían ajustarse a la función deseada. En 1934, tras seis años de laboriosa investigación por parte del equipo de Carothers, se logró un nuevo material orgánico que, al ser extraído de la punta de una jeringa, formaba finas hebras que eran brillantes y sorprendentemente resistentes. Era el Nylon. Al estallar la II Guerra Mundial, este polímero se convirtió en un secreto militar, ya que con él se confeccionaban, entre otros objetos, los paracaídas del ejército norteamericano. Tras su lanzamiento comercial en 1940, su éxito

fue impresionante. La demanda de textiles de nylon superó con creces la producción, provocando incluso disturbios entre los clientes que no podían obtenerlos.

En los años centrales del siglo XX tuvo lugar uno de los descubrimientos más importantes para la moderna industria de los plásticos. Una de las moléculas orgánicas más sencillas es el etileno, que contiene dos átomos de carbono unidos a través de un enlace doble: $H_2C=CH_2$. Este enlace doble se puede romper, y cuando esto ocurre, las unidades de etileno se unen unas a otras formando largas cadenas en las que se suceden unidades $-CH_2-CH_2-$ (ver Figura 1). El material resultante se encuentra hoy por todas partes: es el polietileno. Sin embargo, para polimerizar el etileno se requieren presiones y temperaturas extremas.

Hacia 1953, el químico alemán Kart Ziegler descubrió una sustancia capaz de catalizar la polimerización del etileno y de otras pequeñas moléculas orgánicas relacionadas, de manera que este proceso tiene lugar a la



presión y temperatura ambientales. Los catalizadores de polimerización no sólo permiten una gran economía en cuanto a la energía que se consume en la producción de plásticos, sino que permiten controlar mucho mejor de las propiedades de dichos materiales. Podemos ver estos catalizadores como pequeñas máquinas que tejen las moléculas de polímero, engarzando los monómeros uno tras otro. De este modo se forman moléculas cuya forma y tamaño se encuentra muy bien definida. A través del diseño de los catalizadores, se obtiene una gran variedad de polímeros a partir de solo unos cuantos tipos de monómeros, como el etileno. Esos polímeros presentan un extenso catálogo de propiedades muy extenso, que se adaptan perfectamente a sus diferentes aplicaciones.

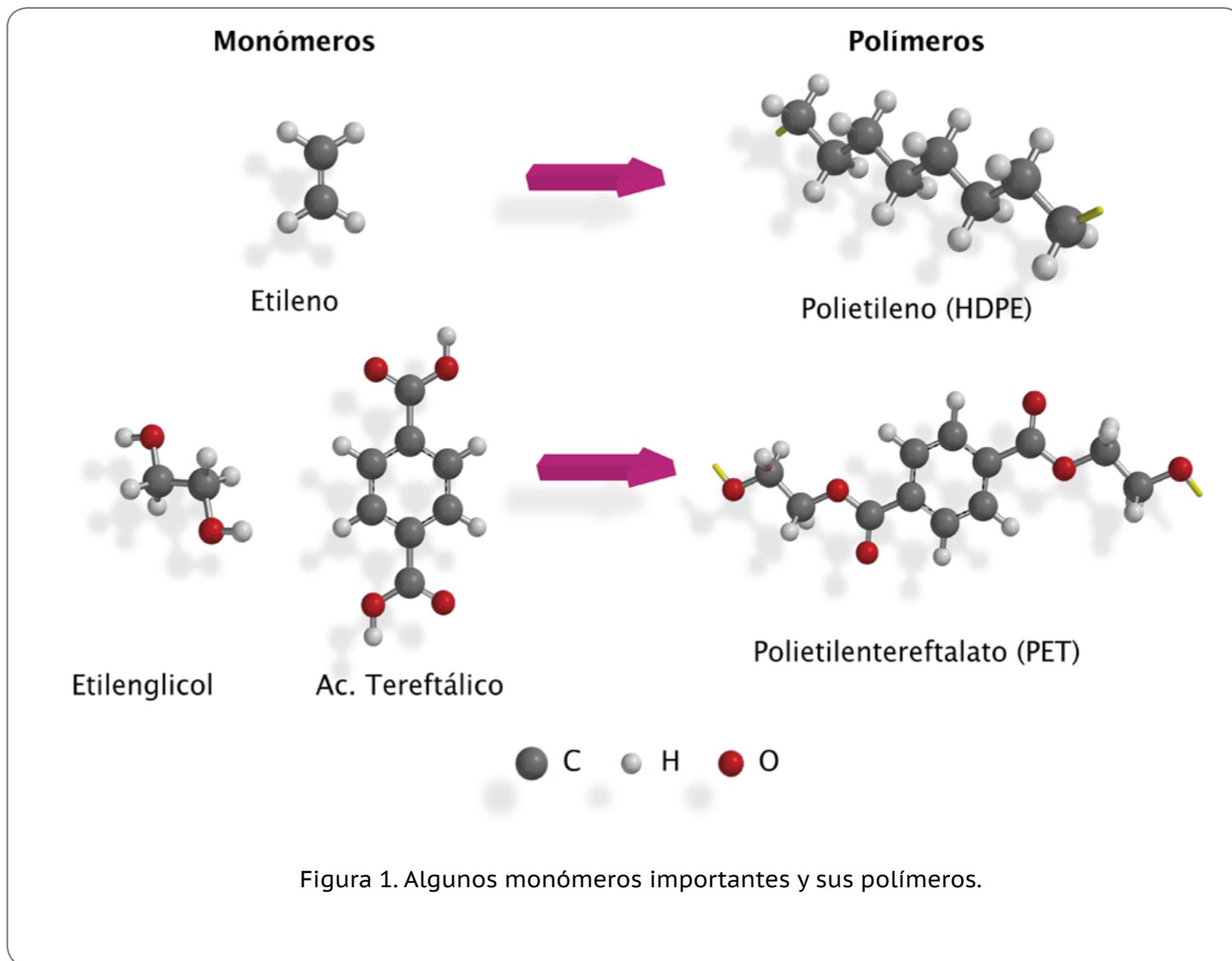


Figura 1. Algunos monómeros importantes y sus polímeros.



¿De qué manera contribuyen los plásticos a reducir el impacto medioambiental de nuestra sociedad?

En primer lugar, el perfeccionamiento de la tecnología de fabricación de los plásticos limita la energía necesaria en el proceso de fabricación. Como resultado de ello, disminuye el consumo de petróleo y la producción de CO₂. También decrecen los costos de producción: el precio del polietileno o el polipropileno por unidad de peso es apenas superior al de sus monómeros, el etileno y el propileno. Pero esta eficacia también es beneficiosa por otras razones. Pensemos, por ejemplo, en la industria del automóvil, una de las mayores consumidoras de acero y otros metales. La minería y la metalurgia son actividades muy agresivas. En los últimos años, los avances logrados con los plásticos permiten sustituir cada vez más piezas metálicas de los coches. Por ejemplo, las defensas se hacen hoy con elementos plásticos que absorben la energía de los impactos, logrando una mejor protección de los ocupantes del vehículo. Pero, además, la sus-

titución de las piezas metálicas implica que los automóviles sean cada vez más ligeros, y esto contribuye a una notable disminución del consumo de energía en el transporte.

El problema del envasado es característico de las sociedades desarrolladas. En la actualidad, es necesario empaquetar todo tipo de objetos, para preservar las necesarias condiciones de higiene, proteger los productos manufacturados, o evitar vertidos de sustancias. Pero la cantidad de material necesario para ello es abrumadora. Sólo la existencia de materiales económicos como el polietileno hacen posible la práctica sistemática del envasado, y la calidad cada vez mejor de este material permite reducir la cantidad de plástico que se precisa en cada uso. Por ejemplo, las bolsas de plástico que se usan en los supermercados eran originalmente de polietileno de baja densidad (LDPE), un material de bajas prestaciones mecánicas, por lo que tenían que ser relativamente gruesas. La sustitución de este material por el nuevo polietileno lineal de baja densidad (LLDPE), mucho

más resistente, ha permitido reducir el espesor de las bolsas a la cuarta parte, reduciendo de manera considerable el volumen de residuos. En EE.UU., la preocupación por el medio ambiente llevó a promover la sustitución de las bolsas de plástico por otras de papel. Sin embargo, para realizar la misma función, se requiere un volumen de papel que es 13 veces superior al de una cantidad equivalente de polietileno.

La mayor parte de los residuos que generamos en las ciudades va a parar a vertederos más o menos controlados, que con el tiempo serán cubiertos y dedicados a otros usos. Las investigaciones que se han llevado a cabo en estos grandes depósitos de basura indica que no sólo los plásticos, sino todo tipo de residuos orgánicos, incluso los alimentarios, pueden permanecer casi inalterados al cabo de muchos años en el ambiente anaeróbico que reina en el interior del vertedero. Estos trabajos concluyen que el plástico representa aproximadamente un 20 % del volumen total de los residuos urbanos, pero



sorprendentemente esta proporción apenas ha aumentado en los últimos 20 años a pesar del evidente incremento de sus aplicaciones. Esto es probablemente debido a la mejora y racionalización del uso de estos materiales.

La mejor forma de reducir los vertidos de los plásticos es el reciclado (Figura 2). Los plásticos son un grupo muy heterogéneo de materiales, cada uno de ellos requiere un tratamiento diferente para poder ser reutilizado. Para facilitar la identificación y separación de los plásticos, se ha diseñado un código numérico que podemos ver marcado en los objetos de que están hechos, en el interior de un pequeño triángulo de flechas. Muchos plásticos pueden volver a ser moldeados una y otra vez, lo que facilita su reutilización. Entre éstos se encuentran el PET, un poliéster, y las distintas variedades del polietileno. El reciclado de estos materiales es económicamente viable, aunque por razones de higiene, los productos se destinan a usos no relacionados con la alimentación. El reprocesado de otros materiales plásticos no es tan directo, pero existen para ellos otros usos diferentes del que tuvieron en origen. Por ejemplo, las mezclas de materiales plásticos se pueden convertir en "madera de plástico", un material empleado en entarimados, vallas o mobiliario de jardín, que resiste mucho mejor la intemperie que la madera natural.

Otra forma de reciclado de los materiales polímeros consiste en romper sus moléculas en los fragmentos monómeros originales, los cuales se pueden purificar y volver a polimerizar de nuevo. Este proce-



Figura 2. Ciclo de utilización de los materiales plásticos, y códigos de reciclado: PET, polietilentereftalato; HDPE, polietileno de alta densidad; V Cloruro de polivinilo; LDPE, polietileno de baja densidad; PP, polipropileno; PS, poliestireno.



so es mucho más costoso que los anteriores, pero tiene la ventaja de que permite la regeneración del material virgen. Ciertos tipos de plásticos, como el PET, son especialmente adecuados para ello.

En los últimos años, existe una gran preocupación por el futuro del petróleo como fuente de energía y de recursos químicos. Los plásticos entran de lleno en esta problemática, ya que su fabricación depende por completo del petróleo. Por ello, se investiga activamente para encontrar materias primas alternativas que permitan obtener los mismos plásticos, u otros dotados de propiedades equivalentes. La fermentación del almidón de maíz o el azúcar de caña o de la remolacha permite obtener grandes cantidades de ácido láctico, el cual se puede polimerizar para

dar un material termoplástico, el PLA, cuyas excelentes propiedades le permiten sustituir al polietileno. Una ventaja adicional de este material es que puede ser degradado por los microorganismos, por lo que los vertidos incontrolados de PLA representan un problema medioambiental menor que los de los plásticos convencionales. Recientemente se ha comenzado a comercializar el PLA en gran escala, y no resulta raro ver bolsas u otros objetos que advierten que están confeccionadas con plásticos “ecológicos”.

Sin duda, los plásticos ocupan un lugar destacado en el futuro desarrollo tecnológico de la humanidad. Ellos nos permiten, en primer lugar, sustituir las materias naturales de las que tenemos solo un suministro limitado, como la madera, o los metales, reduciendo

así el impacto de la actividad industrial en el medio ambiente. Si algo caracteriza los materiales sintéticos, es su versatilidad. El control cada vez más preciso de su estructura y propiedades permite ajustar exactamente el material al uso que queramos hacer de él. La consecuencia es un uso cada vez más racional de los recursos naturales, y el ahorro de materias primas y energía. Como hemos visto, los métodos de síntesis de polímeros pueden también ser modificados para adaptarlos a la escasez de materias primas o a la disponibilidad de fuentes alternativas. Podemos estar seguros de que, en contra de lo que es común opinión entre muchas personas, los plásticos suponen una de nuestras mejores bazas para garantizar la sostenibilidad y el futuro de nuestro bienestar actual.

Para saber más:

A. Brent Strong, *Plastics, Materials and Processing*, 3rd Edn. Pearson – Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2000.

<http://www.monografias.com/trabajos5/plasti/plasti.shtml>

<http://www.anaip.es/>

http://www.repsol.com/es_es/corporacion/conocer-repsol/canal-tecnologia/aplicamos-nuevas-tecnologias/quimica/Poliolefinas.aspx

<http://server2.iiq.csic.es/index.php?id=271>



La plasticidad de las plantas

Myriam Calonje Macaya

Resumen: Los mecanismos que controlan la organización de la cromatina están implicados en la regulación de la determinación y diferenciación celular, tanto en animales como en plantas. Entre estos mecanismos, las proteínas del grupo Polycomb (PcG), a través de la modificación de histonas, mantienen la represión estable de los genes que no se necesitan en un determinado estado de diferenciación celular. Sin embargo, debido a al alto grado de plasticidad celular y de desarrollo que posee las plantas, necesitan una regulación mediada por las proteínas PcG más flexible que les permita cambiar rápidamente el estado de diferenciación de sus células en respuesta a señales de desarrollo o ambientales. Nuestro grupo de investigación está interesado en conocer el papel de las proteínas PcG en la regulación de la diferenciación y plasticidad celular de las plantas.

Cada organismo multicelular comienza a partir de una sola célula. Esta célula y sus descendientes se dividen millones de veces para dar lugar a una gran variedad de tipos celulares y producir la forma final del organismo. Para que esto ocurra se requiere un control minucioso de los genes que deben expresarse en las distintas células a lo largo de las distintas etapas del desarrollo.

Organismos tan diferentes como animales y plantas comienzan el desarrollo a partir de una célula para producir una forma básica (Fig. 1). Este período es conocido como em-

briogénesis. En animales en este periodo se establece el plan básico del cuerpo en el que todos los miembros y órganos principales están presentes, sólo requieren crecer para genera la forma adulta final. Sin embargo, el desarrollo de las plantas continúa tras la embriogénesis. El producto de la embriogénesis es una plántula, generalmente con dos hojas, un tallo corto y una raíz, a partir de la cual se van a originan nuevos órganos, y esto ocurre una y otra vez a lo largo de toda la vida de la planta, por lo que la embriogénesis cumple un rol diferente en plantas, el de establecer

una base para seguir el proceso de desarrollo.

El desarrollo post embrionario es posible gracias a la existencia de células madre o meristemáticas en el ápice del tallo y de la raíz que se establecen durante la embriogénesis y se mantienen a lo largo de la vida de la planta. A partir de estas células se generan hojas, tallos, flores y nuevas raíces. Este proceso de desarrollo continuo es vital para las plantas ya que les permite alterar su desarrollo y crecimiento eficazmente en función de los factores ambiente, compensándoles de su falta de movilidad.

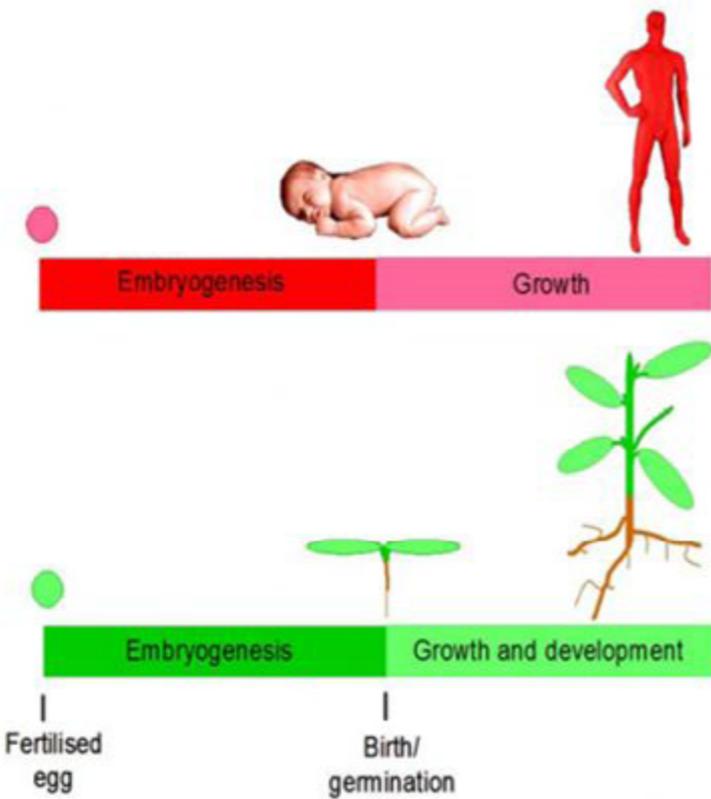


Figura 1. Desarrollo comparado de plantas (verde) y animales (rojo). Ambos comienzan como una sola célula y avanzan en la embriogénesis hasta el nacimiento o germinación. Después de esto los animales simplemente crecen de tamaño mientras que las plantas crecen y desarrollan nuevos órganos para producir su forma adulta.

Otra diferencia importante entre animales y plantas es el nivel de plasticidad celular. Las plantas son capaces de reprogramar una célula somática cualquiera para convertirla en “totipotente” o célula madre, siendo así capaces de regenerar un organismo completo a partir de esa célula. Contrariamente, las células animales están en la mayoría de los casos irreversiblemente determinadas. Algunos animales son capaces de regenerar partes de su organismo pero el proceso de regeneración no implica que células adquieran un estado totipotente. En los últimos años se ha logrado que una célula animal diferenciada se re programe para recuperar la totipotencia, pero se ha conseguido mediante la expresión artificial de factores que regulan la expresión génica, en cambio en las plantas esto puede ocurrir de forma natural como parte de sus mecanismos de supervivencia. Un ejemplo de esto es la capacidad que tienen algunas plantas de producir embriones somáticos bajo determinadas condiciones ambientales, originando plántulas completas a partir de células de órganos diferenciados (Fig.2). Nuestro grupo de investigación está interesado en conocer los mecanismos que regulan la diferenciación y plasticidad celular en las plantas.

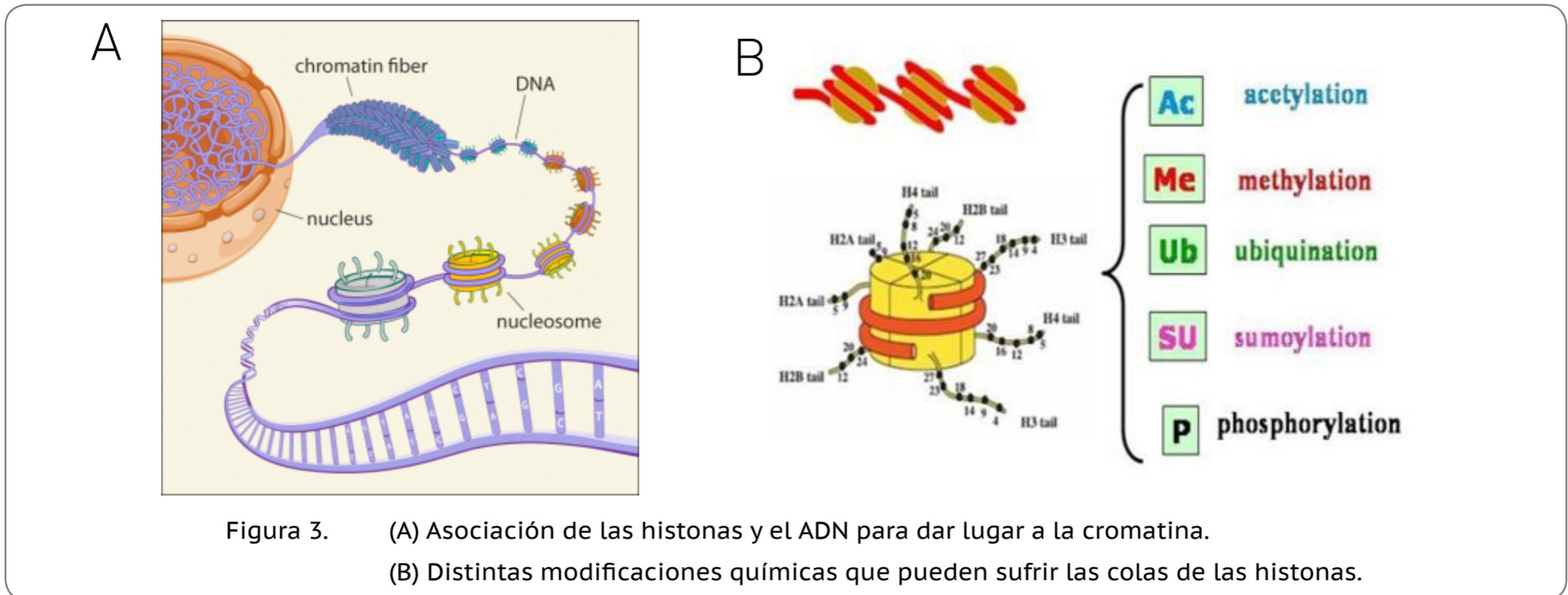
Figura 2. Las pequeñas plantas formadas a partir de las hojas de Kalanchoe proporcionan un ejemplo de totipotencia: pequeños grupos de células situadas en los márgenes de la hoja proliferan y dan lugar a plantas pequeñas enteras. Las plántulas espontáneamente se separan y caen en el suelo, donde continúan creciendo y expandiéndose.





¿Cómo regulan y mantienen las células vegetales su identidad?

Cada tipo celular, tanto animal como vegetal, expresa un determinado tipo de genes y mantiene apagados los que no necesita. Esto hace que las distintas células de un mismo organismo, las cuales son idénticas genéticamente, se comporten de forma diferente. La organización de la cromatina juega un papel fundamental en el mantenimiento de la expresión o represión de los genes que se necesita para definir un el tipo celular. La cromatina está formada por el ADN con la información genética y las proteínas que lo empaquetan que se llaman histonas (Fig. 3A). Hay distintas histonas que se agrupan formando un octámero entorno del cual se enrolla el ADN. Cada una de las histonas del octámero deja una cola accesible que puede ser químicamente modificada (Fig.3B). La cromatina adapta distintos estados de compactación para permitir o impedir la expresión de los genes, y en esto juega un papel crucial el tipo de modificación que se incorpore a las colas de las histonas. A este tipo de regulación que afecta la configuración de la cromatina sin alterar la secuencia del ADN se conoce como regulación epigenética.





Las modificaciones incorporadas en las colas de las histonas en principio son reversibles, lo que permite que la expresión de los genes pueda variar en función a distintas señales. Sin embargo, deben haber diferencias importantes en cuanto al grado de reversibilidad de estas modificaciones entre las células animales y vegetales ya que, como hemos comentado antes, las plantas presentan un nivel de plasticidad mucho mayor que las animales.

Para investigar el porqué de esta plasticidad nos hemos centrado el estudio de las proteínas del grupo Polycomb (PcG) que mediante la modificación de histonas se encargan de reprimir los genes que no son necesarios en un estado de diferenciación determinado, manteniendo así la identidad celular. A pesar de que el último ancestro común entre plantas y animales fue un eucariota unicelular y por tanto los genes implicados en la diferenciación celular han evolucionado independientemente en animales y plantas, algunas de las proteínas PcG están conservadas en los dos reinos, lo que da una idea de su

importancia como proteínas reguladoras. Sin embargo, otras son específicas de cada reino y probablemente son las que determinan la diferente plasticidad celular. En el laboratorio estudiamos el mecanismo de actuación de las proteínas PcG en plantas, el cual sigue siendo en gran medida desconocido, las modificaciones que establecen en las histonas y su regulación en respuesta a señales ambientales para permitir la reprogramación celular.

Como hemos mencionado, una de las funciones centrales de las proteínas PcG es mantener la identidad de la célula. La pérdida de función de algunas de estas proteínas causa transformación de unos órganos en otros debido a la expresión de genes que deberían de estar apagados en ese tipo celular. Por ejemplo, los sépalos se convierten en carpelos o aparecen órganos a medio camino entre pétalos y sépalos (Fig.4B), etc. Esto está en contraste con lo que ocurre en animales donde es la sobreexpresión y no falta de proteínas PcG lo que conduce a la pérdida de la diferenciación celular, como se ha visto en el cáncer.

Lo que sugiere que los animales y las plantas hacen un uso diferente del sistema de proteínas PcG.

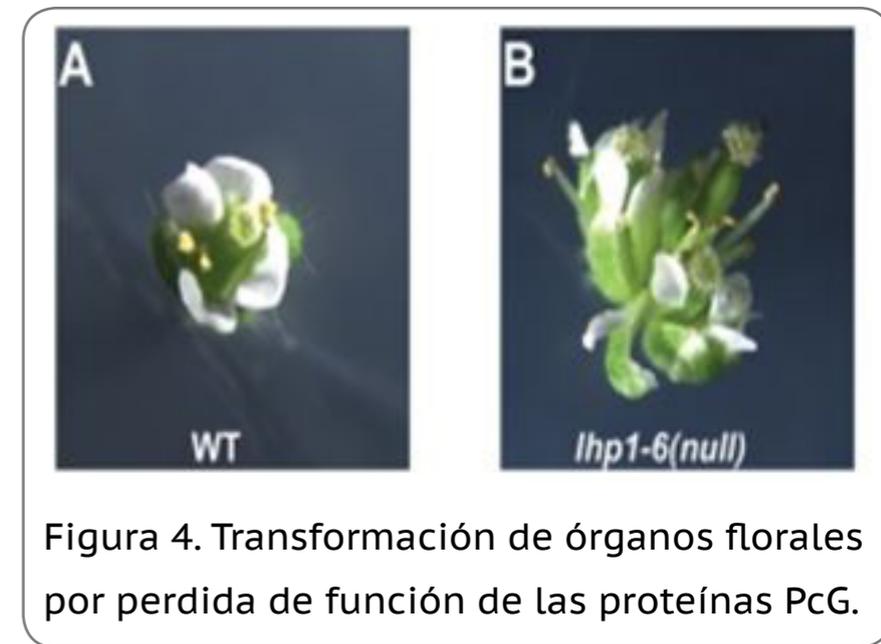
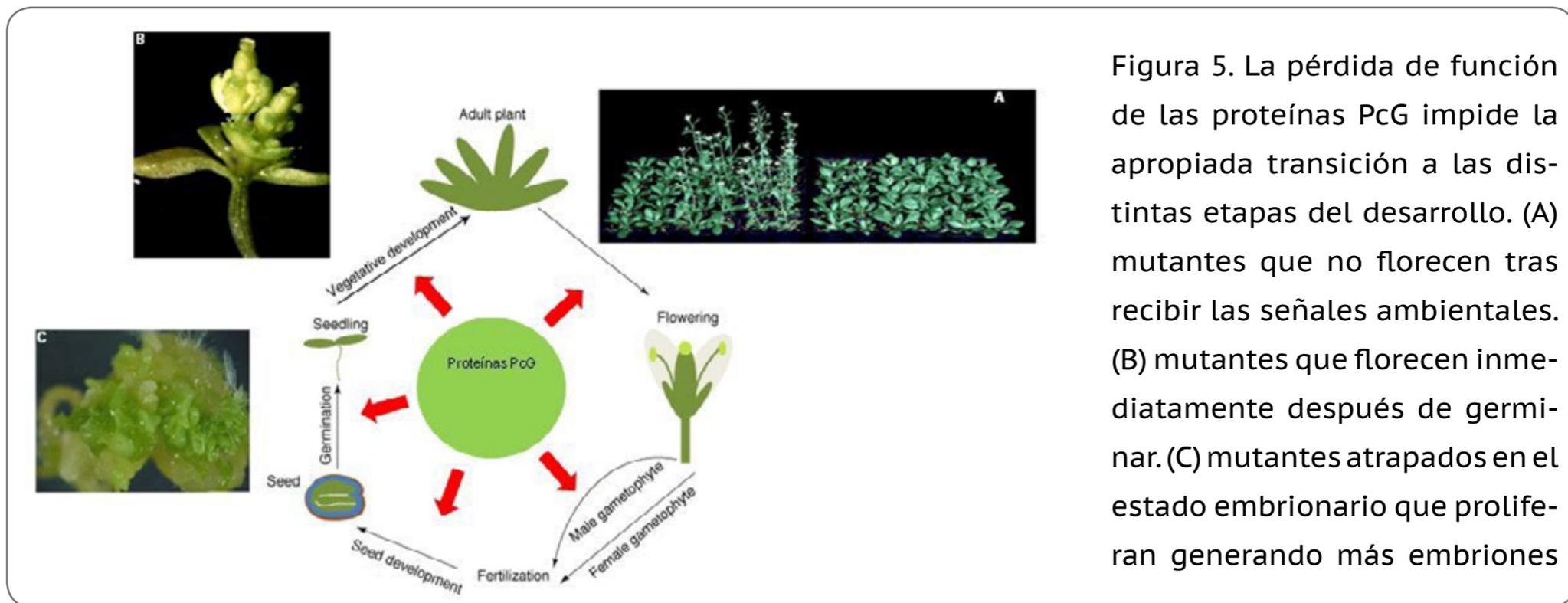


Figura 4. Transformación de órganos florales por pérdida de función de las proteínas PcG.

Además de reprimir los programas genéticos que establecen la identidad celular, las proteínas PcG mantienen las células en un estado de diferenciación específico, permitiendo la transición a los distintos estadios de desarrollo. De tal forma que, dependiendo de lo afectado que este el funcionamiento de una u otra proteína, puede ocasionar que las plantas no florezcan a pesar de recibir las señales ambientales que inducen la floración al no



poderse apagar los genes la reprimen (Fig.5A), que florezcan inmediatamente después de germinar porque no se mantiene apagado el programa de floración (Fig.5B), o en uno de los casos más extremos, que el embrión no pueda pasar al desarrollo vegetativo y quede atrapado en el desarrollo embrionario generando continuamente celular embrionarias totipotentes (Fig.5C).



Conclusiones: el estudio del mecanismo de regulación de la expresión génica mediado por las proteínas PcG nos permitirá entender procesos cruciales, tanto a nivel celular como de desarrollo, además de desvelar los mecanismos mediante los cuales las plantas modulan la diferenciación y plasticidad celular, lo cual nos permitirá encontrar además elementos regulatorios claves que mejoren la producción de los cultivos.

Para saber más:

http://www.sebbm.es/ES/divulgacion-ciencia-para-todos_10/epigenetica--no-todo-esta-en-los-genes_513

Diversity of Polycomb group complexes in plants: same rules, different players? Hennig L, Derkacheva M. Trends Genet. 2009 Sep;25(9):414-23. doi: 10.1016/j.tig.2009.07.002. Epub 2009 Aug 27. Review.

http://en.wikipedia.org/wiki/Polycomb-group_proteins



Las proteínas que interpretan el código genético: una caja de sorpresas

Ignacio Luque Romero

Resumen: Las aminoacil tRNA sintetasas son las únicas enzimas de la célula que “conocen” el código genético, esto es, las reglas de correspondencia entre el lenguaje de tripletes de nucleótidos del material genético y el lenguaje de aminoácidos de las proteínas y son enzimas fundamentales en la traducción del mensaje genético. Estas proteínas suscitan un gran interés en investigación no sólo por su papel en la traducción sino también por su participación en funciones alternativas, su asociación a enfermedades hereditarias o sus aplicaciones en Biología Sintética. En nuestro laboratorio del IBVF estamos interesados en la caracterización de las aminoacil tRNA sintetasas de las cianobacterias, un grupo de microorganismos de una enorme importancia ecológica.

Introducción: una breve lección de genética
El ADN (ácido dexosirribonucleico) constituye el material genético que determina los caracteres estructurales y metabólicos del organismo y se transmite a la descendencia. Los genes son tramos de ADN con la información necesaria para la síntesis de un ARN o una proteína. El ADN está formado por la sucesión de nucleótidos de adenina, timina, citosina y guanina. En los genes, éstos se distribuyen de una forma ordenada y es justamente este orden, al que generalmente nos referimos como secuencia del ADN, el que determina cómo a va a ser el ARN o la proteína cifrada en dicha región. El ADN es una molécula de

doble cadena en la que las dos cadenas tienen una complementariedad, esto es, los nucleótidos de adenina sólo aparean con los de timina y los de guanina con los de citosina. En el proceso de transcripción, la secuencia de un gen se utiliza como molde para sintetizar una cadena de ARN cuya secuencia será complementaria a una de las cadenas del gen, si bien el ARN está constituido por ribonucleótidos de adenina, uracilo, citosina y guanina. En el caso de los genes que cifran proteínas, este ARN se denomina ARN mensajero (ARNm). El destino de los ARNm es el ribosoma, un orgánulo del citoplasma de las células constituido por numerosas proteínas y tres ARNs (ARN

ribosómico o ARNr). En el ribosoma, la secuencia del ARNm se utiliza como guión para la síntesis de una proteína, cuya secuencia corresponde de forma unívoca a la secuencia del ARNm. Las proteínas están constituidas por una sucesión de aminoácidos, de composición química muy diferente a los nucleótidos. En 1961 el premio Nobel Francis Crick entre otros demostró que en los genes los nucleótidos se organizaban en grupos de tres (llamados tripletes o codones) a cada uno de los cuales corresponde un aminoácido. Las reglas de correspondencia entre tripletes de nucleótidos y aminoácidos se conocen como código genético. En el ribosoma, los codones



del ARNm se aparean con secuencias complementarias de unos ARN pequeños que se conocen como ARN de transferencia o ARNt. Estas secuencias del ARNt se llaman anticodón por ser complementarias a un determinado codón. Cuando los ARNt llegan al ribosoma llevan unido en uno de sus extremos el aminoácido que corresponde a su anticodón. El ribosoma lee sucesivamente los codones del ARNm apareándolos con sus correspondientes ARNt cargados, cuyos aminoácidos se van enlazando en tal orden, de modo que la secuencia de la proteína que se sintetiza corresponde a aquella especificada en su gen.

Las aminoacil tRNA sintetasas: múltiples funciones, múltiples aplicaciones

En este flujo de información que ocurre en la célula, la química de la complementariedad de nucleótidos es clave tanto en la síntesis del ARNm (transcripción) como en el apareamiento de codones del ARNm con anticodones de los ARNt. No obstante, existe un proceso fundamental en el que la información

contenida en un lenguaje de nucleótidos se interpreta, asignando a cada triplete un aminoácido determinado. Este paso está catalizado por un grupo de enzimas que se conocen como aminoacil tRNA sintetasas (abreviadamente, aaRSs). Estas enzimas cargan los ARNt con el aminoácido que corresponde a su anticodón según el código genético y por tanto se puede decir que son las enzimas que “conocen” el código genético.

Las aaRS son enzimas específicas de cada aminoácido y puesto que las proteínas se componen de 20 aminoácidos distintos, las células tienen en general una dotación de 20 aaRSs diferentes, una para cada aminoácido. También son enzimas específicas de los ARNt, que en la mayoría de los casos son reconocidos por la secuencia de su anticodón (Fig. 1). Por tanto, cada aaRS reconoce un único aminoácido y lo transfiere al extremo de su correspondiente ARNt, produciendo un ARNt cargado que podrá ser utilizado como sustrato en el ribosoma para la síntesis de proteínas.



Figura 1. Estructura del complejo de CysRS (la aaRS que carga el tRNA de cisteína) con su ARNt.

La enzima se muestra en azul y el ARNt en rojo. El círculo muestra el contacto de la proteína y el ARNt en la zona del anticodón de éste y la flecha señala el sitio activo de la enzima en el que tiene lugar la reacción de carga del tRNA



Las aaRSs son enzimas de distribución universal, es decir se encuentran en todos los organismos vivos y ello nos permite deducir que surgieron de forma muy temprana en la evolución y que probablemente ya estaban presentes en las primeras células hace más de 3000 millones de años. Está ampliamente aceptado que las 20 aaRSs actuales descenden de dos proteínas primitivas distintas de las que, tras más de 3000 millones de años de evolución, aún podemos distinguir rasgos conservados en las aaRSs actuales. Esto parece indicar que las aaRSs son proteínas que evolucionan lentamente, lo cual es compatible con el hecho de que la función que desempeñan es esencial, es decir, es imprescindible para la supervivencia de la célula. Sin embargo, en muchos casos la evolución de las aaRSs les ha aportado capacidad para realizar funciones adicionales para las cuales no necesitan su actividad catalítica. Haciendo un símil, podríamos decir que algunas aaRSs están pluriempleadas en las células. Por ejemplo, algunas aaRS realizan funciones adi-

cionales de señalización celular o participan en procesos como la regulación de la transcripción o la traducción, la maduración del ARNm o el control de la división o la muerte celular. Resulta aún más sorprendente el hecho de que algunas aaRSs sean excretadas al exterior de la célula donde realizan labores de señalización relacionadas con la proliferación celular.

Dada la esencialidad de su función, el mal funcionamiento de las aaRSs acarrea graves consecuencias al funcionamiento de la célula y su total inhibición determina la muerte celular. Esto suscita un enorme interés en el mundo de la Biomedicina por dos razones diferentes. En primer lugar, se ha comprobado que enfermedades de carácter hereditario, algunas de ellas de incidencia grave, están ligadas a mutaciones en genes de aaRSs. Este es el caso de la enfermedad de Charcot-Marie-Tooth que se caracteriza por una degeneración paulatina de neuronas motoras periféricas que provoca graves deformaciones en las extremidades. Se han encontrado nu-

merosas mutaciones en genes de distintas aaRSs asociadas a esta enfermedad, lo que las señala como su posible causa. No obstante, a pesar de los intensos estudios que se realizan sobre dicha enfermedad aún estamos lejos de entender sus bases moleculares.

En segundo lugar, la observación de diferencias estructurales importantes entre las aaRSs de patógenos y las humanas unido al hecho de que sean enzimas imprescindibles las convierte en candidatas ideales como diana de nuevos antibióticos, lo que atrae el interés de numerosos laboratorios y compañías farmacéuticas. La mupirocina, un antibiótico de origen natural que inhibe la ileRS (la aaRS que carga el tRNA de isoleucina) se comercializa desde hace años para el tratamiento de infecciones de la piel. Otras muchas moléculas inhibitoras de la actividad de algunas aaRSs se encuentran actualmente en distintas fases de ensayo para evaluar su posible aplicación en el tratamiento de infecciones por hongos o bacterias.

Otro foco de interés en el estudio de las



aaRSs lo encontramos en el marco de la llamada Biología Sintética que es la rama de la Biología que se dedica al diseño y construcción de organismos en parte artificiales y con capacidades metabólicas extraordinarias, generalmente con un interés biotecnológico. Actualmente la Biología Sintética se centra fundamentalmente en la modificación genética de microorganismos para alterar sus genomas introduciendo genes sintéticos o procedentes de otros organismos. Esto abre un campo con posibilidades casi infinitas que aún así tiene una restricción: cualquier proteína nueva que introduzcamos en el organismo que queremos modificar estará constituida por los 20 aminoácidos naturales. Aquí surge el interés por las aaRSs en Biología Sintética. La manipulación de determinadas aaRSs y de sus correspondientes ARNt permite introducir aminoácidos no naturales en proteínas de interés. Con ello se pueden generar proteínas artificiales con propiedades fisicoquímicas extraordinarias, no comparables a las de otras proteínas de origen natural, y con un enorme

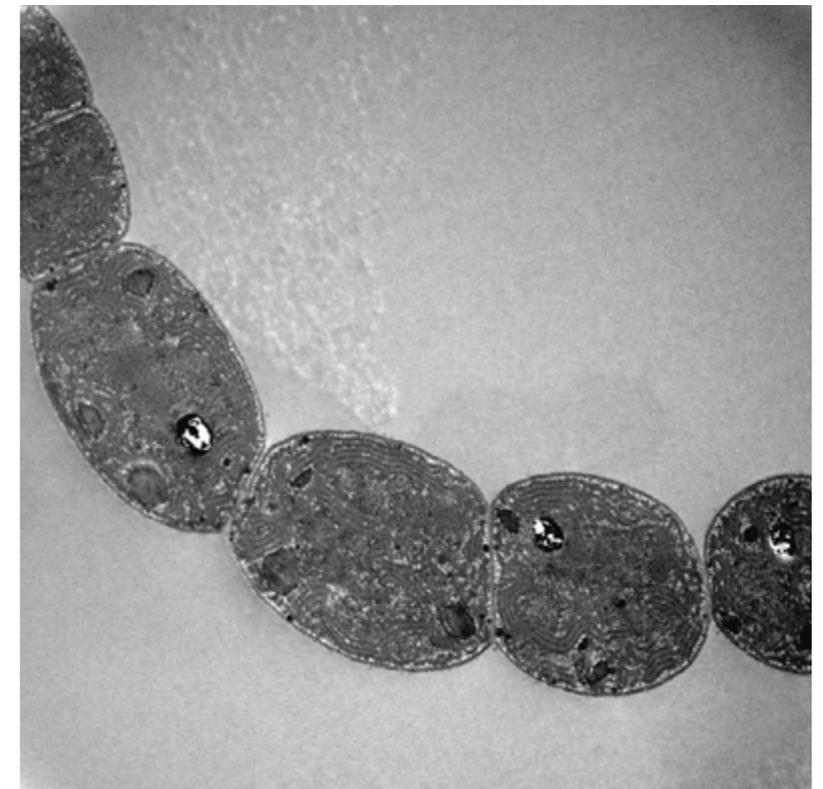
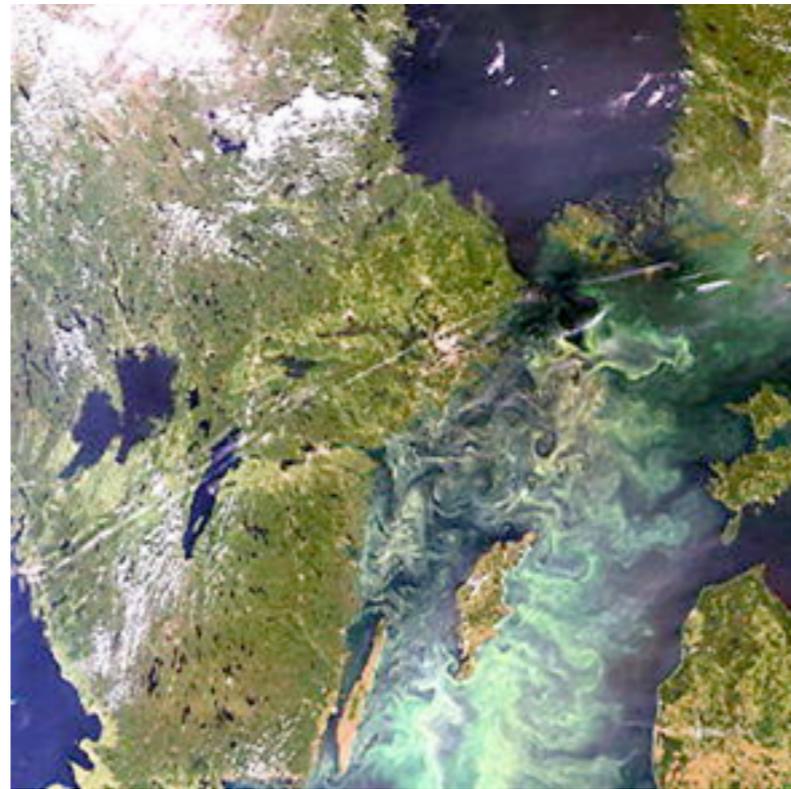


Figura 2: (A) Micrografía electrónica de un filamento de la cianobacteria *Anabaena* sp. PCC 7120. la flecha señala las membranas tilacoidales. (B) Imagen de satélite del mar Báltico en la que se observa una masa de cianobacterias constituida fundamentalmente por la especie *Nodularia*. Aunque tal acumulación sólo ocurre a veces, la imagen da una idea de la abundancia de estos organismos en el ecosistema marino

abánico de potenciales aplicaciones en biotecnología, medicina, agricultura, industria, etc... La utilización de aaRSs para la introducción de aminoácidos no naturales en proteínas constituye en toda regla una expansión artificial del código genético. Hasta hoy se han

conseguido introducir unos 100 aminoácidos no naturales en distintas proteínas y posiblemente en los próximos años asistiremos a un aumento notable en cuanto a la composición de proteínas con aminoácidos no naturales.



Las aaRSs de anobacterias: aún más sorpresas

En nuestro laboratorio del IBVF estamos interesados en las aaRS de un grupo de organismos de gran importancia ecológica: las cianobacterias. Estos organismos son bacterias que realizan fotosíntesis oxigénica similar a la de las plantas superiores. Son las únicas bacterias capaces de realizar este proceso y están emparentadas desde el punto de vista evolutivo con los cloroplastos de las plantas. Aunque se encuentran prácticamente en todos los hábitats iluminados del planeta, las cianobacterias son particularmente abundantes en los océanos donde contribuyen de forma muy significativa a los flujos biogeoquímicos del planeta, siendo responsables de una porción importante del oxígeno que se libera a la atmósfera y del CO₂ que fijado por fotosíntesis. Una característica estructural única de estos organismos es la presencia en el citoplasma de un sistema de membranas llamadas tilacoides en las que se aloja el aparato fotosintético (Fig. 2).

En nuestro grupo del IBVF hemos analizado la evolución de las aaRSs y hemos observado que en su evolución, siete aaRSs cianobacterianas han adquirido un mismo dominio proteico (Fig. 3). Entendemos por dominio proteico, una parte de una proteína con identidad estructural y funcional diferenciadas. Hemos comprobado que la función de dicho dominio consiste en dirigir y anclar las aaRSs que lo contienen a la membrana tilacoidal (Fig 4), lo que implica que en estas especies la membrana tilacoidal no sólo aloja el aparato fotosintético sino también proteínas implicadas en la traducción del mensaje genético. Este descubrimiento ha sido muy sorprendente pues no se han descrito aaRSs ancladas a membrana en ningún otro organismo por lo que éste sería un carácter único de las cianobacterias. Aunque aún no entendemos completamente las consecuencias fisiológicas de tal localización, nuestras observaciones indican que las aaRSs estarían formando complejos de membrana con otras proteínas cuya caracterización podría

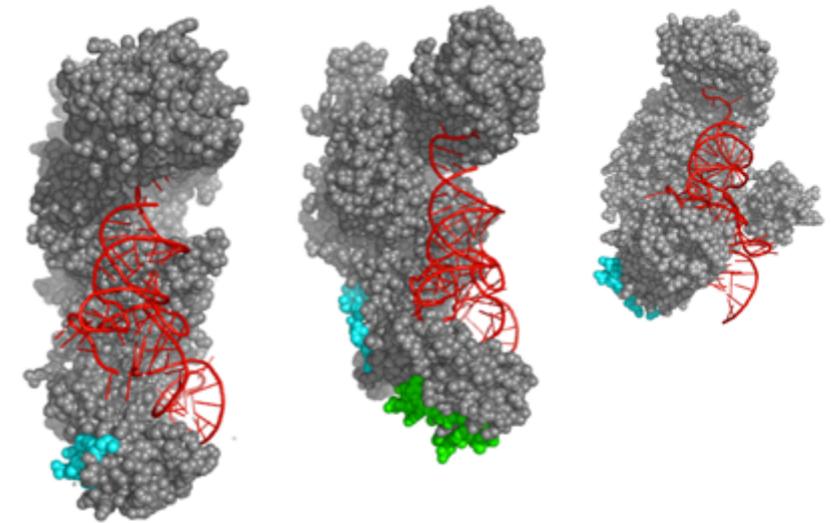


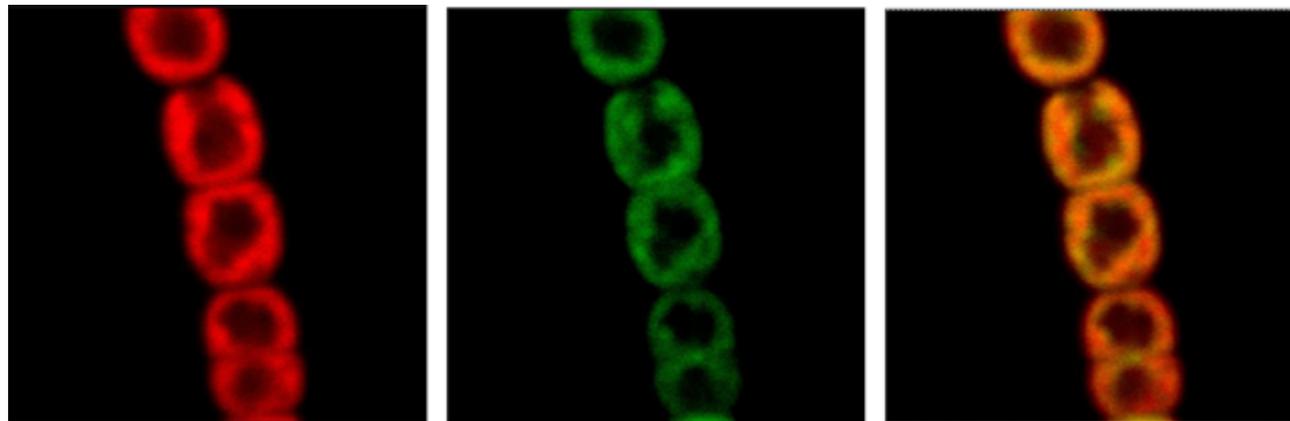
Figura 3: Estructura de los complejos de IleRS (izqda), ValRS (centro) y LeuRS (dcha) con sus correspondientes tRNAs (en rojo). En color y señalados por una punta de flecha se indican los puntos de inserción del dominio de anclaje a los tilacoides.

ayudar a entender por qué este carácter se ha seleccionado en la evolución.

Otra línea de trabajo importante en nuestro grupo consiste en el análisis de especies de cianobacterias con genes de aaRSs duplicados. En general en las bacterias los genes se encuentran en copia simple, sin embargo en muchas especies de cianobacterias encontramos dos genes de ThrRS (la aaRS



Figura 4: Imágenes de microscopía de fluorescencia de la cianobacteria *Anabaena* sp. PCC 7120 en las que se muestra la colocación de la ValRS (en verde) con la membrana tilacoidal (en rojo). A la derecha se muestra un superposición de las imágenes de los otros dos paneles.



que carga el tRNA de treonina). Nuestros datos indican que de estos dos genes, uno se utiliza en condiciones normales, mientras que el otro es un gen específico de condiciones de emergencia nutricional, particularmente de condiciones de deficiencia de zinc, un micronutriente esencial que escasea con frecuencia en el medio marino. La enzima codificada por el gen de condiciones normales se disocia cuando la célula está en deficiencia de zinc

mientras que la enzima codificada por el gen alternativo es mucho más estable, lo que le permite funcionar en estas condiciones. Por

tanto, se puede decir que la evolución ha dotado a las especies que poseen los dos genes de un mecanismo de adaptación a condiciones de escasez de zinc, lo que probablemente les ha hecho más competitivas en el medio ambiente.

Conclusiones:

Las aaRSs son enzimas que realizan una importante función en la traducción del mensaje genético. Pero además pueden realizar funciones alternativas diversas y tienen aplicaciones muy interesantes en Biología Sintética. En las cianobacterias se da un caso único de aaRSs ancladas a la membrana tilacoidal y se han encontrado evidencias de una aaRS que sirve para adaptarse a la escasez de zinc.

Para saber más:

http://es.wikipedia.org/wiki/Aminoacil_ARNt_sintetasa

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK26829/>

García Alai, M (2011) Aminoácidos sintéticos: Un código genético artificial permite modificar las funciones de las proteínas. Investigación y Ciencia. 415. Sección Panorama

Colón Ramos D. A. y Vila Sanjurjo A. (2009) El ribosoma y la traducción genética. Investigación y Ciencia. 399: 48-57



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.

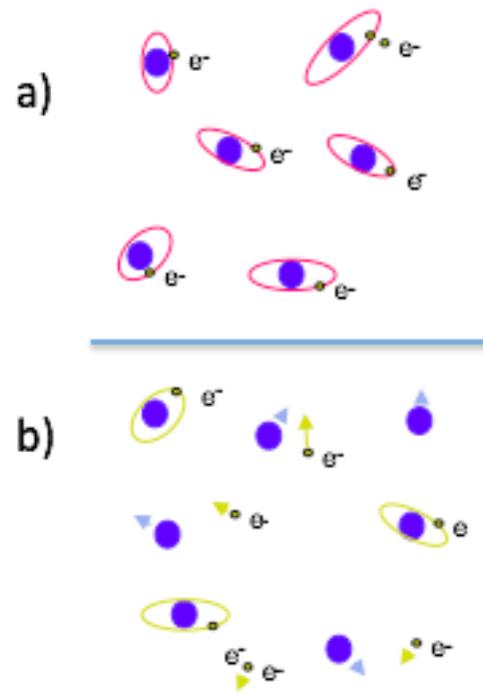


Figura 1. a) En un gas neutro los electrones permanecen acotados dentro de las partículas neutras, b) al suministrar energía arrancamos electrones de las órbitas y tenemos una mezcla de electrones, iones, partículas neutras, radicales, etc.

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>$T_e \approx T_g \approx 2000 \text{ K}$</p>  <p>Plasma térmico (antorcha de plasma)</p>	<p>$T_g \approx 300 \text{ K}, T_e \approx 30000 \text{ K}$</p>  <p>Plasma no térmico (magnetron)</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.

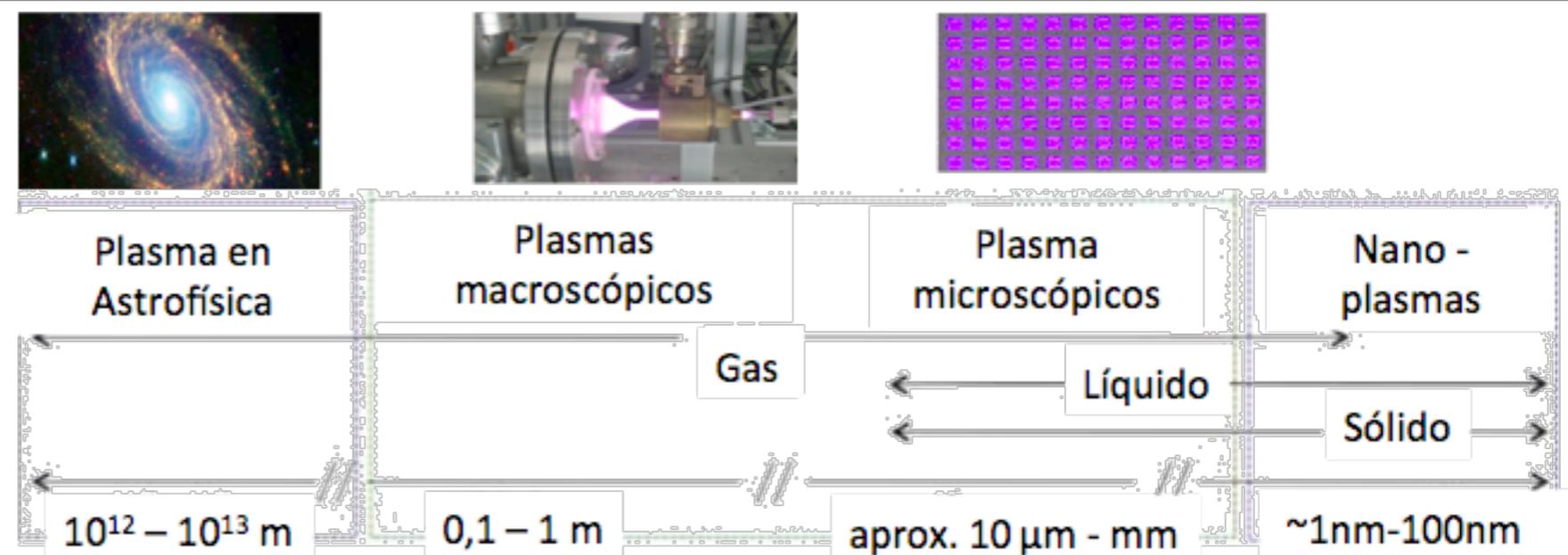
Ahora podemos dar una definición del cuarto estado de la materia, los plasmas son medios conductores compuestos de partículas cargadas, neutras y campos electromagnéticos (producidos al moverse las partículas cargadas) que interaccionan a grandes distancias (efecto colectivo).

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.

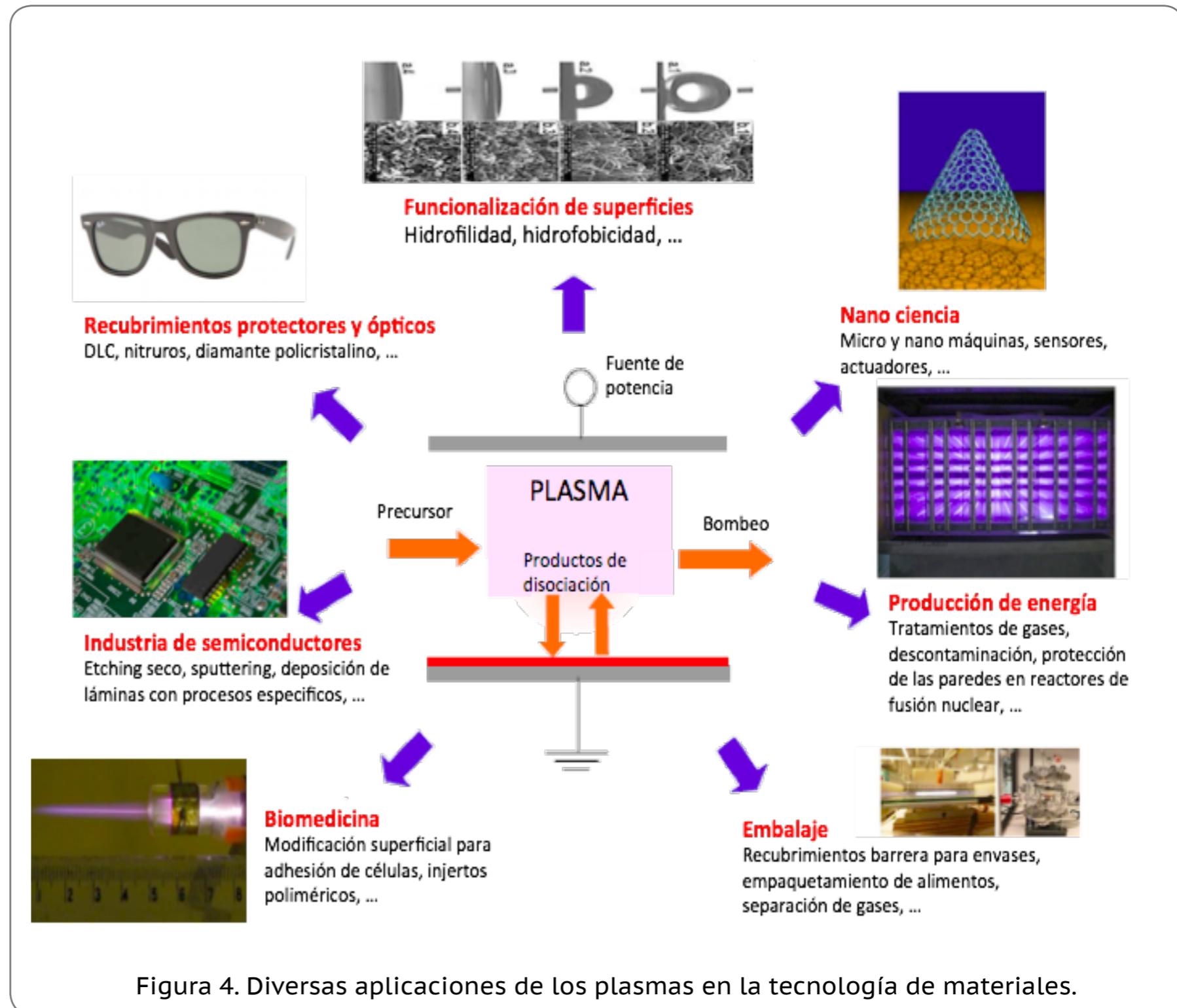


Figura 4. Diversas aplicaciones de los plasmas en la tecnología de materiales.



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)



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 (H₂). 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 (H₂O). El hidrógeno molecular (H₂) 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 (H₂) no existe como tal

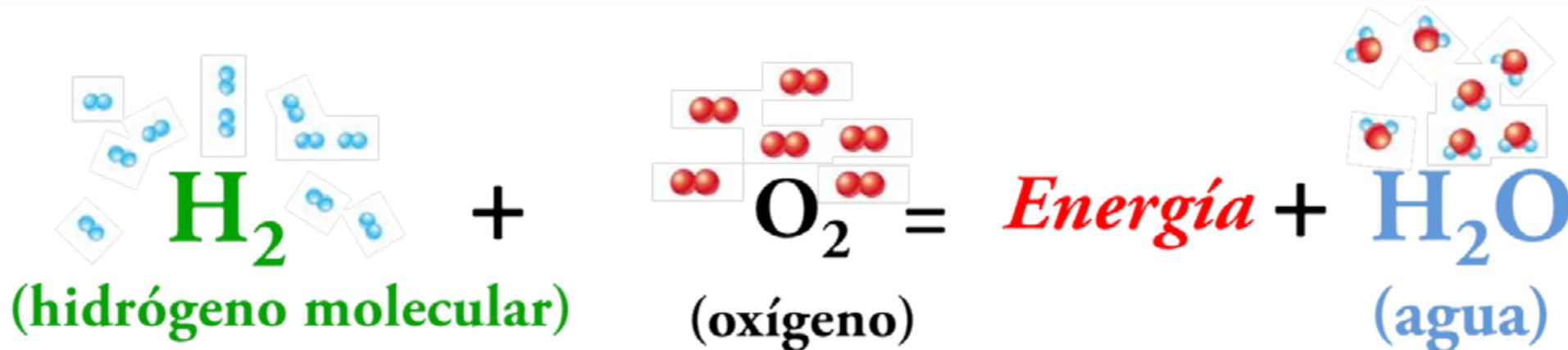
combustibles fósiles + oxígeno = **energía** + dióxido de carbono + otros contaminantes
Ecuación de generación de energía por combustibles fósiles

¿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 H₂ 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 H₂ 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 H₂ 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 H₂ 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.

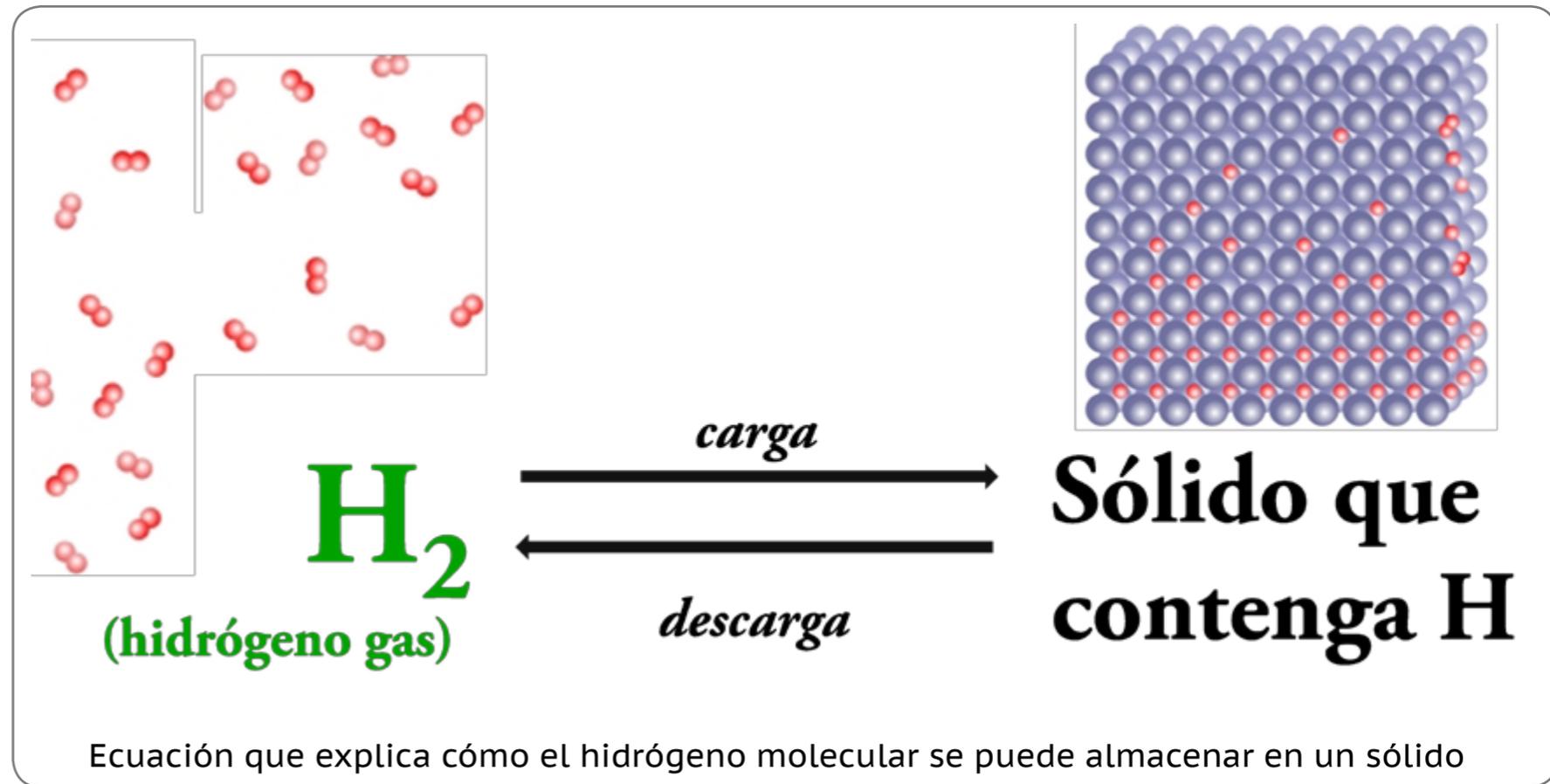


Esquema del volumen que ocuparía: (de izq a derecha) tanques de almacenamiento sólido de hidrógeno (Mg₂NiH₄, LaNi₅H₆), tanque de almacenamiento líquido de hidrógeno y tanque de almacenamiento en forma de gas a presión para recorrer 400km.



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



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^a del Pilar Palma Ramírez, Investigadora Científica CSIC (IIQ)

Asunción Fernández Camacho, Profesora de Investigación CSIC (ICMS)

M^a 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

comunicacion@ciccartuja.es



CSIC

