

EDITORIAL

ULTIMO BORRADOR DE LA FUTURA LEY DE LA CIENCIA

Parece que hemos llegado ya a las ultимidades preparatorias de la futura Ley de la Ciencia. En el número 14 de esta revista publicamos un editorial en el que manifestábamos nuestra admiración hacia la ministra Garmendia por los nuevos y trascendentales enfoques que iban a enriquecer el tenor de la nueva Ley, especialmente en lo referente a la cooperación científico-tecnológica con el mundo empresarial y a la clarificación del acceso de los nuevos investigadores al sistema científico así como de su posterior promoción. Con todo, en el editorial del número 15 de esta revista hacíamos notar que escapaba a la consideración de la futura Ley un aspecto fundamental: los centros pertenecientes a los Organismos públicos de investigación y la condición de sus directores.

Pues bien, tenemos que lamentar con definitiva desesperanza que el borrador último de la nueva Ley sigue sin considerar los Centros públicos de investigación y los directores que están a su frente.

¿Cómo es posible que una Ley de la Ciencia desconozca lo que es el día a día del investigador, el escenario de su trabajo, el contexto social más íntimo de su personalidad profesional, y su incardinamiento tópicico y jurídico a través del cuál pertenece a la Administración del Estado! Cuando un aspirante a investigador, superadas las pruebas de oposición, recibe su nombramiento, se especifica que es "con destino inicial en tal o cuál Centro". Y su categoría profesional-científico titular, investigador o profesor de investigación—se fundamenta en las necesidades de las plantillas de los Centros. Obviamente se supone que los Centros tienen una vida científica propia —por ello y para ello existen— y en su seno puede desarrollarse una casuística conflictiva cuya solución no estaría mal preverla por Ley, especialmente en lo que respecta al proceso de selección de directores, entre los que no faltan casos de arbitrariedad manifiesta y de abuso de poder. Los Centros involucran dentro de sí una parte alícuota, específica y formal de la comunidad científica total, razón por la cual el conjunto de todos ellos tiende a la creación de un magma opinativo que tiene mucho que ver con la formulación de una opinión pública de la comunidad científica en cuanto tal. ¿Nada de esto interesa a los redactores de la futura Ley de la Ciencia?

La existencia de los Centros, como comunidad científica especializada y creadora, tiene su culminación en la existencia de unos directores de Centro, científicamente eminentes y humanamente valiosos, que proveen a la vida interior de la comunidad que dirigen y a su proyección exterior. El conjunto de los directores —si tuviera una estructuración orgánica— formaría el colectivo más ilustrado y más actualizado para

reorientar y modernizar las directrices generales de la I+D+i, habida cuenta del factor humano de la investigación. ¿Nada de esto interesa a los redactores de la futura Ley de la Ciencia?

Podrá responderse que no todo tiene que ser objeto de atención de la Ley, y que los organismos de I+D tienen ya sus propias reglamentaciones, como es el caso del CSIC, con su Norma de Estructura y Organización de Institutos y Centros. Pero, por desgracia, ese ámbito no sujeto a las especificaciones de la Ley sirve para constreñir la vida interior de los Centros e Institutos a los que se les impone como garantía crítica un Comité Externo de Asesoramiento Científico, con un tercio de componentes extranjeros. Se quejan prestigiosos investigadores de notable ejecutoria que su trabajo científico queda reducidísimo por causa de los papeles que han de rellenar informando sobre sus tareas.

Lo que sucede es que los Centros han dejado de tener una vida científica propia. Una vida científica propia para la que fueron creados. La Ley de 1986, facultando a todo investigador para pedir al Plan Nacional un proyecto de investigación con su financiación correspondiente, convirtió al investigador agraciado en un huésped de lujo, usuario de la biblioteca y de los laboratorios, pero desvinculado de la vida científica interior del Centro. Por supuesto, el director firma la propuesta cuando un investigador solicita un proyecto, pero no conocemos a ningún director que se haya atrevido a negar tal firma. Si son varios los investigadores que han conseguido proyecto y cada uno ha reclutado su equipo entre sus compañeros, es obvio que el Centro queda científicamente desmembrado y en realidad sin sentido. De tal manera que el director queda reducido a unas tareas de administración del Centro —¿podríamos decir del inmueble?— que estarían al alcance de algunos competentes administrativos.

Señora Ministra: la nueva Ley es valiosísima por muchas cosas, y es una gran construcción orgánica que garantiza la planificación cabal de una Ciencia y una Tecnología capaz de renovarse y de trascender al sistema productivo. Pero esos grandes órganos planificadores han sido conformados, en parte, por el irrefrenable deseo de no pocos tráfugas de la Ciencia que se han pasado a la burocracia científica y han trasladado hacia sus dependencias ministeriales incumbencias a las que muy bien se habría provisto desde los Centros de trabajo y de sus directores debidamente articulados. Porque existe un *locus* natural de la Ciencia, que son los Centros con su director a la cabeza, donde el trabajo científico encuentra los medios con los que realizarse y donde en realidad se hace la Ciencia. Si esta Ley sale como está habremos sancionado quizá para siempre la desnaturalización de la actividad científica.

Director: Jesús Martín Tejedor

Editor: Enrique Ruiz-Ayúcar

Consejo Editorial: Antonio Bello Pérez, Luis Guasch, María Arias Delgado, Ismael Buño Borde.



Junta de Gobierno de la Asociación Española de Científicos (AEC).

Presidente: Jesús Martín Tejedor

Vicepresidente: Ismael Buño Borde

Secretario General: Enrique Ruiz-Ayúcar

Vocales: María Arias Delgado, Antonio Bello Pérez, José Luis Díez Martín, Pascual Balsalobre, Fernando García Carcedo, Armando González-Posada, Sebastián Medina, Felipe Orgaz Orgaz, Jesús María Rincón, Jaime Sánchez-Montero, Alfredo Tiemblo, Antonio Cortés Ruiz, Luis Guasch Pereira, José María Gómez de Salazar, Marcial García Rojo, Celia de la Cuadra.

Edita: Asociación Española de Científicos. Apartado de correos 36500. 28080 Madrid.

ISSN: 1575-7951. Depósito legal: M-42493-1999. Imprime: Gráficas Mafra

Esta revista no se hace responsable de las opiniones emitidas por nuestros colaboradores.

Sitio en la Red: www.aecientificos.es

Correo electrónico: aecientificos@aecientificos.es

ÍNDICE

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Los centenarios de Charles Darwin JESÚS MARTÍN TEJEDOR | 3 | Maravillas del Universo BENJAMÍN MONTESINOS | 30 |
| SENER suministra el Sistema de Guiado y Control (AOCS/ GNC) de los satélites científicos Herschel y Planck SALVADOR LLORENTE | 9 | Diseño de Superficies Citomiméticas para Ingeniería de Tejidos ROSA M. LOZANO | 34 |
| El Análisis Diferencial de Movilidad como nueva tecnología analítica de campo SILVIA LÓPEZ VIDAL, ESTHER HONTANON, ELADIO MONTOYA, EMILIO RAMIRO | 14 | Placas de Honor de la Asociación • Julio Martínez Calzón • ELCOGAS • Juan Carbonell Gisbert • Julio César Javier Tello Marquina • MIP SYSTEM AGRO JESÚS MARTÍN TEJEDOR | 39 |
| Los materiales de carbono ante los nuevos retos tecnológicos ROSA MENÉNDEZ | 19 | Convenio con la Asociación de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos | 47 |
| Caracterización química de nanosuperficies. Introducción a la espectroscopia fotoelectrónica de rayos X (XPS) S. FELIÚ (JR) | 24 | | |

Los centenarios de Charles Darwin

AUTOR: JESÚS MARTÍN TEJEDOR

1. DARWIN Y SU OBRA:

¿UN HITO EN LA HISTORIA

Y EN LA HISTORIA DE LA CIENCIA?

Sería poco decoroso para nuestra revista que dejáramos sin celebrar este doble aniversario sobre Darwin y su obra: el doscientos aniversario de su nacimiento y el ciento cincuenta de la publicación de su libro *Sobre el origen de las especies por medio de la selección natural o la preservación de razas favorecidas en la lucha por la vida*.

Este es el título real de la obra tal y como apareció en 1859. La expresión “razas favorecidas” difícilmente dejará de proyectarse sobre la trágica historia europea posterior a 1859, especialmente entre quienes piensan que el darwinismo es un producto científico del liberalismo victoriano y del malthusianismo. Por supuesto, el genocidio antijudío nazi se fundaba en una antífrasis del concepto de “raza favorecida”.

En principio reconozcamos que hay un aspecto conmemorativo, y casi protocolario, en ésta efemérides, y que difícilmente nos eximiría de una acusación de incuria y dejadez si pasáramos por delante de estas fechas, sin darnos por enterados.

Los más entusiastas conmemorantes de Darwin lo consideran como el broche de oro del proceso civilizatorio que empieza con Galileo y Newton, y termina por consagrar la racionalidad científica como fundamento del conocimiento. Francisco José Ayala, el genetista español nacionalizado en EEUU, (del que en seguida hablaremos) dio hace dos meses una conferencia en la Universidad de Navarra con el título: “Copérnico y Darwin: dos revoluciones del pensamiento. Todos tres, Galileo, Copérnico y Newton comienzan unos hábitos de pensamiento que encontrarán en Darwin su culminación en términos de racionalidad científica. Esta racionalidad científica –especialmente en Darwin– ha de imponerse postergando un mosaico de ideas inspiradas o impuestas por el poder político o por el poder religioso o por la mezcla de ambos, de manera que la más alta condición del ser humano, es decir, su racionalidad ya no dependerá de dogmas, ni de leyes, ni del respeto a unas costumbres inveteradas o a una sensibilidad multisecular. Para los admiradores de Darwin es el triunfo de la racionalidad su gran aportación a la historia de la Humanidad.

Significa esto que la aparición de la obra de Darwin no fue un acontecimiento pacífico y placentero. Fue más bien el desencadenamiento de una guerra cuyos episodios duran hasta en nuestros días. Para bastantes gentes el nombre de Darwin representaba en substancia la afirmación de que el Hombre no

era una creación de Dios, tal y como la narra el sagrado libro de la Biblia, sino que lisa y llanamente el Hombre procedía del mono. Este planteamiento escandaloso, junto con las especificaciones más concretas que lo explicaban, llegó a perturbar la vida de la propia familia Darwin, hasta el punto de que sus descendientes inmediatos, encargados de publicar póstumamente su *Autobiografía*, se vieron constreñidos a omitir frases que se les antojaban malsonantes y cuyo rescate no se produjo hasta la edición española de 2009.

Si aceptamos que el darwinismo sigue siendo una guerra, digamos por adelantado que lo más difícil no es saber quiénes tienen razón en un campo y en otro, sino saber con exactitud qué significa el pendón de cada contendiente a juicio del contrario. Entre los darwinistas es achaque común considerar que todo contrario al darwinismo es un creacionista. Acusación tan intencionada como gratuita. Entre los contrarios al darwinismo es muy penetrante la sospecha de que los adversarios son en realidad ateos que han encontrado en Darwin una felicísima confirmación teórica. Y tampoco eso está justificado en rigor. Cierto que Darwin en sus años postreros, sintió una cierta repugnancia hacia el cristianismo y hacia la existencia de un Dios castigador eterno y consentidor de las miserias de la Tierra. En una carta de 1879, en la que respondía a las preguntas de su corresponsal manifestaba una cierta ambivalencia respecto a la religión: “*pero ya que me lo pregunta, debería declarar que mi opinión suele fluctuar [...] En mis fluctuaciones más extremas nunca he sido un ateo en el sentido de negar la existencia de un Dios. Creo que en general (y más lo creo a medida que mayor me hago), pero no siempre, agnóstico sería la descripción más correcta de mi estado mental*” (C. Darwin, *Autobiografía*, Editorial Edigrabel, Barcelona, 2010, p. 158) No sólo no llegó a formular un ateísmo definido sino que siempre dejó un escape libre hacia la consideración del origen de todas las cosas como algo misterioso que desbordaba las posibilidades del humano intelecto. Por eso mismo tampoco quiso dar un alcance holístico a sus ideas....” *no pretendo proyectar la menor luz sobre problemas tan abstrusos –escribía en su autobiografía– El misterio del comienzo de todas las cosas nos resulta insoluble; en cuanto a mí deberé contentarme con seguir siendo un agnóstico*” (C. Darwin, *Autobiografía*, Editorial Laetoli, Pamplona, 2008, p. 83)

Este párrafo, que a nuestro modo de ver es fundamental en su *Autobiografía*, nos muestra a un Darwin consciente de la existencia de una instancia metafísica, previa a la vida y por lo tanto al origen de las especies, en la que no quiso entrar por considerar un abstruso e inútil devaneo tratar de iluminar el misterio insoluble del comienzo de todas las cosas.

En esta guerra desigual que sigue siendo el darwinismo (desigual porque hoy por hoy, y cada vez más, el neodarwinismo sigue teniendo notable prevalencia) resulta difícil sentenciar quiénes tienen la razón o la verdad, y quiénes no

la tienen. En realidad, tampoco esto fija definitivamente la cuestión, porque se da el caso de que algunos detentadores de la verdad y la razón –verdaderos detentadores– estropean su ejecutoria con actitudes altivas, despectivas y soberbias que excitan y legitiman la hostilidad de sus contrarios. A veces el achaque no es la soberbia, que suele darse más entre los partidarios de Darwin, sino el cerrilismo, que se produce más en las personas para las que el principio religioso es fuente ordinaria de inspiración y habitual norma de conducta. Adelantemos la conclusión a la que quisiéramos llegar de que el darwinismo es un importante asunto científico que no pocas veces se ve presionado y sustancialmente falseado por condicionantes extracientíficos.

En efecto, no son pocos los que han visto en el darwinismo, con gozo y con aires de triunfo, nada menos que la muerte de Dios. Obviamente tampoco han faltado, como decíamos, personas e instituciones religiosas que han achacado al darwinismo la intención de convertir a Dios en una fantasmagoría creada por el hombre. Próximo a esta idea resulta nada menos que Karl Popper cuando escribe en sus *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge* (p. 408) que “la idea de una ley que determine la dirección y el carácter de la evolución es un típico error del siglo XIX que surge de la tendencia general

a atribuir a la “Ley Natural” las funciones tradicionalmente atribuidas a Dios” (agradezco al biólogo Emilio Cervantes del CSIC la sugerencia de esta cita).

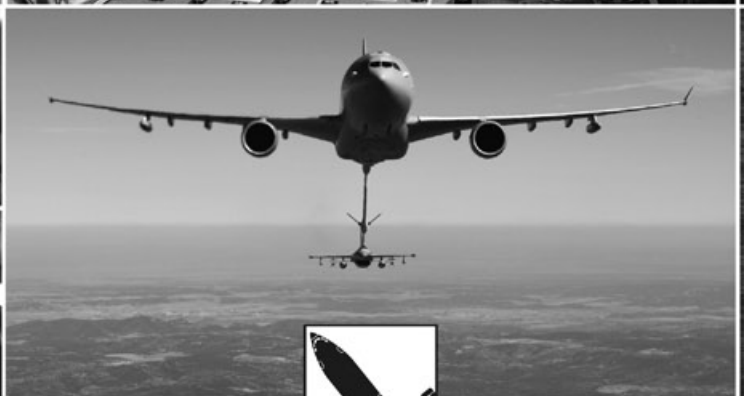
2. DARWINISMO Y RELIGIÓN: EL ESPAÑOL

FRANCISCO JOSÉ AYALA PEREDA

El tema de las relaciones entre el darwinismo y la religión se nos pone por delante no sólo porque históricamente representa una primera torsión dialéctica y cultural entre los coetáneos de Darwin, sino por algo más actual y más estrechamente vinculado a nosotros y a los fines para los que fue creada esta revista “Acta Científica y Tecnológica”: dar a conocer al público español las aportaciones científicas de nuestra nación.

Sucede que la persona a la que debe atribuirse en el mundo un mayor aporte a la pacificación y clarificación del binomio religión/Darwin es un español que no ha gozado en España de la notoriedad con que brilla en el mundo universitario norteamericano y hasta en las más altas esferas políticas de aquel país. Se trata del científico español más destacado en el mundo al que se considera, además, la primera autoridad mundial como genetista: el madrileño Francisco José Ayala Pereda.

TU FUTURO. NUESTRA MISIÓN.



Nos alegra que el hilo de este trabajo nos obligue a referirnos a Francisco José Ayala, porque estamos casi seguros de que para no pocos de nuestros lectores tal referencia equivaldrá a una presentación.

Ayala nació en Madrid en 1934. Hizo sus estudios universitarios en Salamanca y en 1961 pasó a la Universidad de Columbia (EEUU) para hacer el doctorado, bajo la dirección de T. G. Dobzhansky, que terminó en 1964. El deseo de continuar la relación con Dobzhansky, quien había pasado a trabajar en la Universidad Rockefeller, llevó a esta Universidad a Francisco J. Ayala, y en ella trabajó hasta 1971, aunque dio también clases en el College Providence de Rhode Island. En 1971 dio dos pasos importantes en su biografía: adquirió la nacionalidad norteamericana y pasó a profesar en la Universidad de California Irvine, donde todavía continúa. Curiosamente, se repitió la historia pero al revés: ahora fue Dobzhansky, jubilado de Rockefeller en 1970, quien se trasladó a Irvine en buena medida para seguir disfrutando de la compañía de Ayala. Se trabó una gran amistad entre ambos hasta el punto de que Dobzhansky murió en el automóvil de Ayala, cuando este trataba de acercarlo a un hospital.

Confluyen cosas muy significativas en esta relación personal. En primer lugar la decisión de ir a hacer la tesis doctoral

con Dobzhansky fue consejo del profesor de Salamanca Fernando Galán (Luarca 1908 - Salamanca 1999), quien a su vez era discípulo del genetista Antonio de Zulueta (Barcelona 1885 - Madrid 1971), cuya actividad docente e investigadora se desarrolló en el Museo de Ciencias de Madrid, a la sazón dirigido por Ignacio Bolívar Urrutia. Entroncaba pues Ayala con los hombres más significados de la Institución Libre de Enseñanza, y fue Zulueta el que le abrió el camino a Dobzhansky, quien –digámoslo de una vez– era el nombre más significado del neodarwinismo. Pero quizá no era ésta la principal razón de su preferencia por Dobzhansky, sino el hecho de que éste no era sólo un biólogo, sino un pensador preocupado por los problemas filosóficos y trascendentales. Ayala, que había estudiado filosofía y teología con los dominicos, no se desentendió nunca de la inflexión religiosa en sus estudios. Y ello explica que haya sido Ayala quien ha formulado de manera más decisiva una proyección de la Ciencia y de la Religión carente de interferencias mutuas. Es especialmente significativo que el primer libro de Ayala sobre *Filosofía de la Biología* (1974) lo escribiera en íntima colaboración con Dobzhansky, al igual que *Estudios sobre Filosofía de la Biología* donde recogían las aportaciones de un encuentro celebrado en Italia donde estuvieron presentes Karl Popper y Peter Medawar. Después publicaron conjuntamente la obra *Evolución*.



CN235/C295

La familia de aviones de Airbus Military del siglo 21 presenta la más completa y versátil oferta del mercado. Establecemos constantemente nuevos estándares que permiten cubrir las cambiantes necesidades de las misiones de hoy en día.

Además de transporte táctico y estratégico, tenemos la capacidad de cumplir con los requerimientos de los gobiernos para satisfacer sus compromisos internacionales.

Proporcionamos soluciones tanto para misiones militares como de responsabilidad social, desde transporte de personal o carga, reabastecimiento en vuelo, ayuda humanitaria, salvaguarda de la paz, resolución de conflictos, vigilancia, control de fronteras, rescate, protección del medio ambiente y servicios de emergencia.

Con productos respaldados por la solidez de la red internacional de Airbus, nadie está en mejor posición para afrontar los retos aéreos del presente y del futuro.

 **AIRBUS MILITARY**
NEW STANDARDS. TOGETHER

Ayala ha tenido una ascensión meteórica en los ambientes científicos y universitarios norteamericanos. Es doctor "honoris causa" por diecisiete universidades, es miembro de la Asociación de Ciencias de EEUU y fue presidente de la Sociedad Americana para el Avance de las Ciencias, así como asesor científico del presidente Clinton. Fue editor de la revista Science. Ha publicado más de doce libros y más de quinientos artículos científicos. En su libro *Darwin y el diseño inteligente* (2007) aborda abiertamente la compatibilidad entre el evolucionismo y el catolicismo, pero a mediados de los años setenta ya había comenzado su actividad contra la enseñanza del creacionismo como una disciplina científica en los colegios de California.

Sucedió que en 1980, siendo Ayala Presidente para el Estudio de la Evolución, el Estado de Arkansas, por la presión de instituciones cristianas protestantes, aprobó una ley que emparejaba el estudio de la Evolución con la ciencia de la Creación, apelando a seis afirmaciones tomadas del Libro del Génesis. En 1982 el juez Overton declaró que el creacionismo no es ciencia, sino religión y por lo tanto no se podía estudiar en la escuela pública. Ayala redactó en esta circunstancia un documento en el que se declaraba que la enseñanza de la religión como ciencia era anticonstitucional. El problema de la enseñanza del creacionismo como ciencia a enseñar en la escuela pública afectó a muchos Estados de la Unión –en realidad sigue afectando– y las resoluciones públicas que se tomaron en su contra tuvieron como sustento doctrinal el documento de Ayala, que ha llegado a tener una validez generalizada en el pensamiento norteamericano.

El pensamiento de Ayala puede resumirse en una de las primeras frases de su libro *Darwin y el diseño inteligente*: "El mensaje central de este libro es que no hay contradicción necesaria entre la ciencia y las creencias religiosas". La misma actitud puede observarse en la Santa Sede y en los medios vaticanos, cuando el 22 de octubre de 1996 el Santo Padre Juan Pablo II dirigió a la Academia Pontificia de Ciencias un mensaje de gran importancia doctrinal: "La Evolución es más que una mera hipótesis". En junio de 2009, en el Auditorium de la Universidad Gregoriana, tuvo lugar un encuentro de evolucionistas de todo el mundo con el cardenal Levada, Secretario de la Congregación para la Doctrina de la Fe. Francisco José Ayala fue el presidente de la primera sesión el día 21, y en ella el cardenal Levada habló a favor de la evolución y de su compatibilidad con la doctrina católica.

Estas son también las ideas prevalentes del pensamiento del papa Ratzinger: "esta contraposición –entre la doctrina católica y el evolucionismo– es absurda, porque, por una parte, existen muchas pruebas científicas a favor de la evolución, que se presenta como una realidad que debemos ver y que enriquece nuestro conocimiento de la vida y del ser como tal. Pero la doctrina de la evolución no responde a todos los interrogantes y sobretodo no responde al gran interrogante filosófico: ¿de dónde viene todo esto y cómo todo toma un camino que desemboca finalmente en el hombre?" El atento lector recordará que Darwin en su *Autobiografía* también advertía

que la cuestión del origen de todas las cosas era un problema abstruso y un misterio que nos resulta insoluble. Daba una solución agnóstica, independiente del tema de la evolución, que en el papa Ratzinger constituye un interrogante planteable que se resuelve en el terreno filosófico.

A nuestro modo de ver Ayala ha sido el mayor componedor de una idea de conciliación entre la ciencia y la religión que puede pacificar los espíritus y garantizar la libertad en estas materias. Suyas son estas palabras claras e ilustrativas: "La ciencia y la religión son como dos ventanas de mirada al mundo, lo que se ve desde cada ventana es distinto, pero es el mismo mundo. Y son compatibles, esa es mi manera de ver las cosas. La ciencia se ocupa de explicar los procesos naturales por medio de leyes naturales. La religión trata del significado de la vida, del propósito de la vida, de nuestras relaciones con los demás; sobre estas cosas la ciencia no tiene nada significativo que decir. Y la religión no tiene nada significativo que decir sobre la ciencia porque no trata de esas cosas. Las dos se interfieren cuando dejan su campo en el que tienen autoridad y entran en el otro. Y éste es el problema con los fundamentalistas cristianos en Estados Unidos y los islamistas en otros países, que quieren hacer de la Biblia un libro de texto científico, como si fuera un tratado de astronomía o de biología, y entonces sí hay contradicción y se destruye a sí misma." (El País. Entrevista a F. J. Ayala. Con la teoría del diseño inteligente, Dios sería el mayor abortista. 21/06/200).

Estos logros doctrinales pueden considerarse altamente beneficiosos en la perspectiva de una historia de la España Contemporánea. La recepción de las obras de Darwin en la segunda mitad del siglo XIX constituyó una importante aportación a la dialéctica pugnaz entre el liberalismo y las fuerzas conservadoras o, si se quiere, entre el librepensamiento y la Iglesia. La bibliografía dedicada a este tema es lo suficientemente abundante como para sugerir que no se trató de una cuestión banal. Diego Núñez en su valiosa y matizada obra *El darwinismo en España* (1977), y Francisco Pelayo, investigador del CSIC, en su más reciente trabajo *Creacionismo y evolucionismo en el siglo XIX: las repercusiones del Darwinismo en la comunidad científica española* (1996) aportan un registro significativo de las variadas publicaciones que han ilustrado el tema del darwinismo en España, sus orígenes y procedencia –es curioso que una de las primeras vías de penetración fue la presencia del krausismo en España– y sus repercusiones tanto en la reorientación del pensamiento universitario español como en la dialéctica política entre Tradición y Libertad. Sobre la aparición del darwinismo tiene especial riqueza, dentro de su carácter sintético, la Introducción a la edición de *El origen de las especies* publicada por la Austral en 2009, para conmemorar el centenario, obra de Jaume Josa i Llorca.

En conclusión, digamos que en la actualidad, especialmente gracias a las obras e intervenciones de Ayala Pereda, las controversias en torno a la aceptación del darwinismo han quedado sustancialmente fuera del considerando religioso católico. Otra cosa habría que decir respecto al pensamiento protestante norteamericano.

3° LA APARICIÓN DEL DARWINISMO

Y SU COMPLEJO ÉXITO

La famosa obra de Darwin cuyo centenario hemos celebrado el año pasado, *El Origen de las especies*, se publicó en 1859, pero no fue hasta 1872, año de la publicación de la sexta edición, cuando apareció por primera vez su concepto de evolución. Es a partir de este año cuando el pensamiento de Darwin se completa en cuanto a sus dos conceptos fundamentales: la evolución y la selección natural. Toda la vida, según Darwin, evolucionó a partir de una o de pocas formas simples de organismos. Las especies evolucionan a partir de variedades preexistentes por medio de la selección natural. "A esta conservación de las diferencias y variaciones individualmente favorables y a la destrucción de las que son perjudiciales la he llamado yo *selección natural o supervivencia de los más adecuados*".

El "complejo éxito", al que aludimos en el presente subtítulo, tiene que ver con datos y aportaciones, en los que Darwin se inspiró, que concomitan al suceso doctrinal y, en todo caso, parecen complicar la exclusividad de su autoría.

Así, uno de sus dos conceptos fundamentales, el de la selección natural, se le ocurrió en octubre de 1838, quince meses después de empezar a sistematizar los apuntes con que contaba, tras arribar a Inglaterra en 1836 a bordo del *HMS Beagle*, de su famoso viaje a Suramérica. "Sucedió que leí por diversión el ensayo sobre la población de Malthus, y comencé a estar bien preparado para apreciar la lucha por la existencia que se da en todas partes a partir de observaciones a largo plazo de los hábitos de animales y plantas, y de inmediato me impactó el hecho de que bajo tales circunstancias las variaciones favorables tenderían a ser preservadas, mientras que las desfavorables serían destruidas. El resultado de esto sería la formación de nuevas especies. Aquí, por tanto, por fin había una teoría con la que trabajar".

Sobre el otro gran concepto darwiniano, la evolución, escribe Gould: "Creo que Lamarck tuvo mucha más influencia sobre Darwin de lo que reconoce la tradición (un punto avanzado también por otros historiadores de la ciencia: véase Corsi, 1978; Mayr, 1972, p.90) ... Darwin dijo poco de Lamarck en sus publicaciones. La única referencia explícita a la teoría lamarckiana en *El Origen* es un cicatero elogio en el prefacio histórico añadido a las ediciones posteriores a la primera. Pero sabemos que Darwin estudió a Lamarck intensamente y no le gustó lo que leyó. Tenía un ejemplar de la edición de 1830 de la *Philosophie Zoologique* (véase Hull, 1985, p 802) que leyó al menos dos veces y del que tomó gran cantidad de notas. Lo que quizá sea más importante es que Lamarck proporcionó a Darwin una introducción al tema de la evolución a través de la imparcial pero crítica exégesis de Lyell en sus *Principles of Geology*" (Gould, 2002, p.221-221).

Respecto a la paternidad de la idea de la evolución se asocia a Darwin otro nombre que influyó bastante para que éste se

lanzara a la exposición de su doctrina: Alfred Russell Wallace. En 1855 había publicado Wallace un artículo titulado *On the law which has regulated the introduction of new species* en el que planteaba el tema de la evolución. Había observado que no todos los ejemplares de una misma especie eran iguales y que variaban genéticamente creando desigualdades. En 1858 escribió otro artículo *On the tendency of varieties to depart indefinitely from the original type*, donde proponía a la selección natural como el mecanismo propio de la transmutación de los especies.

Wallace envió su artículo a Darwin para su examen y éste leyó el texto con la máxima atención y estima, considerando que su tenor aclaraba los interrogantes que venían planteándose desde hacía más de veinte años. Darwin publicó *El origen de las especies* el 24 de noviembre de 1859, y no tuvo inconveniente en presentar el trabajo de Wallace en la Sociedad Linneana de Londres el 1 de julio de 1859, adelantándose a la publicación de su libro. Jaime Josa Llorca, en su espléndida introducción a la edición Austral de *El Origen de las especies*, hace notar la buena relación entre Wallace y Darwin que permite identificar la autoría de la teoría de la selección natural como cosa de ambos. "Algo parecido ocurrió con la teoría de la selección natural, que fue formulada por Wallace y Darwin. Aunque se habla siempre de darwinismo, Wallace debe ser considerado coinventor de la teoría de la selección natural, y es el fundador de la zoogeografía basada en la evolución. Gracias a la buena disposición del propio Wallace y a los buenos oficios de Lyell y Hooker, amigos de Darwin, éste no perdió la prioridad al presentar conjuntamente en una comunicación en la *Linnean Society of Londres* trabajos en los que se argumentaba el papel de la selección natural en la transformación de una especie a otra. (p. 21)

Pasados treinta años, Wallace publicó una serie de conferencias con el título de "Darwinism" que venían a ser una reprimenda de las ideas de Darwin y de las suyas propias, pero aportando datos científicos que en tiempos de Darwin eran desconocidos. El examen de estos textos parece mostrar que el pensamiento de Wallace y de Darwin estuvo más imbricado todavía que lo que se había mostrado en aquella colaboración inicial y que la aportación del primero al segundo había sido todavía más sustancial. Tanto es así que no han faltado autores que han considerado justo denominar como Darwin-Wallace el mecanismo de la Selección Natural.

Estos repartos de autoría parecen conspirar contra la trascendencia científica de Darwin y sugieren un cierto reduccionismo que haría menos justificado el afán por instalar su nombre en el Olimpo de las máximas divinidades de la ciencia, junto con Galileo, Copérnico y Newton. El propio Einstein y su teoría de la relatividad se han considerado del mismo porte e importancia que el planteamiento de la Evolución.

A decir verdad, la espectacular trascendencia de Darwin en el campo de la biología ha contado con ayudas externas y hasta organizativas que de nuevo nos dejan un tanto en suspenso respecto a los méritos intrínsecos de nuestro hombre. Bertrand Russell, R. M. Young y Bernard Shaw atribuyeron el

éxito de Darwin a la oportunidad de sus formulaciones como explicación de la situación económico-social de la Inglaterra del colonialismo y de sus injustas condiciones sociales. Para ellos se trataba de la aplicación de las ideas de Malthus y Spencer que premiaban el éxito de los más dotados y condenaban a los menos dotados, viciosos e irresponsables respecto a sus familias demasiado numerosas. Si queremos ser justos, hemos de reconocer que el llamado "darwinismo social" no explica suficientemente el éxito clamoroso que en el terreno de la ciencia tuvo Charles Darwin. Es preciso, sin embargo, contar con la figura de Thomas Henry Huxley para explicar el éxito científico de Darwin. "Huxley era "un científico líder en su época y un activista político, cualidades que le aportaron las palancas necesarias para ayudar a construir un orden en el que la ciencia y el profesionalismo reemplazasen a los clásicos y el mecenazgo". "Fundó, junto con Joseph Dalton (otro poderoso protector de Darwin) el X-Club, en el que también figuraban Herbert Spencer, John Tindall y otros que, durante una década, controlaron la Royal Society. Huxley fue presidente de la Geological Society, la Ethnological Society, la Brithish Association for the Advancement of Science, la Marine Biological Association y la Royal Society". "Con plazas en diez Comisiones Reales, deliberando sobre todo, desde las pesquerías a las enfermedades o la vivisección, penetró claramente en los laberínticos corredores del poder". "También, junto con Hooker, fundó la revista Nature". "El X-Club fue fundado con el objetivo de "promover el darwinismo y el liberalismo científico" y "fue acusado de ejercer demasiada influencia sobre el ambiente científico de Londres" es decir, del Imperio". (Web Genaltruista, Entrevista a Máximo Sandín con motivo del "Año de Darwin").

4º LA DIFÍCIL VALORACIÓN DE LA OBRA DE DARWIN

Las consecuencias que pudieran desprenderse de cuanto acabamos de exponer podrían sustanciarse, con el debido afán de justicia, en una distinción que ya hace tiempo adquirió carta de ciudadanía: la distinción entre Darwin y el darwinismo. La peripecia personal de Darwin, matizada por las aportaciones de otros a su propio pensamiento, cedería en importancia o trascendencia ante el hecho de que en realidad de verdad debiéramos reconocer –como tantos entusiastas de su figura– que la idea de la selección natural y del evolucionismo es el principio vertebrador de toda la ciencia biológica. Es Dobzhansky quien dice que "en biología nada tiene sentido si no se considera bajo el prisma de la evolución". ¿Podemos considerar a Darwin como el autor luminoso y genial que formuló las ideas por las que se rige de una manera congruente y expedita la moderna ciencia biológica?

La respuesta más tajante a esta pregunta es: no. Pero mejor no confundirse en la interpretación de esta negativa, porque no es a Darwin a quien se niega un galardón, sino que es a la propia ciencia biológica a la que se le niega la condición de *corpus* sistemático, coherente y ordenado. La historia posterior a Darwin ha producido novedades que son modificaciones de su

pensamiento y sugieren la impresión de que el mecanismo de la selección natural es un principio capaz de aclimatarse a los nuevos descubrimientos de la biología dentro de una fidelidad básica al autor de *El Origen de las especies*. Dicho de otra manera, parece que la biología es un sistema coherente y cambiante que avanza hacia el futuro dentro de un sólido orden conceptual legado por el genial Darwin. Tal es el caso del neodarwinismo, concepto formulado en 1895 por George John Romanes sobre la afirmación de que la reproducción sexual en cada generación crea una nueva y variable población de individuos. Asimismo, gracias a Dobzhanski, Ernst Mayr, G. C. Simpson y otros nació una concepción general e integradora: la teoría sintética de la evolución que perfeccionaba a Darwin incorporando la teoría cromosómica de la herencia iniciada por Mendel y la genética de poblaciones. La síntesis moderna ponía en relación los genes (verdadera unidad de la evolución) con el mecanismo de la evolución (la selección). En 1973 obtuvieron el premio Nobel Konrad Lorenz, Karl von Frisch y Niko Tinberger, acontecimiento que supuso la puesta de largo de la ciencia etológica. Finalmente, la sociobiología de Wilson todavía conserva la frescura y el interés del hallazgo de sí misma.

Pero volvamos a la pregunta ¿Existe un panorama claro de la ciencia biológica, un panorama claro por cuanto iluminado por las formulaciones que nos legó Darwin? Para las viejas guardias del darwinismo evidentemente, sí. Pero hoy en día proliferan los mixtificadores, los que no se sienten cómodos con las novedades que depara la ciencia, que a nuestra pregunta anterior responden: "no, pero sí" o si se quiere "sí pero no". Hay eminencias como García-Bellido que confiesan su conformidad casi total con Darwin, siempre que se encajen los genes con los que éste no contó. Y hay quien no se aclara; y visto el fenómeno desde fuera, es decir, por los que no somos biólogos, parece percibirse en no pocos un cierto miedo y una falta de libertad.

Esta postrera impresión nos lleva a referenciar al final de este trabajo a Máximo Sandín, polémico profesor de bioantropología, duramente criticado, que ya hemos citado en párrafos anteriores. Suyas son estas palabras que sintetizan la cuestión que nos ocupa: "porque lo que parece claro es que esta situación no puede prolongarse mucho tiempo, y son cada día más las voces muy cualificadas que plantean la necesidad de renovar las bases conceptuales de la Biología, lo que abre un enorme abanico de posibilidades para que los nuevos científicos, libres de la carga de inercia dogmática que soporta nuestra disciplina, tengan la oportunidad de aportar nuevas ideas que conduzcan a la elaboración de un nuevo modelo teórico, más congruente con la realidad de los fenómenos naturales" (M. Sandín, *Pensando la Evolución, Pensando la Vida*, Ediciones Crimentales, 2006, p. 289).

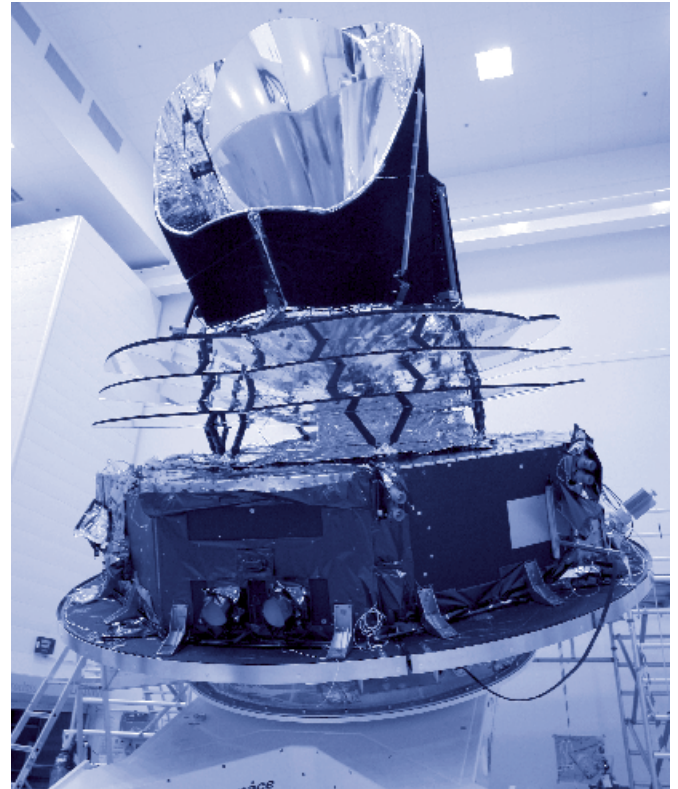
Los centenarios de Darwin nos han parecido un acontecimiento muy oportuno, especialmente si se han aprovechado para ponernos delante el ejemplo de este inglés aventurero y concienzudo, amante de la ciencia, cuya trascendencia en la historia es evidente, incluso para quienes pretendemos matizar cuál es el escalón que le corresponde en el Olimpo del saber. ■

SENER suministra el Sistema de Guiado y Control (AOCS/ GNC) de los satélites científicos Herschel y Planck

AUTOR: SALVADOR LLORENTE
Director del proyecto en SENER del sistema de Guiado y Control (AOCS/ GNC) de los satélites científicos Herschel y Planck.

Estos dos satélites europeos, lanzados el pasado 14 de mayo, estudiarán el origen del Universo y la formación de galaxias y estrellas y constituyen el programa científico más ambicioso y de mayor inversión de la Agencia Espacial Europea (ESA) hasta la fecha. SENER marca un hito en la industria espacial española, ya que por primera vez una empresa nacional es responsable del sistema completo de Guiado y Control de un satélite de la ESA, en este caso de Planck.

Recientemente, la ESA ha enviado al espacio, desde la base de Kourou en la Guayana Francesa, dos importantes satélites de investigación científica: Herschel y Planck. Ambos van a recabar información sobre la formación del Universo, desde diferentes perspectivas: Planck estudiará su origen a partir de la Radiación Cósmica de Fondo (Cosmic Microwave Background: CMB en sus siglas en inglés), esto es, la radiación residual de la primera radiación que existió en el Universo tras el Big Bang, que permanece aún en el espacio. Con Planck, los astrónomos esperan investigar y ratificar las teorías del nacimiento y evolución del Universo, remontándose unos 14 mil millones de años, hasta el principio del tiempo y el espacio tal y como lo conocemos actualmente. Por su parte, Herschel será el mayor telescopio científico de su clase, capaz de cubrir el espectro de ondas desde el infrarrojo-lejano a las ondas sub-milimétricas, elaborando un estudio significativamente más amplio que cualquier otro realizado hasta la fecha en ondas de radiación infrarroja. De este modo, investigará cómo se formaron las estrellas y las galaxias y cómo continúan formándose en tiempo presente. Ambos satélites pretenden responder a preguntas tan determinantes como cuál es la edad del Universo, cómo se formaron las galaxias, si seguirán creándose mientras exista el Universo, si éste seguirá expandiéndose indefinidamente o se colapsará en algún momento o cuál es la naturaleza de las llamadas 'energía oscura' y 'materia oscura', que suponen un 90% del Universo pero nunca han sido detectadas directamente. Para recabar sus respectivos espectros de radiación cósmica, Herschel y Planck operarán en circunstancias críticas, a una temperatura próxima al cero absoluto (-273,15 °C) y en órbitas y apuntamientos muy especiales, que evitan en todo momento la radiación solar y de otros cuerpos como la Tierra o la Luna.



Satélite Planck donde se ven varios elementos del sistema AOCS, como los dos sensores de estrella (tapas rojas) y los cuatro motores de 1N (cuatro caperuzas rojas a la derecha), con los que se controla la actitud de forma fina. Fuente ESA.

Dentro del consorcio de empresas que participan en esta misión, SENER es responsable del sistema completo de Control de Actitud y Órbita (AOCS/GNC) del satélite Planck y tiene una parte importante en el sistema AOCS/GNC de Herschel, en el que también mantiene la responsabilidad del sistema. Este sistema se encarga de llevar a los satélites a las posiciones deseadas (órbita) y mantenerlos con los perfiles de apuntamiento y estabilización adecuados (actitud), además de corregir cualquier desviación que se produzca. El sistema de estabilización por espín (rotación alrededor de un eje del satélite) que se usa en el caso de Planck hace que el continuo y lento movimiento del satélite permita obtener información a lo largo de un anillo completo celeste en cada giro del vehículo sobre sí mismo, hasta configurar un mapa exhaustivo del Espacio profundo. El apuntamiento del satélite y del telescopio, así como su barrido, están medidos, determinados y controlados por el sistema del que SENER es responsable y que incluye equipos sensores, ordenador, lógi-

ca de decisiones, software y equipos actuadores para su control. Cabe resaltar que el sistema AOCS/GNC es uno de los componentes más críticos en cualquier satélite y uno de los más complejos y delicados. Por un lado, es imprescindible para que el satélite pueda ser utilizado y, por otro, determina la calidad de funcionamiento del satélite. Esta dependencia hace que el sistema se diseñe de forma que resista cualquier fallo y, así, se pueda garantizar la operatividad de la misión incluso con equipos inoperativos.

EL SISTEMA AOCS/GNC, RESPONSABLE DE POSICIONAR Y MANTENER LOS SATÉLITES EN SU ÓRBITA Y CON SU APUNTAMIENTO

El pasado 14 de mayo se realizó con éxito el lanzamiento de los satélites científicos en un Ariane-5, en una configuración de lanzamiento dual. El lanzamiento resultó totalmente nominal, con resultados incluso mejores de los esperados y condiciones de inyección casi perfectas. Los Sistemas de Guiado y Control (AOCS/GNC) de ambos satélites, de los que SENER es responsable, están funcionando a la perfección: todas las operaciones previstas se han realizado con absoluta normalidad y con prestaciones superiores a las nominales, lo que mejora el resultado previsto. Ambos satélites tenían que separarse e inyectarse en las trayectorias de transferencia que les llevarán a sus respectivas órbitas operacionales, ambas a aproximadamente 1,5 millones de kilómetros de distancia de la Tierra (casi cuatro veces más lejos que la Luna), en un punto del espacio llamado 'L2' o segundo punto de libración de Lagrange, en la línea que une Sol y Tierra y en dirección al exterior del Sistema Solar. En esta posición se consigue proteger los satélites de la radiación que emiten el Sol, la Tierra y la Luna, para evitar

interferencias en las mediciones y permitir que los equipos puedan operar a las temperaturas extremas mencionadas. El sistema AOCS/GNC ha realizado las maniobras de apuntamiento necesarias tras la separación de Herschel y Planck para garantizar la orientación de cada satélite respecto del Sol, su velocidad angular, etc., y lleva a cabo las maniobras de corrección de errores requeridas durante el trayecto que ambos satélites recorren en paralelo hasta alcanzar el punto 'L2'. Cuando los satélites llegan cerca del punto de libración, el sistema AOCS/GNC lleva a cabo una de las maniobras orbitales más importantes, para conseguir su inyección en órbitas de Lissajous de distinta amplitud, desde las que llevarán a cabo sus diferentes misiones. El sistema realiza regularmente maniobras de mantenimiento orbital que garantizan unas trayectorias orbitales estables.

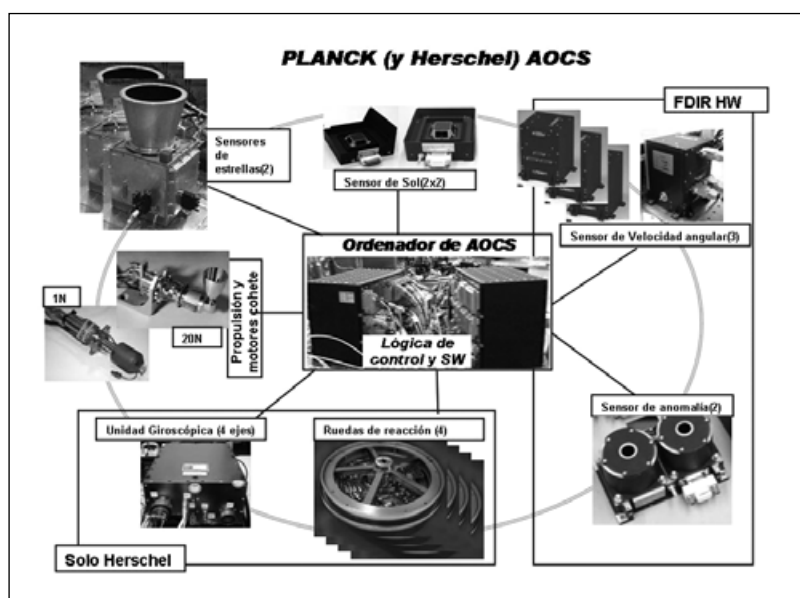
UN EXITOSO LANZAMIENTO

La separación de Herschel se realizó 26 minutos después del encendido del lanzador y, posteriormente, tras eyectar la cubierta de Planck y realizar la maniobra de reorientación y espinado, Planck se separó del último módulo del lanzador a los 29 minutos del lanzamiento.

Poco después, el control de tierra estableció contacto con ambos satélites, lo que indicó que la inyección fue casi perfecta: ni siquiera hizo falta la maniobra de 'adquisición de sol' que tenía previsto realizar el AOCS de Planck. Mientras tanto, Herschel había hecho su maniobra de 'adquisición de sol' con los motores cohetes de 20N.

Posteriormente se han ido probando cada uno de los componentes del Sistema AOCS/GNC de SENER, incluyendo verificación de equipos, funciones y operaciones. El segundo día, los sensores de estrellas permitieron realizar las maniobras de corrección orbital, tanto de Herschel como de Planck, y ambas resultaron muy buenas. Además, el Sistema AOCS consiguió corregir de forma autónoma los efectos generados en las medidas de apuntamiento por la presencia de la Luna y otros objetos brillantes en el sensor de estrellas sin impacto en las operaciones del sistema. Por su parte, Planck realiza una maniobra perfecta y consigue prestaciones de precisión de la corrección que superan el 1%, lo que mejora el resultado esperado.

El tercer y cuarto día se ha completado la verificación en órbita de la mayor parte de las funciones del Sistema, así como de casi todas las operaciones que se esperan del AOCS/GNC, lo que incluye maniobras de reapuntamiento, entrada en ciencia, maniobras finas, etc. Todas ellas están proporcionando muy buenas

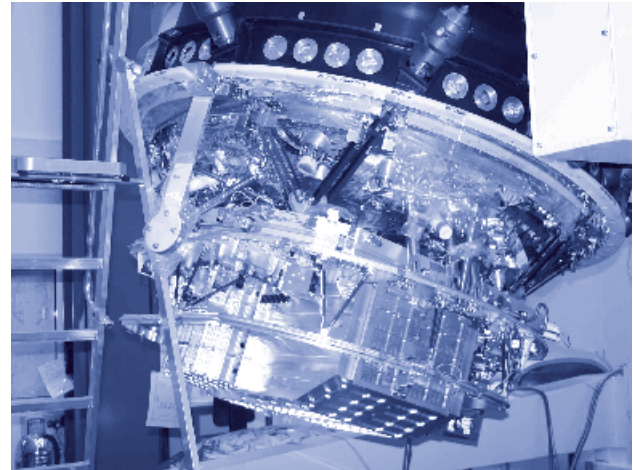


Esquema del Sistema AOCS desarrollado por SENER para Planck y Herschel.

SENER ha desarrollado también el Optical Bench Assembly (OBA) para el satélite Herschel

Herschel cuenta con un telescopio situado en el interior de un criostato que recibe el haz luminoso desde un reflector de 3,5 m de diámetro. Dentro del criostato hay dos tanques de helio y tres instrumentos de observación que van colocados en el interior del Optical Bench Assembly (OBA), suministrado por SENER. El OBA, una estructura plana de 1.600 mm de diámetro cuya finalidad es servir de banco de ensamblaje de los instrumentos de observación, está constituida por una gran placa de aleación de aluminio de 130 mm de altura y una masa de 42 Kg. Dicha placa dispone de apoyos de conexión de los experimentos ópticos del sistema mecanizados, con una desviación en planitud entre los apoyos más lejanos de las interfaces menor de 100 μm . El conjunto, recubierto por una cúpula de aluminio de 1 mm de espesor, cuenta con un baffle de entrada del haz luminoso. Esta cúpula tiene una altura de 538 mm y un peso total de 12 Kg. Por razones térmicas, la emisividad de esta superficie es muy baja. En operación, el sistema funciona entre 3 y 16 ° K para lo cual dispone de unos conductores térmicos, que

arrancan desde el tanque de helio superfluido hasta los experimentos, y otros tres circuitos de helio gaseoso que discurren por el interior del OBA.



Los tres instrumentos científicos instalados en el banco óptico OBA de SENER.

prestaciones. En general, el sistema está funcionado de forma excelente y muestra resultados superiores a los esperados, a pesar de algunas dificultades, como las que ha supuesto tener primero a la Luna en el campo de vista del sensor de estrellas y, más tarde, a Júpiter.

Haciendo una valoración, como director de este proyecto en SENER, puedo decir que es un gran orgullo para SENER y para el equipo que ha trabajado durante más de siete años en este proyecto certificar que hemos conseguido hacer funcionar perfectamente uno de los Sistemas de AOCS/GNC más complejos volados en una misión de la ESA, con unas prestaciones excelentes y sin apenas dificultades operacionales. Conviene recordar que este es el primer Sistema AOCS/GNC que una empresa española realiza para la Agencia Espacial Europea. Además, en el caso de Planck, que es el satélite en el que SENER tiene la autoridad total de diseño, el AOCS/GNC es un Sistema novedoso y complejo, pues combina por primera vez tecnologías de estabilización en espín con tecnologías de vehículos estabilizados en tres ejes con un nivel de autonomía y capacidad de decisión a bordo sin precedentes hasta la fecha. El equipo de operaciones en el centro de control de ESA-ESOC está muy satisfecho con el funcionamiento del Sistema y sorprendido con su nivel de tecnología y la autonomía asociada.

El Sistema AOCS/GNC ha sido desarrollado por SENER en colaboración especial, como socio a riesgo, con Dutch Space. SENER ha tenido el control total en el Sistema de Planck, en el que ha realizado todo el diseño, desarrollo, verificación, calificación y entrega, mientras que en Herschel dicho papel

lo ha asumido Dutch Space, si bien SENER ha mantenido la responsabilidad general compartida y ha colaborado también en los elementos comunes, además de gestionar algunos de los equipos, como sensores de sol de anomalía y de velocidad angular, y realizar la verificación del Sistema en banco de pruebas.

Tras el lanzamiento los satélites viajaron al segundo punto de libración de Lagrange (L2) y durante ese camino realizaron las mayores maniobras orbitales para la inyección de Planck en órbita de Lissajous alrededor de dicho punto. La primera y mayor maniobra se ejecutó durante los días 5, 6 y 7 de junio, con comportamiento nominal durante las casi 45 horas de duración de la maniobra totalmente autónoma, mientras que la inyección final se completó en la primera semana de julio y, tras verificar de nuevo su funcionamiento, ambos satélites comenzaron con el programa de adquisición de datos científicos.

EL SISTEMA AOCS/GNC, CRÍTICO PARA OBTENER INFORMACIÓN VÁLIDA DE LOS INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS

El sistema AOCS/GNC mantendrá en órbita ambos satélites durante toda su misión: Herschel orbitará por un tiempo mínimo de tres años para completar su estudio. Por su parte, Planck deberá realizar varios barridos completos del Universo – tarda aproximadamente medio año en completar un barrido de la esfera celeste -. En todo este tiempo el sistema AOCS/GNC deberá controlar la dirección y velocidad

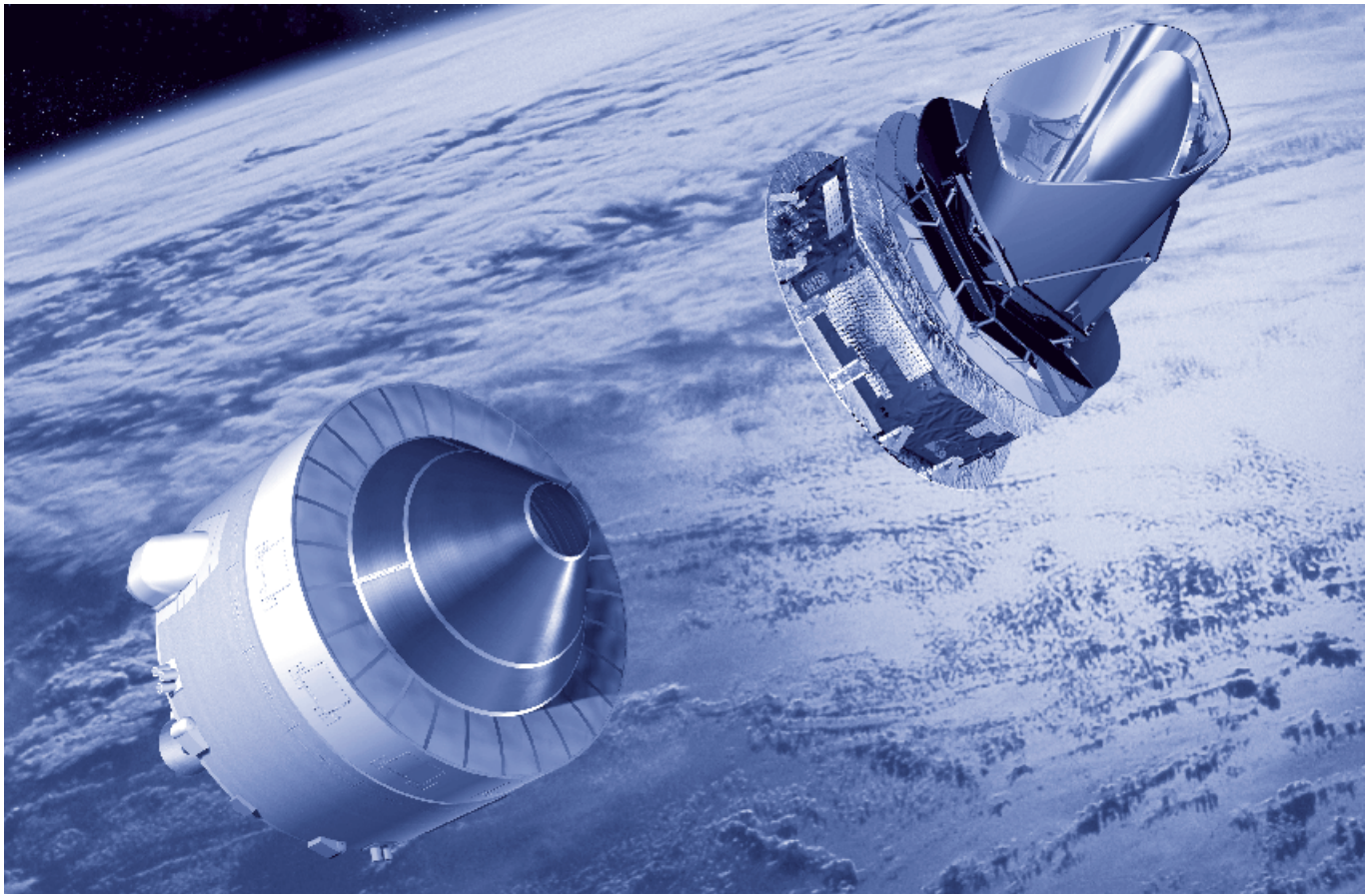


Imagen artística del lanzamiento que muestra la separación del satélite Planck. Fuente ESA.

de giro del satélite, de forma que su orientación garantice en todo momento tanto el apuntamiento correcto del telescopio a los objetivos científicos como la protección del telescopio y los detectores frente a la radiación del Sol. El AOCS/GNC de estos satélites constituye el sistema de mayor complejidad de ambas plataformas. Como responsable del diseño, desarrollo y verificación del AOCS/GNC de Planck, SENER ha afrontado importantes retos y ha introducido varias innovaciones en el sistema: amplia autonomía a bordo, que capacita al satélite para realizar la toma de decisiones y las tareas de determinación y control sin intervención de los centros de control en Tierra (hasta la fecha, los satélites estabilizados en espín, esto es, a través de un movimiento de rotación constante, se controlan en bucle abierto desde tierra). También es relevante la capacidad del sistema para realizar un muy amplio rango de maniobras orbitales en cualquier dirección del espacio sin necesidad de reorientación del satélite. Por otra parte, Planck es el primer satélite europeo 'estabilizado en espín' que incorpora sensores de estrellas de tipo cámara (con detección de estrellas muy débiles y en movimiento). Finalmente, el desarrollo conjunto de Herschel y Planck ha permitido el uso de elementos y equipos comunes, parte de ellos suministrados por SENER, que ha optimizado así el trabajo de ingeniería con la consiguiente reducción de costes. Es importante mencionar que esta misión implica un salto cualitativo para la industria espacial española, pues es la primera vez que una empresa nacional se encarga del sistema completo de Guiado

y Control (AOCS/GNC) para un satélite de la ESA, en este caso de Planck, donde SENER ha llevado a cabo desde el diseño inicial hasta su integración y verificación en tierra y en órbita. Conviene recordar que, al ser el sistema AOCS/GNC un elemento de extrema criticidad en el funcionamiento de la misión, conseguir que se realice fuera del entorno del contratista principal del satélite es especialmente difícil.

SENER comenzó su trabajo en Herschel y Planck en el año 2001, cuando la ESA lanzó el concurso de ofertas. En 2002, la empresa española se alzó con el contrato, tras una dura competición con empresas de primer nivel en el sector europeo (incluyendo EADS-Astrium) y, desde entonces, SENER ha desarrollado una intensa actividad, que finalizará cuando el satélite comience su operación científica, tres meses después de su lanzamiento. En cualquier caso, SENER continuará prestando labores de apoyo durante toda la misión. Cabe también señalar que, por su complejidad, el sistema AOCS/GNC de Planck ha supuesto un paso importante para SENER, cuya participación en el sector aeroespacial se remonta a los años 60. Desde entonces, la empresa ha suministrado equipos y sistemas a cerca de 50 satélites en vuelo, fundamentalmente de la ESA, así como de otras agencias como la americana NASA y la japonesa JAXA, sin registrar ningún fallo. Hoy en día, SENER es una empresa de referencia internacional en Espacio y una compañía líder en España en sistemas espaciales de a bordo. ■

Sistema de Guiado y Control (AOCS/GNC) de los satélites Herschel y Planck

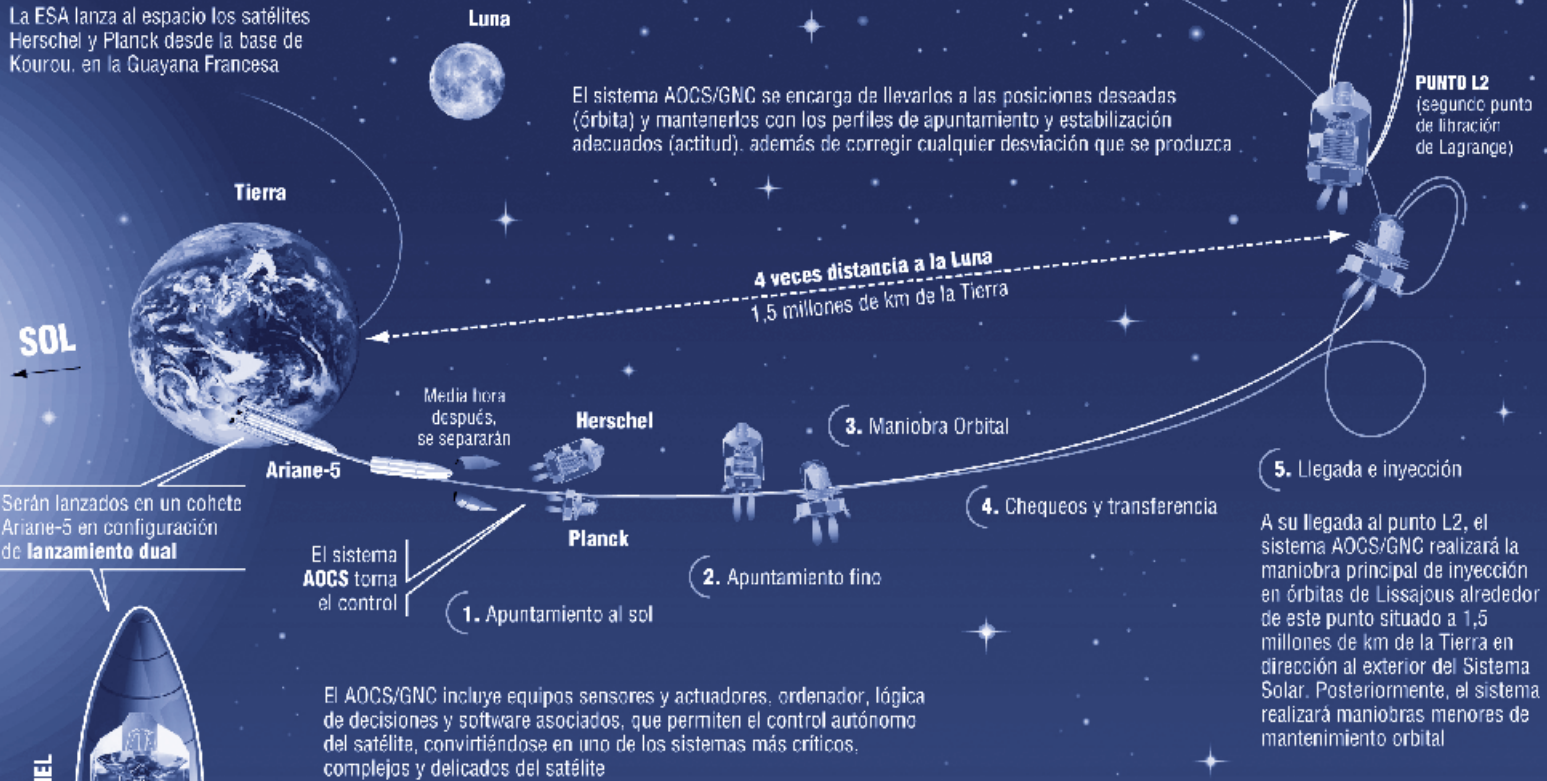


Estos dos satélites europeos estudiarán el origen del Universo y la formación de galaxias, estrellas, etc. Constituyen el programa científico más ambicioso y de mayor inversión de la Agencia Espacial Europea (ESA) hasta la fecha. SENER marca un hito en la industria espacial española, al ser la primera empresa nacional responsable del sistema completo de guiado y control de un satélite de la ESA, en este caso de Planck

Herschel y Planck actuarán en circunstancias críticas, con temperaturas próximas al cero absoluto (-273,15°C) y en órbitas que evitan la radiación solar y de otros cuerpos como la Tierra o la Luna

LANZAMIENTO Y ÓRBITA

La ESA lanza al espacio los satélites Herschel y Planck desde la base de Kourou, en la Guayana Francesa



Serán lanzados en un cohete Ariane-5 en configuración de **lanzamiento dual**

El AOCS/GNC incluye equipos sensores y actuadores, ordenador, lógica de decisiones y software asociados, que permiten el control autónomo del satélite, convirtiéndose en uno de los sistemas más críticos, complejos y delicados del satélite

Características especiales del AOCS/GNC

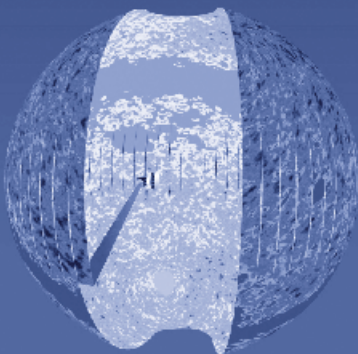
- Amplia autonomía a bordo que capacita al sistema para realizar la toma de decisiones sin intervención del centro de control en tierra
- Muy amplio rango de maniobras orbitales en cualquier dirección sin necesidad de reorientar el satélite
- Primer satélite europeo estabilizado en espín con uso de sensores de estrella de tipo cámara

HERSCHEL
PLANCK



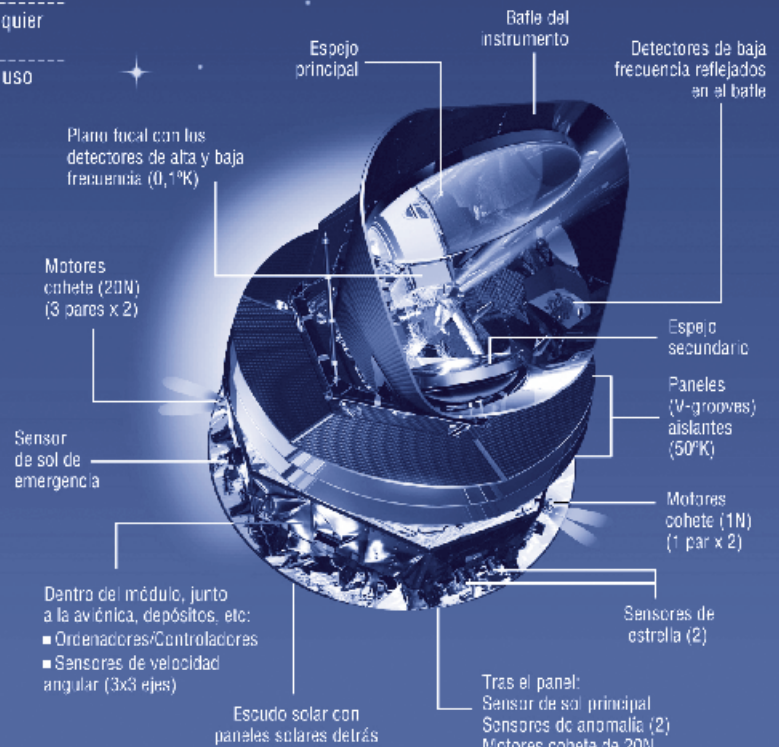
MISIÓN DE PLANCK

Realizará su estudio a partir de la **Radiación Cómica de Fondo (CMB)**, es decir, la radiación residual de la **primera radiación del Universo tras el Big Bang que aún permanece en el espacio**. Servirá para investigar y ratificar las teorías de nacimiento y evolución del Universo, remontándose unos 14 mil millones de años



El sistema de estabilización de Planck hace que su lento y continuo movimiento permita obtener **información de un anillo completo de la esfera celeste** en cada giro sobre sí mismo (espín) para configurar un mapa exhaustivo del Espacio

SATÉLITE PLANCK



El Análisis Diferencial de Movilidad como nueva tecnología analítica de campo

AUTORES: SILVIA LÓPEZ VIDAL; ESTHER HONTANON;
ELADIO MONTOYA; EMILIO RAMIRO
RAMEM, SA.

INTRODUCCIÓN

El Análisis Diferencial de Movilidad (DMA, siglas en inglés) y las técnicas relacionadas basadas en la medida de la movilidad eléctrica de iones moleculares tienen importancia debido a las múltiples aplicaciones que pueden derivarse de su uso en muchos sectores en los que tradicionalmente se ha empleado la cromatografía o la espectrometría de masas como técnicas analíticas. El DMA presenta la ventaja de que puede utilizarse a presión atmosférica y con aire ambiental como gas portador. Inicialmente el DMA y las técnicas relacionadas se conciben para el análisis de volátiles. Los ejemplos más estudiados son los asociados con la seguridad para detección de sustancias prohibidas tal y como pueden ser explosivos, marcadores de los mismos o drogas ilegales. También se puede emplear en análisis de volátiles en diversos ambientes como análisis de contaminantes atmosféricos o bien de otro tipo de sustancias orgánicas dañinas presentes en ambientes cerrados. Otras aplicaciones tienen que ver con el diagnóstico no invasivo mediante el análisis de volátiles presentes en el aliento o control de calidad en el sector agroalimentario o petroquímico. El desarrollo de etapas de preparación de muestra adecuadas ha ampliado el campo de aplicaciones del DMA a sustancias líquidas e incluso sólidas. En relación con este tipo de sustancias, son diversos los campos en los que la tecnología DMA puede aplicarse, destacando por su importancia económica, el campo de análisis de fármacos o por su componente innovadora, el análisis de biomoléculas.

Tradicionalmente se ha utilizado la técnica de DMA para medir la distribución de tamaños de partícula de aerosoles en el rango submicrométrico ($< 1 \mu\text{m}$) como los emitidos en procesos de combustión y los aerosoles atmosféricos. El auge de la Nanotecnología ha impulsado el desarrollo de DMAs para la clasificación de nanopartículas (1-100 nm) también llamados nanoDMAs. Éstos se emplean para medir la distribución de tamaños de nanopartículas como las que emiten los motores (diesel) o las que resultan de procesos de nucleación-condensación de vapores en la atmósfera, así como para la selección del tamaño de nanopartícula en procesos de síntesis de materiales en fase gas. Una revisión de la evolución de los DMAs, desde los modelos originales hasta los más recientes nano-DMA ha sido realizada por Intra (1).

La tecnología DMA está basada en la clasificación de partículas nanométricas cargadas o iones en función de su movili-

dad eléctrica. Las técnicas basadas en movilidad eléctrica han cobrado un interés creciente en los últimos años debido a su gran sensibilidad, su bajo coste y su capacidad de adaptación a procesos de monitorización en tiempo real (2). Debido a que no es necesario trabajar en alto vacío, han sido muchas las aplicaciones surgidas para trabajos de campo.

La movilidad eléctrica se define como la relación entre la velocidad que adquiere una partícula (o una molécula) cargada a una presión cercana a la atmosférica en el seno de un campo eléctrico (3). Dependiendo de la masa de la molécula, de su volumen, de su forma y de la carga asociada al ión, diferentes moléculas presentan diferentes movilidades en presencia del mismo campo eléctrico y a la misma presión de gas circundante. En general, la movilidad eléctrica disminuye con la masa y el volumen (tamaño) del ion y aumenta con la carga del mismo. De esta forma, especies iónicas de la misma carga pero distinta masa, volumen o forma, se desplazan a distinta velocidad en un mismo campo eléctrico, y, por tanto, se pueden separar y detectar por separado. Éste es el principio en el que se basan las técnicas que utilizan la movilidad eléctrica para la detección y/o análisis de sustancias volátiles en el aire ambiente.

La aplicación tecnológicamente más madura de la clasificación por movilidad eléctrica es la Espectrometría de Movilidad Iónica (IMS), en la que las moléculas que se desean detectar se cargan, en general con una carga unitaria, positiva o negativa, y se inyectan en un tubo de deriva o drift tube, que se somete a un gradiente de potencial. De este modo, los iones entran en la región de campo eléctrico y se mueven tanto más deprisa cuanto más pequeños y más ligeros son. A la salida del tubo de drift, se encuentra una placa circular metálica (placa de Faraday) que actúa como colector de iones y está conectada a un amplificador seguido de un electrómetro, el cual mide la corriente de los iones recogidos por la mencionada placa. Los iones más ligeros y pequeños llegarán antes al detector que los iones grandes y pesados. En el caso de poder cargar las moléculas con dobles o triples cargas, un ión cargado con una carga doble llegaría al detector antes que el mismo ión cargado con una carga sencilla.

Los espectrómetros de movilidad iónica clásicos son conceptualmente análogos a los espectrómetros de masas de tiempo de vuelo (MS-TOF, Mass Spectrometry - Time of Flight), en los que se detectan moléculas ionizadas también. Sin embargo existe una diferencia fundamental, que consiste en que los MS-TOF funcionan en alto vacío, tanto en la fase en la que se ionizan las moléculas, como en la fase en la que se diferencian y se detectan. Por el contrario, en los IMSs y DMAs todos los procesos se realizan a presión atmosférica, lo que implica cier-

tos requerimientos técnicos. Con respecto a la ionización de las moléculas, el hecho de realizarla a presión atmosférica en IMS o DMA, limita el tipo de fuentes de ionización que se pueden usar a solamente algunas de las disponibles en espectrometría de masas. Por lo tanto, es necesario construir nuevas fuentes o modificar las existentes para poder utilizarlas en IMS o DMA. En cuanto a la separación, también el hecho de trabajar a presión atmosférica conlleva problemas técnicos que es necesario resolver. Concretamente el hecho de generar y separar iones a presión atmosférica comporta fenómenos de agregación que complican la interpretación de los espectros obtenidos puesto que se generan los iones de la molécula de interés, pero también se pueden formar aductos de éstos con moléculas de agua u otros interferentes que puedan estar cerca de las moléculas ionizadas. Si las concentraciones de analito son suficientemente altas pueden formarse dímeros o trímeros de las moléculas objeto de estudio. La detección a presión atmosférica también implica problemas técnicos como la imposibilidad de utilizar multiplicadores de electrones. De este modo, las señales obtenidas corresponden exactamente con el número de iones que impactan contra el detector, siendo imposible o muy difícil amplificar la señal. Como ventajas de las técnicas basadas en movilidad iónica con respecto a la espectrometría de masas, la principal es que no son necesarias bombas de alto vacío para evitar colisiones moleculares. Al poder analizar moléculas a presiones atmosféricas, los equipos IMS o DMA requieren un nivel de complejidad técnica mucho menor. Esta mayor simplicidad técnica, junto con la posibilidad de su uso a presión atmosférica, implica la posibilidad de que la técnica se pueda adaptar a su uso en campo. Otra de las ventajas de las técnicas basadas en movilidad eléctrica es la capacidad para separar isómeros puesto que la forma que presentan los iones es diferente y los tiempos de vuelo a presión atmosférica asociados también se distinguen. Como puede deducirse de lo descrito anteriormente, es imposible comparar la técnica de espectrometría de masas con las técnicas que implican movilidades iónicas, puesto que en IMS o en DMA no se detectan los iones moleculares aislados, y por tanto no pueden deducirse las masas de las moléculas.

Al igual que en IMS, la técnica de Análisis de Movilidad Diferencial (DMA) también clasifica las moléculas en función de su movilidad eléctrica. Sin embargo, en DMA se separan las moléculas no en función del tiempo que tardan en llegar a un detector, sino que se inyectan los iones en un gas de arrastre, que es perpendicular a un campo eléctrico. Los iones son deflectados de la trayectoria definida por las líneas de campo eléctrico por el caudal de gas, y en función de la relación caudal/campo llegan a un determinado lugar del electrodo a alta tensión. Cambiando las condiciones de campo y de caudal se pueden seleccionar los iones que llegan al detector. Si se realiza un barrido en una de las variables, típicamente el campo eléctrico, manteniendo la otra constante, se podrán elegir los iones de una determinada movilidad para que lleguen al detector. La Figura 1 muestra un esquema del funcionamiento de un DMA de electrodos planos desarrollado por RAMEM (4, 5, 6).

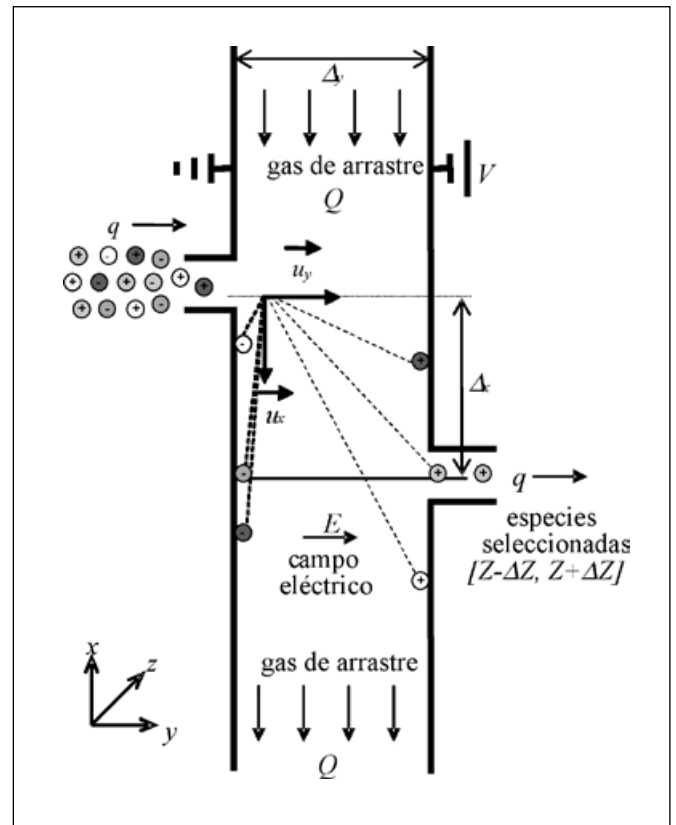


Figura 1: Funcionamiento del DMA de electrodos planos desarrollado por RAMEM.

El DMA desarrollado por RAMEM (4, 5, 6) consta de dos electrodos planos paralelos separados una distancia determinada, entre los que se establece una diferencia de potencial V . En el DMA entra, a través de una ranura practicada en el electrodo a tierra, un flujo determinado del gas portador de especies iónicas con movilidades comprendidas en un intervalo. En el interior del DMA las especies migran bajo la acción del campo eléctrico externo E y del gas de arrastre o *sheath* Q , de forma que sólo las especies de determinadas movilidades alcanzan el detector que se halla en el electrodo opuesto al de entrada y situado a una distancia Δ_x aguas abajo de la ranura de entrada a un caudal q .

El caudal del gas de *sheath* Q , el voltaje aplicado V y la movilidad media Z de las especies seleccionadas están relacionados por la expresión $V = KQ/Z$, donde K es una constante característica del DMA, $K = \Delta_y/(\Delta_x \cdot \Delta_z)$, y Δ_z es la anchura de los electrodos. La resolución del DMA R viene dada por el cociente $R = \Delta Z/Z$. El DMA opera a presión atmosférica por lo que la anchura ΔZ y, por tanto, la resolución del instrumento se ve afectada por la difusión Browniana, debido a las colisiones de las moléculas del gas con las especies. Este efecto es tanto más importante cuanto menor es el tamaño de las especies. Con el fin de evitar la pérdida de resolución asociada a la difusión Browniana los DMAs se diseñan para operar en condiciones de flujo laminar a caudales del gas de *sheath* Q lo más elevados posibles con el fin de reducir el tiempo de residencia o tiempo de vuelo entre los electrodos a valores por debajo del tiempo

difusivo. Cuando el efecto de la difusión Browniana es despreciable, la resolución del DMA viene dada por la relación de caudales $R = Q/q$. En los DMA para el análisis de iones el flujo alcanza números de Reynolds de hasta 10^5 . Estos instrumentos presentan un sofisticado diseño aerodinámico y para su fabricación se emplean técnicas de mecanizado de alta precisión.

Las ventajas de los DMAs con respecto a los IMSs tradicionales son diversas. Una de ellas estriba en la capacidad de los DMAs de clasificar y detectar iones en continuo, a diferencia de los IMSs que trabajan en pulsos. Esta capacidad de trabajar en continuo hace que los detectores (que son electrómetros) funcionen durante todo el tiempo de estabilización de la señal (típicamente 3 veces el factor RC del electrómetro) en lugar de sólo durante una fracción de este tiempo, que es el tiempo en el que el obturador de iones está abierto. Por tanto la sensibilidad es mayor para los DMAs que para los IMSs. También el uso de altos caudales de sheath y altos campos eléctricos proporciona a los DMAs una mayor resolución.

TIPOS DE IONIZACIÓN

Para poder separar las diferentes moléculas según el campo eléctrico, es necesario ionizarlas y para ello se pueden utilizar múltiples métodos. Cuando el DMA o el IMS se utilizan para el análisis de volátiles, normalmente se utilizan fuentes de ionización radiactiva, si bien se están buscando alternativas dados los problemas legales y de salud laboral que dichas fuentes llevan asociados. Dos de los sistemas de ionización que pueden sustituir a la ionización mediante fuentes radiactivas, son la fotoionización y la ionización mediante descarga de corona (7), ya sea directa o indirecta. Los métodos de ionización más utilizados son los que se describen a continuación. RAMEM ha diseñado y fabricado fuentes de iones basadas en las técnicas que se describen a continuación y en la actualidad están disponibles en el mercado.

Cargador corona

Cuando se aplica una alta tensión (3000V) entre un electrodo plano y otro en forma de una punta se genera un plasma (gas constituido por iones libres) en la región que rodea a la punta. Estos iones generados a partir de las moléculas de aire o de otro gas portador, son capaces de ionizar de forma secundaria los compuestos objeto de interés para posteriormente analizarlos en el DMA. Una ventaja de este tipo de ionización es que es universal, genera tanto iones positivos como negativos, aunque no simultáneamente, y la corriente de iones es estable. La ionización mediante cargador corona puede darse de dos formas, una de ellas denominada ionización directa y otra de ellas ionización indirecta. En la ionización directa se hace pasar una corriente de gas enriquecida con analito directamente por la zona en la que se genera el plasma, con lo cual los propios analitos se ionizan y se introducen en el DMA. En la ionización indirecta, se ionizan las moléculas de un gas secundario, que no es el gas portador de analito, y posteriormente se unen la

corriente de gas que porta los iones y la que porta los analitos. Cuando se ponen en contacto los iones del gas con las moléculas del analito, los primeros transfieren su carga a los segundos de forma que puedan ser clasificados y detectados en el DMA.

Fotoionización

La fotoionización implica el uso de una fuente de radiación ultravioleta para provocar la ionización de los volátiles. En este caso, los volátiles se ionizan, en general, perdiendo un electrón y por tanto mayoritariamente se producen iones positivos. El último electrón de las moléculas está ligado a éstas mediante fuerzas que dependen de la constitución de la propia molécula, de modo que la energía proporcionada por la radiación será capaz de ionizar algunas moléculas mientras que otras quedarán inalteradas. Esta propiedad puede utilizarse de manera ventajosa para ionizar las moléculas de interés de forma selectiva, de este modo la clasificación en el DMA será más fácil puesto que habrá menos iones diferentes que clasificar. En particular se pueden encontrar ciertas lámparas de cátodo hueco de 10.6 y 9.5 eV que ionizan gran cantidad de gases y volátiles presentes en el aire, sin ionizar los componentes principales de éste (N_2 , O_2 , CO_2 , H_2O , Ar)

Electrospray

La ionización mediante electrospray permite la ionización de moléculas en disolución, por tanto amplía el tipo de moléculas analizables mediante DMA a las moléculas menos volátiles. Un campo de especial importancia es el análisis de macromoléculas, que se ionizan mediante electrospray. De hecho el premio Nóbel de química fue concedido en 2002 a John Bennee Fenn por el desarrollo del electrospray para el análisis de macromoléculas biológicas. La ionización mediante electrospray genera iones cargados por atomización electrodinámica de una disolución o una suspensión de partículas en un líquido (disolvente). En un vial se coloca una muestra de la disolución en cuyo interior se introduce un capilar. El extremo libre del capilar está afilado y sobre él se aplica un voltaje (kV). El interior del vial se presuriza y el líquido asciende por el capilar hasta la punta donde forma un cono (cono de Taylor) que se prolonga en un chorro alargado y estrecho. El chorro es inestable y bajo la acción combinada de las fuerzas eléctrica y de la tensión superficial se desintegra en forma de gotas de tamaño micrométrico cargadas que contienen el soluto o las partículas de interés. Una corriente de gas fluye en torno al capilar arrastrando las gotas y favoreciendo la evaporación del disolvente. Al evaporarse el disolvente disminuye el tamaño y aumenta la densidad de carga de las gotas. Cuando la densidad de carga es suficientemente alta (límite de Rayleigh) la gota se divide en multitud de gotas más pequeñas (explosión Coulombiana). El proceso se repite sucesivamente hasta que el disolvente se evapora por completo y quedan como residuo iones de las moléculas del soluto que son arrastradas por la corriente de gas y son susceptibles de ser analizadas en el DMA o en otros dispositivos.

TIPOS DE MUESTRAS SUSCEPTIBLES DE SER ANALIZADAS MEDIANTE DMA

Los DMAs e IMSs han sido tradicionalmente utilizados para detectar y clasificar las moléculas en fase gaseosa, de modo que su uso más intuitivo es para analizar sustancias volátiles (8, 9). Sin embargo, pueden ser utilizados para otro tipo de muestras, líquidas y sólidas si se utiliza un sistema de introducción de muestra e ionización adecuado.

En cuanto al uso del DMA con líquidos o disoluciones de sustancias no volátiles, pasa necesariamente por el uso del electrospray (10, 11) para generar iones. Este tipo de ionización puede permitir ampliar el campo de aplicaciones del DMA hacia moléculas grandes, tales como principios activos farmacéuticos o moléculas biológicas como proteínas u otros metabolitos.

En cuanto a las muestras sólidas, son susceptibles de ser analizadas mediante la técnica de MALDI (Matrix Assisted Desorption Ionization) Desorción-ionización asistida por matriz. En este tipo de ionización, la muestra se mezcla con una sustancia fotoactiva (la matriz) y se deposita sobre una superficie sólida. Cuando esta mezcla se somete a irradiación mediante un láser pulsado, se produce una desorción de material, que incluyen iones provenientes de la matriz ionizada y las moléculas de muestra sin cargar. Distintos fenómenos químicos transfieren la carga desde la matriz a los analitos, que pueden ser así detectados en un sistema IMS o DMA (12, 13).

LA TECNOLOGÍA DMA DE RAMEM

En las instalaciones de RAMEM y utilizando un equipo diseñado y fabricado por la misma compañía, se están llevando a cabo diversos proyectos de investigación que tienen por objetivo detectar sustancias peligrosas tales como explosivos, agentes de guerra química o drogas en concentraciones de trazas, tan bajas como sea posible, mejorando la instrumentación diseñada con objeto de alcanzar los límites de detección más bajos. En el campo de análisis de volátiles también se está trabajando

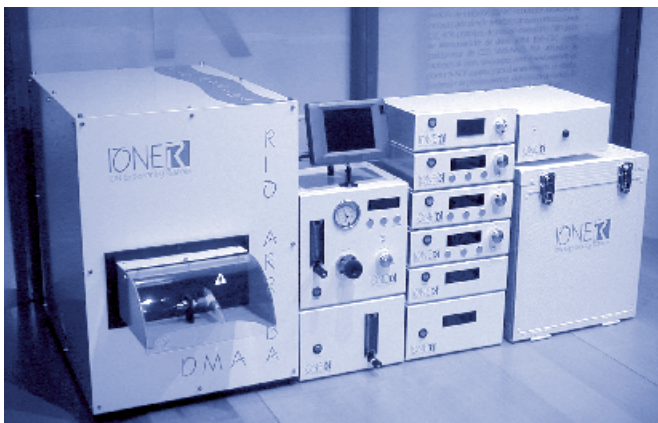


Figura 2: DMA modelo X1 diseñado y construido en RAMEM.

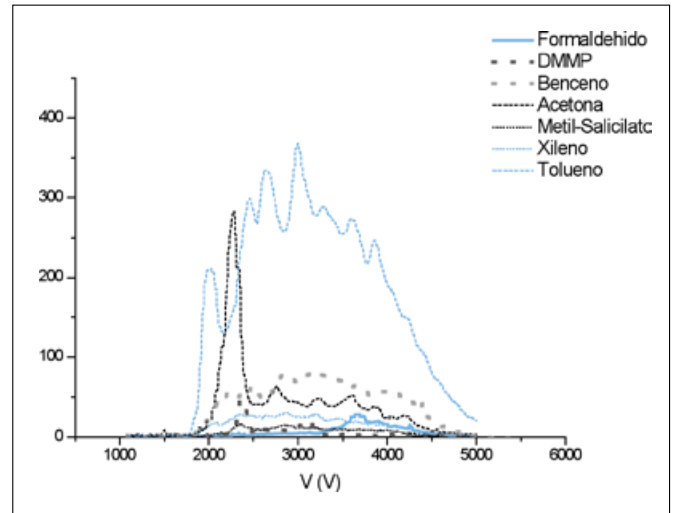


Figura 3: Espectros de distintas sustancias obtenidos en el DMA X1.

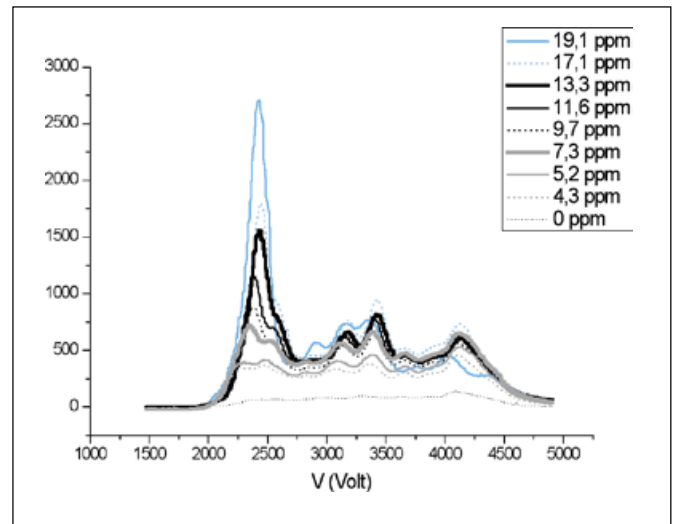


Figura 4: Espectros obtenidos para la acetona utilizando el DMA X1 a diferentes concentraciones.

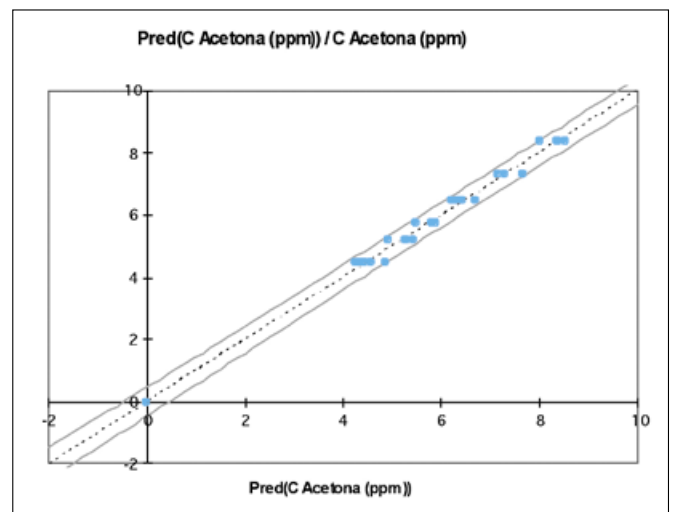


Figura 5: Regresión según modelo PLS de los datos obtenidos en DMA para la acetona usando un mínimo de tres réplicas por nivel de calibración.

en el análisis de contaminantes orgánicos que normalmente están presentes en ambientes públicos cerrados y que pueden ser perjudiciales para la salud de las personas que trabajan en dichos ambientes. También se está investigando la posibilidad del uso del DMA para el análisis de muestras agroalimentarias, concretamente la posibilidad de distinguir entre isómeros cis y trans de ácidos grasos mediante ionización con electrospray, así como el análisis de los componentes volátiles de dichos alimentos. En la Figura 2 puede verse el DMA de electrodos planos para el análisis de iones desarrollado por la empresa RAMEM (IONER X1) (5, 6). Este DMA alcanza una resolución de 50 para iones de movilidad en torno a $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ($\sim 1 \text{ nm}$) con caudales del gas de *sheath* del orden de 500 lpm (4).

Dentro de los proyectos de análisis de volátiles se han estudiado diversos analitos y se ha evaluado la selectividad del equipo. Tal y como puede verse en la Figura 3 los espectros obtenidos para diversos volátiles son bastante diferentes entre sí, por tanto servirán para identificar unívocamente los compuestos.

El DMA no sólo proporciona resultados cualitativos, es decir un espectro o huella dactilar de un tipo de moléculas, sino que también proporciona resultados cuantitativos. Esto es posible puesto que la señal que se obtiene en el DMA para un analito es proporcional a la concentración de dicho analito en la muestra, pudiendo así cuantificarse la cantidad contenida en una muestra a partir de la intensidad de señal que presenta su espectro.

En la Figura 4 puede verse cómo la intensidad del espectro de la acetona crece a medida que la concentración de analito es mayor. En la Figura 5 puede verse la recta de calibrado elaborada con los datos obtenidos para diferentes niveles de concentración de acetona y utilizando técnicas de regresión multivariante, concretamente Mínimos Cuadrados Parciales (PLS).

CONCLUSIONES

La técnica de DMA se presenta como una novedosa técnica analítica muy sensible que proporciona resultados reproducibles y cuantitativos para multitud de compuestos. La posibilidad de generar y medir iones tanto positivos como negativos hace que pueda emplearse con sustancias tanto con alta electronegatividad como con una alta afinidad protónica por lo que el tipo de moléculas susceptibles de ser analizadas es muy variado.

Junto con los diversos sistemas de introducción de muestra e ionización desarrollados y en fase de desarrollo, el DMA presenta gran versatilidad y es capaz de analizar tanto muestras sólidas como disoluciones líquidas de compuestos no volátiles o mezclas gaseosas.

Su uso como técnica de análisis de partículas nanométricas está ampliamente estudiado y su aplicación para la clasificación y selección de partículas de un determinado tamaño es de gran importancia para el campo de la nanotecnología.

El bajo precio de los DMAs, cuando se compara con otro tipo de detectores, junto con la rapidez de análisis y la posibilidad de uso a presión atmosférica, hace que constituya una técnica a considerar para múltiples aplicaciones y sobre todo como método de análisis en primera línea para seleccionar aquellas muestras que han de ser analizadas con alguna técnica más sofisticada. ■

REFERENCIAS

1. Intra, P. and Tippayawong, N. An overview of differential mobility analyzers for size classification of nanometer-sized aerosol particles. *Songklanakarin Journal of Science and Technology* **2008**, *2*, 243.
2. Arce, L.; Menendez, M.; Garrido-Delgado, R.; Valcarcel, M. Sample-introduction systems coupled to ion-mobility spectrometry equipment for determining compounds present in gaseous, liquid and solid samples. *Trac-Trends in Analytical Chemistry* **2008**, *27*, 139-150.
3. Eiceman, G.A. and Karpas, Z. *Ion Mobility Spectrometry*. CRC Press. Taylor & Francis Group, LLC: 2005;
4. Santos, J.P.; Hontañón, E.; Ramiro, E.; Alonso, M. Performance evaluation of a high resolution parallel plate differential mobility analyzer. *Atmospheric Chemistry and Physics* **2009**, *9*, 1.
5. <http://www.ramem.com/>
6. <http://www.ioner.eu/>
7. Tabrizchi, M.; Khayamian, T.; Taj, N. Design and optimization of a corona discharge ionization source for ion mobility spectrometry. *Rev. Sci. Instrum.* **2000**, *71*, 2321-2328.
8. Ewing, R.G.; Atkinson, D.A.; Eiceman, G.A.; Ewing, G.J. A critical review of ion mobility spectrometry for the detection of explosives and explosive related compounds. *Talanta* **2001**, *54*, 515-529.
9. Schmidt, H.; Baumbach, J.I.; Klockow, D. Detection of perfluorocarbons using ion mobility spectrometry. *Anal. Chim. Acta* **2003**, *484*, 63-74.
10. Cotte-Rodriguez, I.; Hernandez-Soto, H.; Chen, H.; Cooks, R.G. In situ trace detection of peroxide explosives by desorption electrospray ionization and desorption atmospheric pressure chemical ionization. *Anal. Chem.* **2008**, *80*, 1512-1519.
11. Asbury, G.R.; Klasmeier, J.; Hill, H.H. Analysis of explosives using electrospray ionization/ion mobility spectrometry (ESI/IMS). *Talanta* **2000**, *50*, 1291-1298.
12. Kanu, A.B.; Dwivedi, P.; Tam, M.; Matz, L.; Hill, H.H. Ion mobility-mass spectrometry. *Journal of Mass Spectrometry* **2008**, *43*, 1-22.
13. Trim, P.J.; Henson, C.M.; Avery, J.L.; McEwen, A.; Snel, M.F.; Claude, E.; Marshall, P.S.; West, A.; Princivalle, A.P.; Clench, M.R. Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization-Ion Mobility Separation-Mass Spectrometry Imaging of Vinblastine in Whole Body Tissue Sections. *Anal. Chem.* **2008**, *80*, 8628-8634.

Los materiales de carbono ante los nuevos retos tecnológicos

AUTORA: ROSA MENÉNDEZ
*Departamento de Química de Materiales.
 Instituto Nacional del Carbón. CSIC. Oviedo*

PROPIEDADES Y EVOLUCION HISTÓRICA DE LOS MATERIALES DE CARBONO

El carbono, uno de los elementos más abundantes de la naturaleza, tiene la capacidad de combinarse químicamente consigo mismo y con otros elementos mediante fuertes enlaces covalentes dando lugar a una gran variedad de estructuras que permiten el desarrollo de materiales de diversas propiedades [1,2]. Los materiales de carbono pueden ser extremadamente duros como el diamante o fácilmente deslaminables como el grafito; muy densos y con una alta resistencia mecánica (materiales compuestos carbono/carbono), y por consiguiente, adecuados para aplicaciones estructurales (aviones y automóviles de competición), o muy porosos (carbones activados), siendo útiles estos últimos como adsorbentes para almacenamiento de energía o como soporte de catalizadores. Pueden ser altamente conductores (grafito) o aislantes (carbono vítreo). Este amplio espectro de propiedades se ve reforzado por el hecho de que solamente los materiales de carbono son capaces de operar a altas temperaturas en las condiciones más extremas, y por la circunstancia de que no sólo mantienen sus propiedades con la temperatura sino que incluso las mejoran.

Los materiales de carbono han recabado mucha atención con el descubrimiento de los fullerenos y los nanotubos. Sin embargo, los materiales de carbono tradicionales han jugado un importante papel desde los tiempos prehistóricos (pigmento en pinturas rupestres, componente de la pólvora, escritura) y han contribuido al desarrollo industrial y tecnológico de nuestra sociedad (siderurgia).

El descubrimiento de las fibras de carbono, en los años 60, con su elevada resistencia y flexibilidad, supuso un hito importante en el desarrollo de estos materiales. En paralelo, se descubre el carbono vítreo, así denominado por presentar una superficie de fractura concoidal, con unas propiedades similares al vidrio, muy duro y frágil, y con una impermeabilidad a gases no observada hasta entonces en materiales de carbono; sus propiedades son totalmente opuestas a las del grafito. Por las mismas fechas, el hallazgo de nuevas formas estructurales de carbono grafitico, tipo aguja y esférico, contribuyó ostensiblemente al desarrollo de nuevos productos de carbono para muy diversas aplicaciones.

La excelente biocompatibilidad de los materiales de car-

bono, descubierta en los 70, permitió su utilización en prótesis, ligamentos y válvulas cardíacas, entre otros.

Al inicio de los 80, el desarrollo de la tecnología para la producción de bloques de grafito isótropo de alta densidad permitió su utilización en reactores de alta temperatura, en equipos de síntesis de cristales semiconductores y también para componentes de electrodos de descarga eléctrica. A mediados de los 80, coincide la introducción de las fibras de carbono en ingeniería civil-sistemas arquitectónicos (edificios, puentes) con el descubrimiento de los fullerenos.

En los 90, se descubren los nanotubos, abriendo una nueva era a los materiales de carbono: la era de los nanoestructurados. Ya no se reduce el mundo del carbono a las estructuras planas tipo grafito o tridimensionales tipo diamante, sino que nos encontramos ahora con estructuras cerradas que contienen pentágonos de átomos de C y carbonos tubulares con diámetros en la escala de los nanómetros, constituidos por una lámina sencilla curvada de átomos de carbono en distribución hexagonal. El descubrimiento de los nanotubos de carbono de una sola pared (sencillos) y de pared múltiple estimuló el interés de científicos e ingenieros en campos relacionados con la nanotecnología. Prácticamente en la misma época, surgen nuevas aplicaciones de los materiales de la familia del grafito, tales como materiales anódicos para baterías de ión-Li recargables, fibras de carbono para purificación de agua, electrodos de carbono activado para supercondensadores de doble capa eléctrica, etc.

Ya más recientemente, en el 2004, se consiguió aislar por primera vez el grafeno, con una estructura laminar plana, de un átomo de grosor. Sus excepcionales propiedades eléctricas han revolucionado el ámbito científico, encontrando aplicación en electrónica (en ordenadores ultra-rápidos, sustituyendo al silicio), en la futura construcción de ascensores espaciales, en sistemas de protección personal (chalecos antibalas), en el ámbito de la seguridad, etc. En julio de 2008, investigadores de la universidad de Columbia confirmaron que se trata del material más resistente identificado hasta el momento.

PROCESO DE FORMACION DE LOS MATERIALES DE CARBONO

El hecho de que los materiales de carbono se puedan obtener a partir de muy diversos precursores y en diferentes medios y condiciones es lo que determina la gran

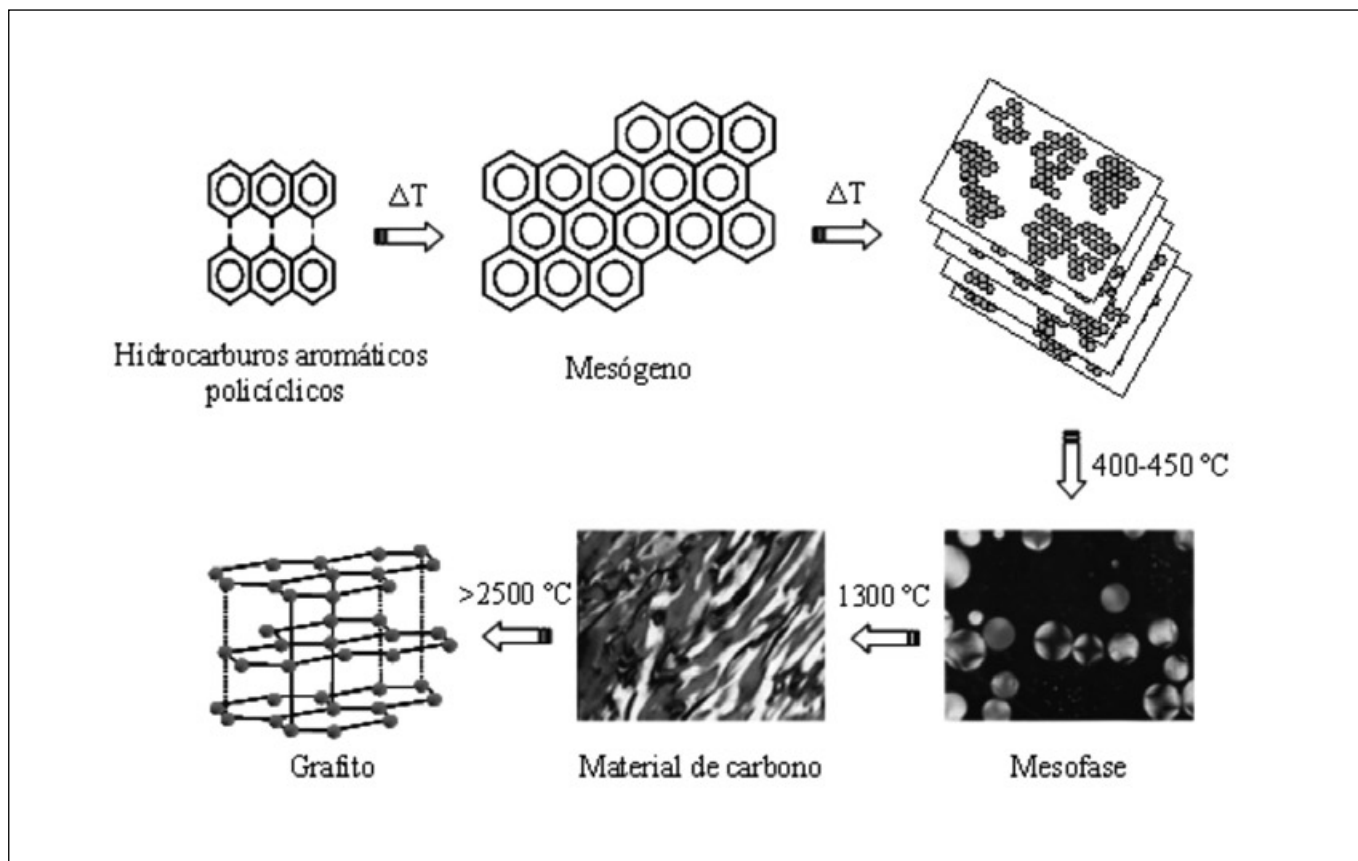


Figura 1. Esquema del proceso de carbonización.

variedad de materiales de carbono existente. Cuando se utiliza un medio líquido o sólido, su estructura depende fundamentalmente de la temperatura utilizada en su preparación y de la composición química del precursor. Para obtener materiales en los que el principal componente es el átomo de carbono, los polímeros orgánicos o los hidrocarburos aromáticos policíclicos (puros, mezclas, breas) deben ser tratados térmicamente en atmósfera inerte, proceso que se conoce con el nombre de *carbonización*. Esta transformación involucra un conjunto de reacciones que van desde la destilación y craqueo térmico de compuestos de bajo peso molecular hasta la polimerización de los componentes más reactivos, que conducen a la formación de un producto sólido carbonoso. En torno a $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, se eliminan principalmente átomos de oxígeno y nitrógeno en la forma de CO_2 , CO y $(\text{CN})_2$, junto con CH_4 . Por encima de $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, se elimina fundamentalmente H_2 como consecuencia de la policondensación de los hidrocarburos aromáticos. A partir de $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ se obtiene el material de carbono propiamente dicho. Las reacciones que tienen lugar en la transformación de los precursores orgánicos a materiales de carbono inorgánicos (ciclación, aromatización, policondensación) vienen determinadas por el tipo de precursor y las condiciones del tratamiento térmico. Normalmente unos procesos se solapan con otros.

En este proceso de carbonización se forman unidades estructurales básicas, constituidas por asociaciones de mo-

léculas aromáticas planas denominadas mesógenos, que conducen al desarrollo de una fase intermedia tipo cristal líquido que se conoce con el nombre de mesofase (figura 1). La formación de esta fase metaestable durante el proceso de pirólisis está controlada por la topología y tamaño de las moléculas involucradas en el proceso, así como por las condiciones experimentales, y va a ser determinante en la estructura del material de carbono final. Durante el desarrollo de la mesofase, el peso molecular promedio del conjunto continúa incrementándose, y por tanto la viscosidad del sistema, hasta que se alcanza un punto en el que se produce la solidificación. Se pueden obtener materiales que van desde desordenados estructuralmente (isótropos) a altamente ordenados con estructuras tipo grafito, pasando por situaciones intermedias con materiales parcialmente grafitizables con el incremento de la temperatura. La composición química del precursor es un factor clave porque determina la reactividad del sistema durante el proceso de carbonización. De este modo, la presencia de heteroátomos aumenta la reactividad, acelerando el desarrollo de la mesofase, y generando materiales de carbono de bajo orden cristalino con estructuras de pequeño tamaño o incluso totalmente desordenados. Hidrocarburos aromáticos policíclicos, alquil sustituidos y con estructuras nafténicas, favorecen la formación de estructuras ordenadas y cristales de gran tamaño, cuya forma dependerá de las condiciones de procesado. Las propiedades del material final van a venir determinadas por el tamaño y forma

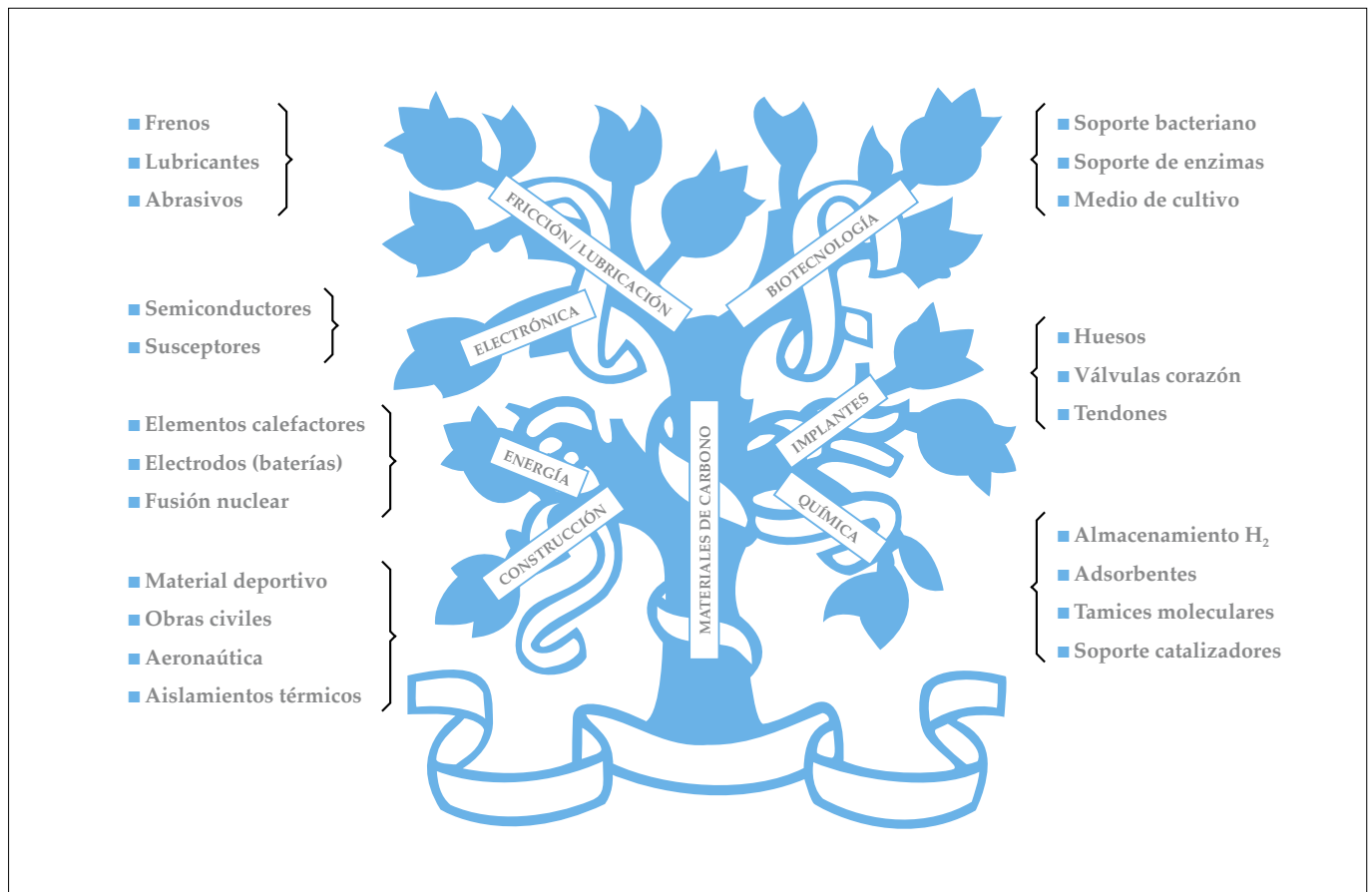


Figura 2. Aplicaciones de los materiales de carbono.

de las estructuras cristalinas generadas. El crecimiento de las láminas de carbono y su ordenamiento se consigue a temperaturas por encima de los 2500 °C, proceso conocido como *grafitización*. Esta capacidad permite que los materiales de carbono no sólo mantengan sus propiedades mecánicas y de conducción con la temperatura, sino que incluso las mejoren.

CAPACIDAD DE DISEÑO DE LOS MATERIALES

Centrándose en la formación de materiales de carbono en medio líquido mediante carbonización de un precursor de carbono, se va a presentar una serie de ejemplos prácticos de la capacidad de manipulación y diseño de materiales a la carta. Se verá como incluso a partir de un mismo precursor orgánico se pueden obtener materiales de muy diversas características por la mera modificación de las condiciones de procesado, o como se pueden mejorar las propiedades de un determinado material.

Los precursores que se utilizan incluyen polímeros termoestables, polímeros termoplásticos, breas y otros derivados del carbón y del petróleo, e hidrocarburos aromáticos policíclicos puros a biomasa. Las variables de procesado sobre las que se puede actuar incluyen temperatura, tiempo

de reacción, velocidad de calentamiento, presión, tipo de atmósfera y agitación, entre otras.

La reducción de la velocidad de calentamiento durante el proceso de carbonización de una breas comercial permitió pasar de un material heterogéneo (mezcla de estructuras de distintos tamaños) a otro perfectamente homogéneo, integrado por estructuras de pequeño tamaño que le confieren excelentes propiedades para su utilización en la producción de electrodos para la industria del aluminio [3]. De igual modo, el aumento de presión durante el proceso de carbonización permitió un aumento del tamaño y orientación de las estructuras cristalinas, dando como resultado materiales con una mayor conductividad eléctrica y térmica. No obstante, el efecto más espectacular se observó en el caso de materiales compuestos carbono-carbono, en los que con una breas de impregnación comercial actuando como precursor de la matriz, se obtuvieron materiales con excelentes valores de densidad sin aplicar ciclo de densificación alguno. El factor clave fue el control de la temperatura a la que se aplicó la presión mecánica durante la operación de prensado/moldeo, que coincidió con el punto de fluidez óptimo de la mesofase, y con el tiempo de aplicación [4]. Otro ejemplo práctico de optimización de propiedades de un material lo constituye la aplicación de la estabilización oxidativa a microlaminados de preimpregnados de materiales compuestos, previa al proceso de carbonización. La

estabilización oxidativa (tratamiento térmico controlado con aire) del precursor de la matriz evitó la formación de volátiles, y en consecuencia el desarrollo de porosidad en el material. El resultado fue la obtención de un material compuesto unidireccional de elevada densidad [5]. Estos ejemplos ilustran la posibilidad de obtener materiales a partir de precursores comerciales, de bajo coste, sin gravámenes adicionales derivados de la utilización de presión o de sucesivos ciclos de densificación, práctica habitual en aplicaciones como aeronáutica.

APLICACIONES EN EL CAMPO DE LA ENERGÍA

Los materiales de carbono han ampliado su campo de aplicación de forma increíble en los últimos años. Han pasado de un uso tradicional en ánodos para la industria del aluminio, electrodos para la producción de acero, adsorbentes en sistemas de purificación de gases y líquidos (carbónes activados) o como componentes de sistemas de frenado de automóviles de competición y militares y aeronáutica, a campos relacionados con el mundo de la energía, el medio ambiente y las comunicaciones. La figura 2 resume el amplio intervalo de aplicaciones en las que se pueden utilizar los materiales de carbono.

Si bien las aplicaciones que se van a ilustrar en este caso se refieren ambas al campo de la energía, los materiales utilizados requieren unas prestaciones completamente diferentes. La primera se relaciona con el diseño de materiales con capacidad para resistir condiciones extremas de operación en reactores de fusión y la segunda con materiales de elevada capacidad de almacenamiento de energía dirigidos al coche eléctrico.

El proyecto ITER (Internacional Termonuclear Experimental Reactor) integra un consorcio internacional (Unión Europea, Japón, Estados Unidos, China, Rusia, Corea del Sur, India) y tiene como objetivo la construcción en Cadarache (Francia) del primer prototipo de reactor de fusión para demostrar la viabilidad científica y tecnológica de la energía nuclear de fusión con fines pacíficos. Está prevista la finalización de su construcción en torno al 2020. La construcción de un segundo dispositivo de demostración de reactor de fusión nuclear (DEMO) para producir y suministrar energía eléctrica está prevista para el 2025, y se espera que entre en operación en torno al 2040. Los materiales de la primera pared de los reactores de fusión (figura 3) son los más directamente expuestos al plasma, y por tanto, a los efectos de las partículas y cargas térmicas que escapan del mismo. Entre los requerimientos de estos materiales están el poseer un alto punto de fusión y una elevada conductividad térmica, de manera que manteniendo su integridad y propiedades, permitan evacuar rápidamente la energía depositada. Además, deben presentar

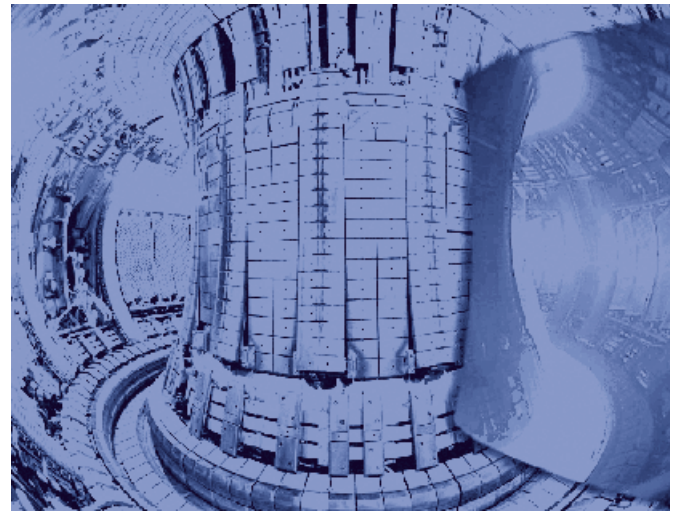


Figura 3. Reactor de energía nuclear de fusión con recubrimiento de carbono.

una elevada resistencia al choque térmico para que no se deterioren ante fenómenos provocados por inestabilidades del plasma. También requieren una elevada resistencia a la erosión química. Los materiales de carbono, concretamente los materiales compuestos carbono-carbono, cumplen con la mayoría de los requerimientos (conductividad térmica, propiedades mecánicas, resistencia a fatiga y choque térmico), sin embargo, las propiedades relacionadas con la resistencia a la erosión química y la retención de tritio deben ser mejoradas. Este ha sido uno de los objetivos del Proyecto Integrado Europeo Extremat, en el que mediante el dopado de la matriz con carburo de titanio se ha conseguido disminuir considerablemente la erosión química y al mismo tiempo mejorar la conductividad térmica en materiales compuestos carbono-carbono 3D [6].

Por otro lado, un problema importante que se plantea en el sector energético para la implantación de las renovables (fotovoltaica y eólica), es la ausencia de sistemas de almacenamiento de energía eficientes que compensen su discontinuidad y la capacidad de respuesta a los picos de demanda. Otro problema asociado a la necesidad de almacenamiento de energía se relaciona con los sistemas móviles, como puede ser la electrónica de consumo o el desarrollo e implantación del vehículo eléctrico. Tres son los dispositivos que ofrecen distintas y complementarias opciones de almacenamiento de energía: las baterías (de ión-Li y flujo red-ox), los supercondensadores y los dispositivos de almacenamiento de hidrógeno para empleo como vector energético en las pilas de combustible. En todos ellos tienen cabida los materiales de carbono.

En el caso de las baterías se han desarrollado nuevos materiales anódicos a partir de residuos del petróleo, de bajo orden estructural, con una capacidad reversible de inserción de Li que supera a la del grafito [7]. En cambio en el caso de los supercondensadores, la estructura y propiedades de los

materiales de electrodo son muy diferentes a las de los anteriores. En este caso se requieren materiales con una elevada porosidad y elevada área superficial que les permita generar dispositivos capaces de almacenar grandes densidades de energía [8]. Este es un campo muy prometedor para los materiales de carbono, al poder obtenerse materiales de porosidad controlada y con una química superficial adecuada al tipo de electrolito. Los supercondensadores representan una excelente opción en combinación con las pilas de combustible y las baterías.

En cuanto al empleo de hidrógeno como vector energético para su aplicación en dispositivos móviles (vehículos), su almacenamiento sigue siendo a día de hoy una de las principales limitaciones. La utilización de materiales de carbono de elevada porosidad, y tamaño de poro controlado, se presenta como una de las alternativas más prometedoras.

Nanotubos de carbono, nanofibras y otros materiales de carbono activados compiten en estas aplicaciones. A pesar, de tener el elemento común carbono, sus propiedades y capacidades son muy diferentes, y el factor precio controla inexorablemente los potenciales desarrollos. Cuando se piensa en el coche eléctrico en términos de autonomía se buscan materiales ligeros y capaces de soportar altas presiones, el volumen y la seguridad son clave. Los retos para aumentar la capacidad de adsorción de hidrógeno a bajas temperaturas o elevadas presiones pasan por conseguir aumentar la entalpía de adsorción manteniendo el coste del material. Cuando se piensa en la producción de hidrógeno se plantea una mejora en la dispersión del catalizador, ya que en la actualidad el 90 % es inactivo. Los materiales de carbono por su capacidad de desarrollar porosidad controlada, en combinación con soportes inorgánicos nanoestructurados y metales encapsulados están abriendo nuevas e importantes expectativas de futuro.

APLICACIONES MEDIOAMBIENTALES

No solamente los gases de efecto invernadero están dañando nuestro ecosistema, sino también otras emisiones locales relacionadas con óxidos de nitrógeno y de azufre procedentes del transporte y de la industria. Los compromisos internacionales adquiridos para paliar sus efectos quedan recogidos en los protocolos de Kyoto (CO₂ y otros gases de efecto invernadero), Montreal (emisiones de compuestos de carbono fluorados, capa de ozono) y Sofía (emisiones de óxidos de nitrógeno), así como el convenio LRTAP (emisiones de óxidos de azufre, transporte a larga distancia de contaminantes atmosféricos).

Los materiales de carbono están siendo ampliamente estudiados y desarrollados para la reducción de emisiones de compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno en el

sector transporte, fundamentalmente en forma de monolitos (estructuras autosoportadas).

Una de las áreas de mayor interés en el campo del tratamiento de aguas residuales y purificación de aguas es el desarrollo de sistemas avanzados de eliminación de contaminantes del agua que mitiguen el impacto medioambiental de los contaminantes eventualmente tóxicos presentes en las mismas. En sistemas de purificación de aguas los materiales de carbono se emplean en procesos de eliminación de contaminantes aromáticos como hidrocarburos policíclicos aromáticos –altamente tóxicos y cancerígenos–, metales pesados (por ejemplo, arsénico, cromo y derivados), eliminación de pesticidas, etc.

Por sus características inherentes, los materiales de carbono son idóneos para su empleo como adsorbente, catalizadores, electrodos o soportes de electrodos. En este campo, es especialmente interesante la utilización de materiales auto-soportados (tales como telas de carbono activado, fieltros, o monolitos) como electrodos en procesos electro-asistidos, catálisis y fotocátalisis para promover el tratamiento de aguas residuales a través de la degradación de contaminantes persistentes [8]. Otro campo en el que encuentran una aplicación prometedora es en desalinización de agua, basada en la utilización del material de carbono como electrodo de una celda electroquímica en la que se elimina la sal de la corriente acuosa por efecto de la aplicación de un campo eléctrico.

Para poder materializar y hacer realidad su utilización en el amplio abanico de aplicaciones propuestas y en otras muchas, los materiales de carbono deben superar barreras relacionadas con el desplazamiento de otros materiales tradicionales, en algunos casos, y en otros con la inversión de los fabricantes en nuevos productos, que garantice el suministro de precursores y la producción de los nuevos materiales. ■

REFERENCIAS

- [1] Science of Carbon Materials, Marsh, H. and Rodríguez-Reinoso, F. Publicaciones de la Universidad de Alicante, 2000.
- [2] Carbon Materials Science and Engineering, Inagaki, M. and Feiyu, K. Tsinghua University Press, 2006.
- [3] Granda, M., Santamaría, R., Menéndez, R., Chemistry and Physics of Carbon, 2003, 28, 263-330.
- [4] Casal, E., Bermejo, J., Menéndez, R., Journal of Microscopy, 2001, 201(2), 324-332.
- [5] Casal, E., Bermejo, J., Granda, M., Menéndez, R. Journal of Microscopy, 1999, 196(2), 237-242.
- [6] Concheso, A. et al, Carbon, 2005, 43, 923-936.
- [7] Ruiz, V., Granda, M., Santamaría, R., Blanco, C., Electrochimica Acta, 2009, 54(19), 4481-4486.
- [8] Ania, C. O. et al, Water Research, 2007, 41, 333-340

Caracterización química de nanosuperficies. Introducción a la espectroscopía fotoelectrónica de rayos X (XPS)

AUTOR: S. FELIÚ (JR)
Centro Nacional de Investigaciones
Metalúrgicas (CENIM), CSIC

Resumen: En este artículo se realiza una introducción a la espectroscopia fotoelectrónica de Rayos X (XPS) que es la técnica de análisis más utilizada en la caracterización química de la superficie y sub-superficie de materiales tecnológicos. Después de pasar revista a los fundamentos teóricos, se intentará resaltar la información singular suministrada por esta técnica al analizar la composición química de la superficie de algunos materiales metálicos de interés tecnológico.

1. INTRODUCCIÓN

La ciencia y tecnología de superficies es hoy día un área de gran importancia que contribuye al bienestar general a través de su aplicación en campos tan diversos como la co-

rosión, catálisis, tratamientos de superficies de materiales, fenómenos de flotación y adherencia, y los de segregación en metalurgia física, etc. Siendo el XPS una técnica insustituible para abordar multitud de problemas que surgen en dichos campos [1]. La utilización de estas técnicas en la ciencia y en la tecnología está creciendo vertiginosamente, de forma que, en el año 1990, la inversión industrial en todo el mundo en procesos relacionados con el análisis de superficies se calculaba en mil millones de dólares USA por año. Estas técnicas se están popularizando y extendiendo a los cinco continentes [2].

En primer lugar, conviene preguntarse qué es una superficie. Para la interfase bidimensional sólido/vacío, la superficie del sólido se puede definir como la capa atómica más externa. En la práctica, esta capa no es estable con el tiempo y sufre diversas reacciones físico químicas con la atmósfera que la rodea. Así, una "superficie real" consistiría en una capa de reacción contaminada (a menudo por óxidos) de

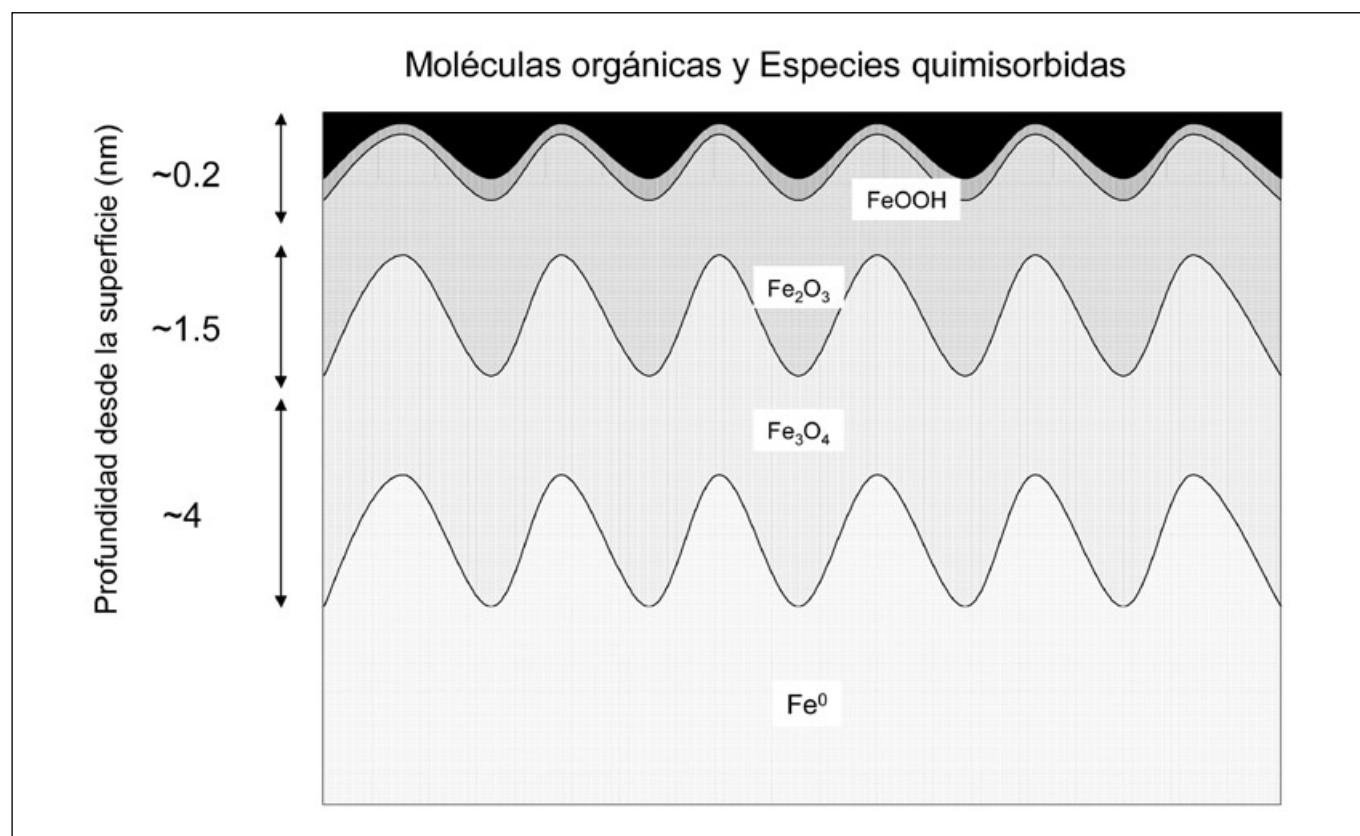


Figura 1. "Superficie práctica" que se observa mediante el análisis XPS de la superficie de un acero en contacto con la atmósfera.

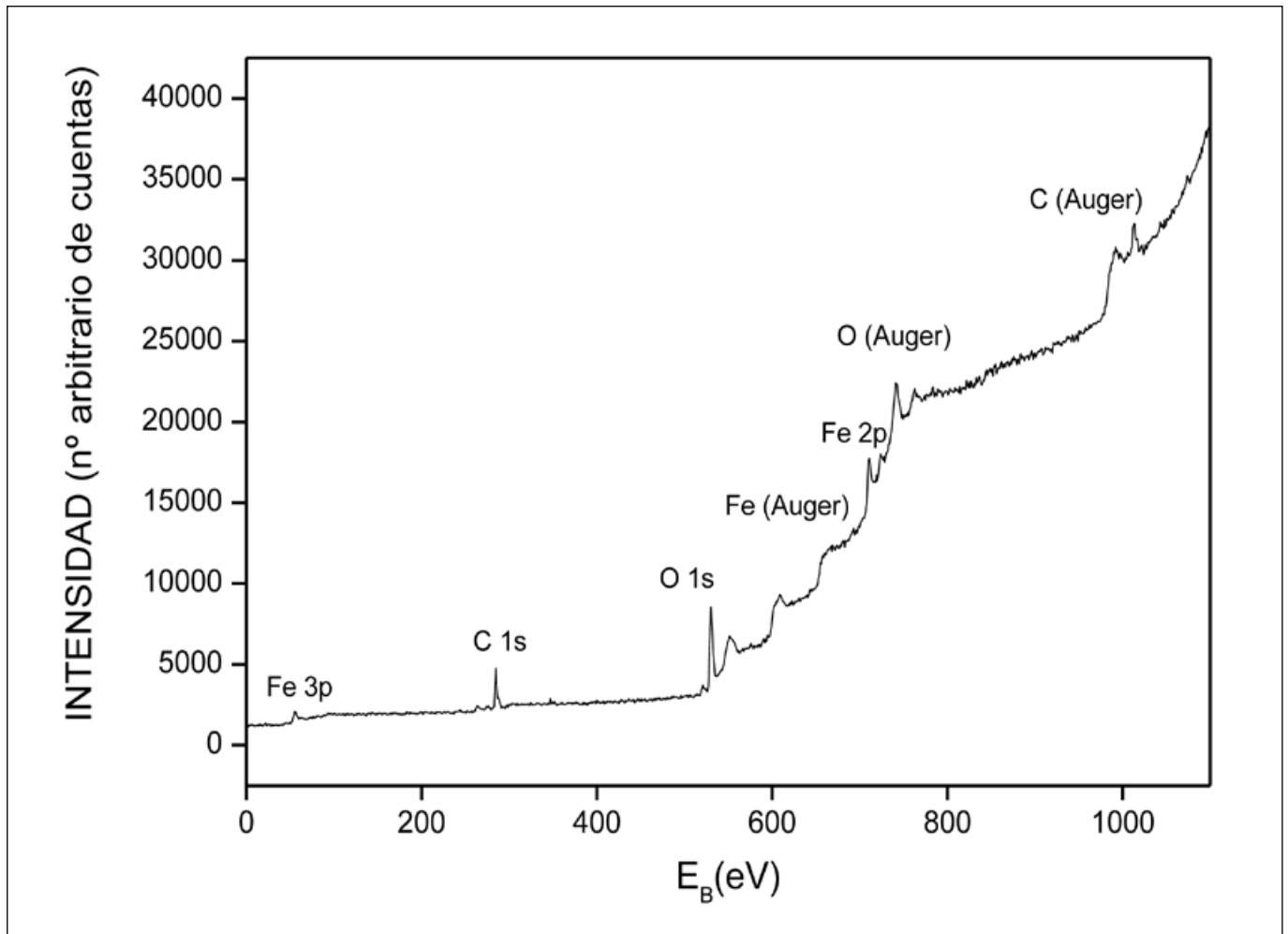


Figura 3. Espectro general XPS de la superficie original (sin bombardear) de un acero "interstitial free" laminado en frío.

unos 5-10 nanómetros (nm) de espesor, con una rugosidad más o menos pronunciada. Esta capa, relativamente estable a temperatura ambiente, constituye la "superficie práctica" [3]. En la figura 1 se modeliza la "superficie práctica" que se observa mediante el análisis XPS de la superficie de un acero en contacto con la atmósfera. La formación de óxidos e hidróxidos de hierro en la superficie más externa del material (aproximadamente 6 nm de espesor) está relacionada con la presencia de grupos OH⁻ y agua por el contacto con la atmósfera de laboratorio. Aunque la mayor parte de las técnicas de análisis de superficies proporcionan información referente a un espesor mayor que una monocapa, la contribución de esta primera capa es siempre superior a la de las siguientes capas más profundas.

El campo de aplicación de las técnicas de análisis de superficies se limita a las capas más externas del sólido, lo que desde un punto de vista cuantitativo equivale a espesores entre 1 y 10 monocapas (es decir, los 10 primeros nm o 100 Å). El análisis proporciona información sobre la composición elemental, el estado químico de cada elemento, la posición de los átomos con respecto a la estructura cristalina del material, la homogeneidad superficial y el estado de adsorbatos. En combinación con el bombardeo por iones Argón (A.I.B.)

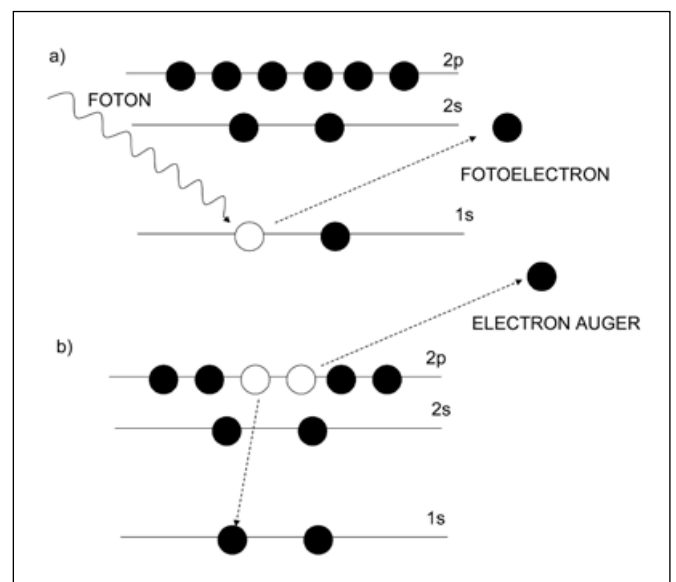


Figura 2. Diagrama del proceso fotoelectrónico.

se puede incrementar el espesor hasta un máximo de 1 μm con la posibilidad de obtener perfiles de composición. Para espesores mayores a 1 μm se pueden utilizar métodos mecánicos como el desbastado, pulido, etc.

2. ESPECTROSCOPIA FOTOELECTRONICA DE RAYOS X (XPS)

Este procedimiento analítico también se conoce popularmente como ESCA, o espectroscopia electrónica para análisis químico. La incidencia de un fotón de energía $h\nu$ sobre los átomos situados más superficialmente en la muestra provoca, por efecto fotoeléctrico, la emisión de fotoelectrones (Fig. 2a) con una energía de ligadura:

$$E_B = h\nu - E_K - W$$

donde $h\nu$ es la energía de los fotones, E_K , la energía cinética del fotoelectrón producido, W , la función de trabajo del espectrómetro y E_B , la energía de ligadura (parámetro que identifica al electrón de forma específica, en términos del elemento y nivel atómico). Una vez se ha emitido el fotoelectrón, el átomo se relaja, emitiendo un fotón o un electrón (electrón Auger) (Fig. 2b) [3].

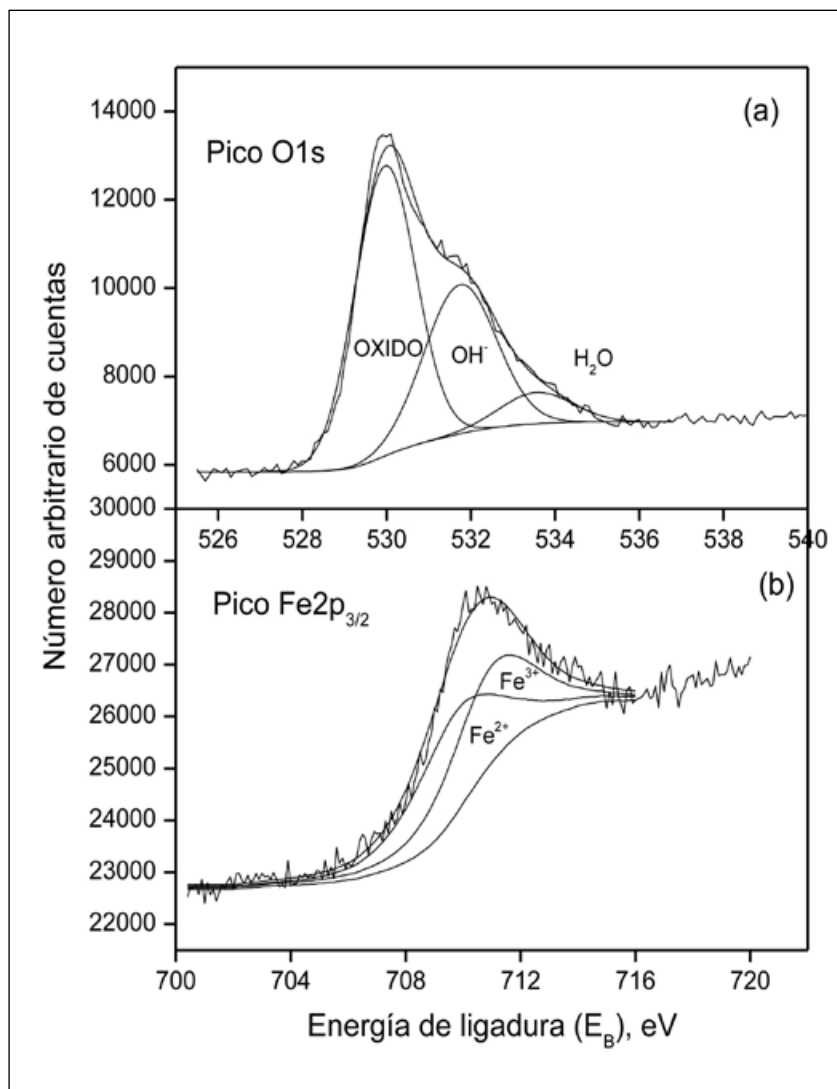


Figura 4. Espectro XPS de alta resolución O1s y Fe2p_{3/2} obtenido en la superficie de un acero laminado en frío.

La técnica XPS permite el análisis cuantitativo y cualitativo de todos los elementos, excepto el hidrógeno. En la figura 3 se muestra el espectro general XPS obtenido en la superficie externa de un acero laminado en frío y en estado de recepción (sin bombardear). Además del Fe, se detecta la presencia de C y O. Como se ha comentado anteriormente, a temperatura ambiente, la superficie de cualquier metal, independientemente de su composición, en contacto con la atmósfera se recubre instantáneamente de una delgada película de grupos C-C/C-H, OH y H₂O (espesor inferior a 3nm). A partir de la intensidad (altura) de cada pico se puede conocer el porcentaje atómico de C, O y Fe presentes en la superficie del material. Asimismo, a partir de la relación atómica O/Fe se puede distinguir la existencia del Fe como Fe₃O₄, Fe₂O₃ o FeOOH en la superficie del material [4].

La energía de ligadura de los picos asociados a la emisión de fotoelectrones está muy bien definida permitiendo identificar el estado de oxidación de cationes y aniones. Así, átomos no equivalentes del mismo elemento (diferencia en el estado de oxidación, en las moléculas que lo rodean o en la posición en la red) provocan un cambio apreciable (típicamente entre 1-3 eV) en la energía de ligadura llamado "chemical shift" tal como se muestra en la figura 4. En la figura 4a se muestra el espectro de alta resolución O1s obtenido en la superficie de un acero laminado en frío. El espectro muestra la componente más intensa a una energía de ligadura de 530.0 eV asociada a la presencia de oxígeno en forma de óxido de hierro y otras dos menos intensas que aparecen a energías de ligadura de 531.8 y 533.5 eV que podrían atribuirse a la presencia de oxígeno en forma de grupos OH⁻ y de H₂O, respectivamente. En la figura 4b, se muestra el espectro XPS de alta resolución Fe2p_{3/2} obtenido en la superficie de un acero IF después del laminado en frío. El espectro Fe2p_{3/2} muestra dos componentes muy intensas a energías de ligadura de 709.7 y 711.0 eV que se podrían asociar a la presencia del hierro en forma de Fe²⁺ y Fe³⁺, respectivamente. A partir del área de cada componente utilizada en el ajuste de los picos O1s y Fe2p y los porcentajes atómicos de O y Fe se pueden obtener los porcentajes atómicos de O en forma de óxido, OH⁻ y H₂O y los porcentajes de Fe en forma de Fe²⁺ y Fe³⁺. [4]

En la figura 5 se comparan los espectros de alta resolución Mn 2p_{3/2} obtenidos en la superficie de un acero laminado y después de un ciclo de recocido de 1 minuto (similar al utilizado a nivel industrial). Destaca la presencia de una cantidad significativa

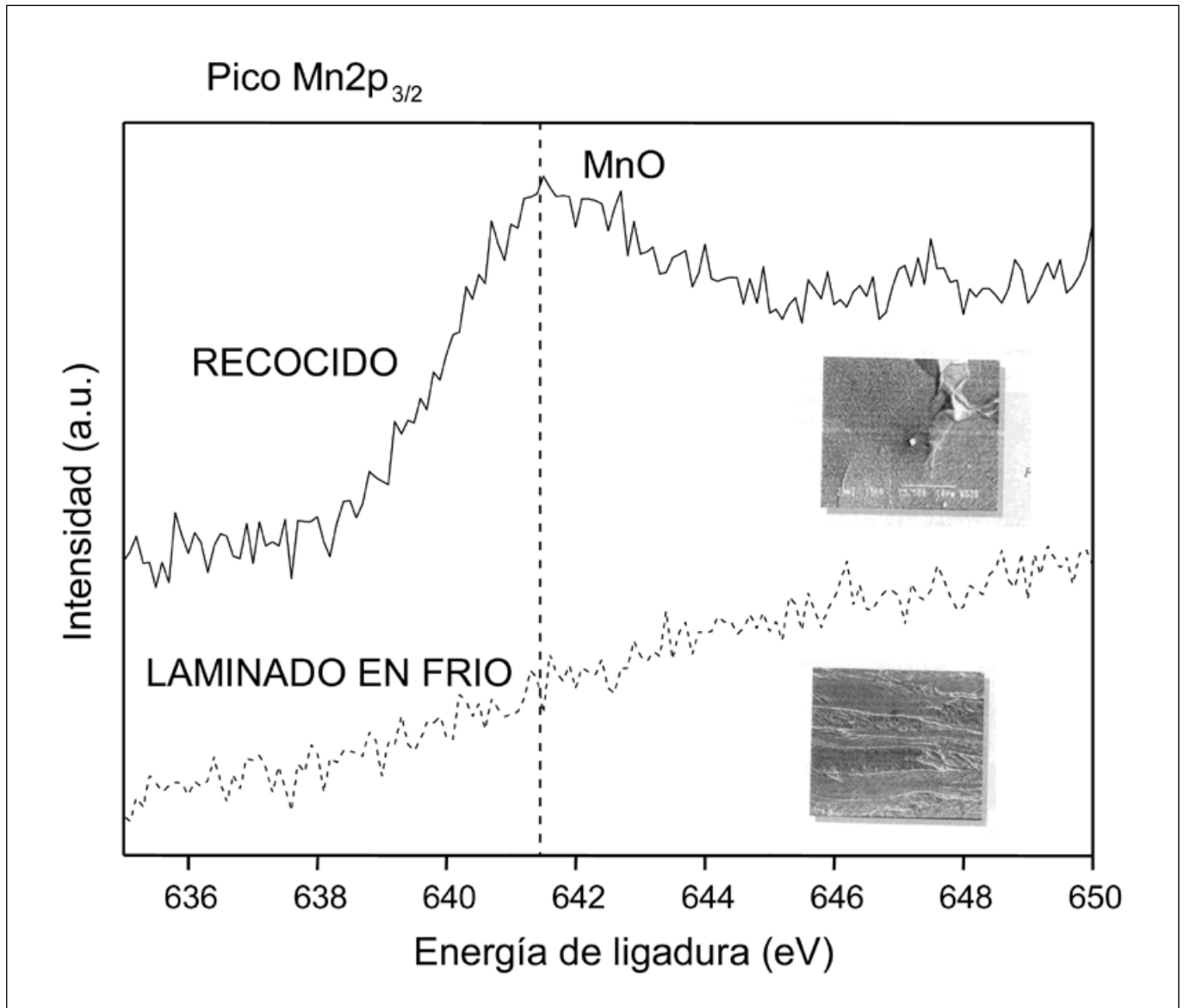


Figura 5. Comparación de los espectros $Mn2p_{3/2}$ y micrografías obtenidas en la superficie de un acero laminado en frío y después del proceso de recocido.

de Mn como resultado del corto proceso de recocido. El espectro de alta resolución $Mn2p_{3/2}$ contiene una única componente con una energía de ligadura típica del manganeso en forma de MnO. Asimismo, en la figura 5 se muestra la apariencia visual del acero laminado en frío y después del proceso de recocido. En contraste con lo observado mediante XPS, no se detecta la presencia de un contenido significativo de precipitados sobre la superficie como resultado del proceso de recocido. En este caso, el fenómeno de segregación de Mn hacia la superficie del acero recocido tiene lugar en capas muy finas (probablemente con espesores inferiores a 10 nm), tan finas que resultan inapreciables para las técnicas convencionales de caracterización de materiales (SEM/EDX). Como la técnica XPS reduce el espesor analizado a únicamente a 3 nm es una herramienta eficaz y convincente para el estudio de los fenómenos de segregación que tienen lugar sobre la superficie [4]. En un estudio posterior, se observó que la presencia de estos óxidos de manganeso en la superficie del ace-

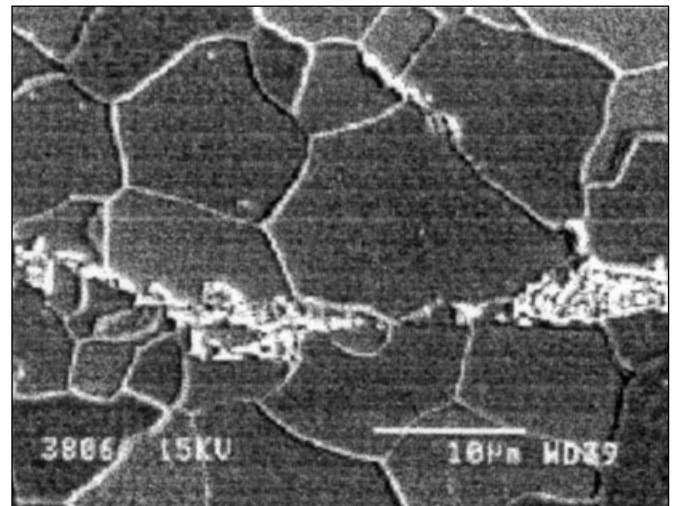


Figura 6. Micrografía SEM obtenida en la superficie de un acero ELC después del proceso de recocido.

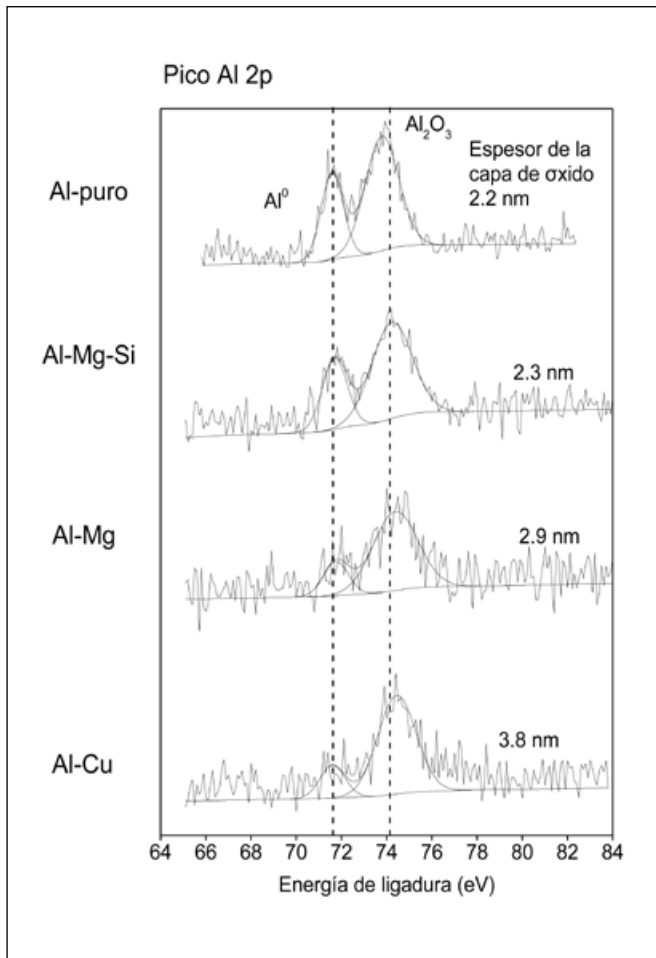


Figura 7. Comparación de los espectros de alta resolución Al2p correspondientes a distintas aleaciones de aluminio y espesores de la capa de óxido de aluminio pasivante.

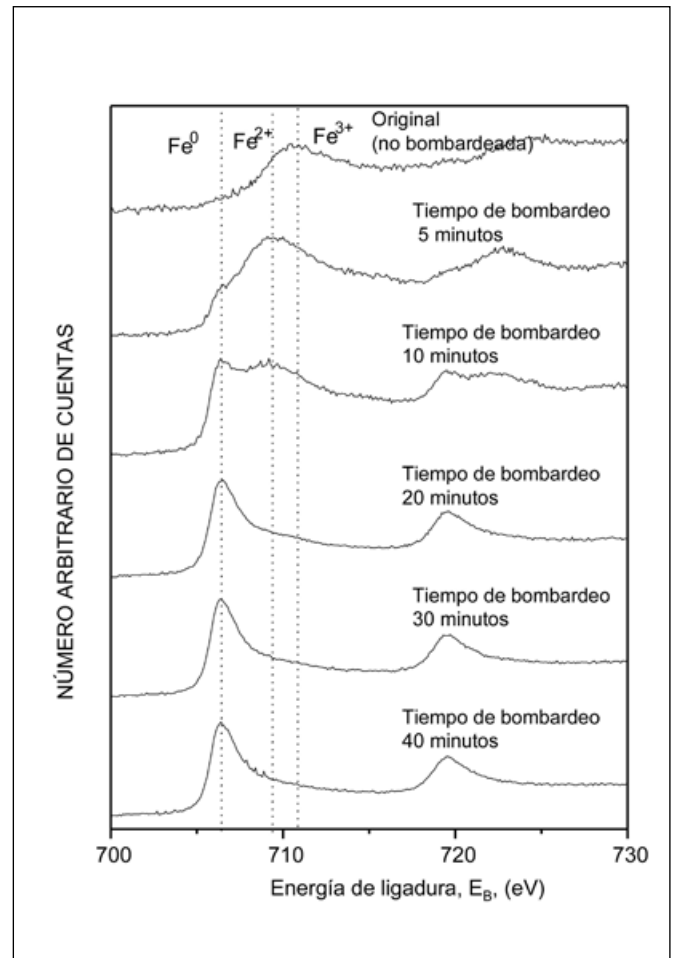


Figura 8. Evolución de los espectros XPS de alta resolución Fe2p obtenidos en la superficie de un acero laminado en frío con el tiempo de bombardeo por iones argón.

ro recocido tiende a inhibir significativamente el crecimiento de recubrimientos metálicos del tipo "galvanneal" [5].

Por la naturaleza del haz (fotones), la técnica XPS se puede aplicar tanto a materiales conductores (como metales) como no conductores (como óxidos, polímeros y cerámicos).

Desgraciadamente, el haz incidente de rayos X no puede focalizarse (como los haces electrónicos) por lo que su resolución lateral es mala, siendo el análisis una media de un área de 1mm². Los últimos espectrómetros XPS en modo "imaging" consiguen una resolución lateral (<3 μm). En la observación mediante SEM de la superficie de un acero ELC (Extra-Low Carbon) recocidos y después de un ligero ataque químico aparecen cantidades significativas de perlita precipitadas en los borde de grano (Figura 6). Este aumento en los contenidos de C no se traduce en un cambio significativo ni en los contenidos de C ni en la forma del espectro C1s observados mediante XPS en la superficie de los aceros ELC. En este caso, la falta de resolución inherente a la técnica (composición media de un área de 1mm²) hace que no se pueda cuantificar este aumento de C altamente localizado en el límite de grano en los aceros ELC recocidos [4].

2.1. Profundidad de análisis

La profundidad de análisis es función de la energía cinética de los electrones. El camino inelástico medio de un electrón (λ) varía con su energía $E^{0.5}$ y su volumen atómico. La intensidad de los electrones emitidos desde una profundidad d viene gobernada por la relación de Lambert-Beer:

$$I = I_0 \exp(-d/\lambda \sin \theta)$$

donde I_0 es la intensidad de un sustrato puro de espesor infinito y θ es el ángulo de salida de los electrones emitidos, relativo a la superficie de la muestra.

El espesor de la capa de óxidos sobre la superficie de un material se puede calcular utilizando la expresión:

$$d_o \text{ (nm)} = \lambda_{\text{óxido}} \sin \theta \ln \left[\frac{(I_{\text{óxido}} \times \lambda_{\text{metal}} \times N_{\text{metal}})}{(I_{\text{metal}} \times \lambda_{\text{óxido}} \times N_{\text{óxido}}) + 1} \right] \quad (1)$$

donde d_o es el espesor de la capa de óxidos (en nm); θ es el ángulo de salida de los fotoelectrones e $I_{\text{óxido}}$ y I_{metal} son

las intensidades de las componentes del material en estado metálico y como óxido del espectro XPS de alta resolución, λ_{metal} and $\lambda_{\text{óxido}}$ son los caminos inelásticos medios de los fotoelectrones en el sustrato y en la capa de óxido y N_{metal} y $N_{\text{óxido}}$ son las densidades del elemento en estado metálico y como óxido. En la figura 7 se muestran los espectros XPS de alta resolución obtenidos en la superficie externa de distintas aleaciones de aluminio en contacto con la atmósfera de laboratorio. Los espectros muestran la componente más intensa a una energía de ligadura de 74.4 eV asociada a la presencia de aluminio en forma de óxido de aluminio y otra menos intensa que aparece a una energía de ligadura de 71.7 eV que podría atribuirse a la presencia de aluminio en estado metálico. A partir de relación $I_{\text{óxido}}/I_{\text{metal}}$ (proporcional a la altura de las componentes) se obtiene el espesor de la capa de óxidos de aluminio sobre la superficie (Figura 7). Se comprueba un mayor espesor de la capa de óxido de aluminio en la superficie de las aleaciones Al-Cu y Al-Mg que en las de Al-Mg-Si y Al-puro [6]. En un trabajo posterior se encontró una relación directa entre el espesor de la capa pasivante de óxido de aluminio y las características de las capas que crecían en el posterior proceso de anodizado [7].

Los métodos de obtención del perfil composicional pueden ser: no destructivos (espesores de 5 a 10 nm) y destructivos (30nm en adelante). Los primeros, se basan en: a) variación del ángulo λ de salida de electrones; así a 90° , se obtiene información para una profundidad de 3λ , mientras que a 15° el análisis se refiere a la composición química de la superficie más externa b) comparar dos picos de diferentes niveles de energía para el mismo elemento, c) cambiar de fuentes de rayos X (Mg, Al, Ag) y comparar la energía cinética del pico de un mismo elemento [3].

Con respecto a los destructivos el más popular es el bombardeo por iones argón (A.I.B). La evolución del espectro XPS de alta resolución $\text{Fe}2p_{3/2}$ obtenido en la superficie de un acero IF laminado en frío con el tiempo de bombardeo por iones argón se muestra en la figura 6. Se observa claramente que 20 minutos de bombardeo por iones argón son suficientes para eliminar la presencia de las componentes atribuidas al hierro en estado oxidado (Fe^{2+} y Fe^{3+}) del espectro $\text{Fe}2p$. Considerando que la velocidad de decapado es de $2 \text{ \AA}/\text{min}$ y la capa de óxidos de hierro es homogénea y uniforme, el espesor medio de la capa de óxidos de hierro sobre la superficie del acero laminado en frío es aproximadamente de 3-4 nm [4].

CONCLUSIONES

- Se ha intentado mostrar la utilidad del análisis mediante XPS de la superficie de materiales de interés tecnológico tomando como ejemplos el acero o el aluminio.
- La técnica XPS permite el análisis cuantitativo y cualitativo de todos los elementos, excepto el hidrógeno. Permite

conocer la evolución del porcentaje atómico en la superficie de cualquier material como resultado de su tratamiento y obtener correlaciones entre el contenido de un elemento y el comportamiento del material.

- La técnica XPS alcanza una profundidad de análisis de 3nm. Esta profundidad está dentro del intervalo de fenómenos que tienen lugar en capas muy finas como la pasivación, la segregación de elementos durante cortos periodos de tiempo (nivel industrial), nuevos pretratamientos protectores, delgadas capas de corrosión (atmósferas interiores) etc.
- La técnica XPS informa cualitativamente y cuantitativamente sobre el estado de combinación del elemento (por ejemplo permite distinguir la presencia de Fe^0 , Fe^{2+} y Fe^{3+} , así como, el porcentaje elemental de cada una de esas especies). Esta información es fundamental en la caracterización de materiales y el XPS es de las pocas técnicas que proporcionan este tipo de resultados.
- La técnica XPS en combinación con el bombardeo por iones argón (AIB) tiene la posibilidad de construir perfiles de profundidad. ■

REFERENCIAS

1. <http://investigacion.us.es/cgi/showsgi.php?idpag=18&idmenu=0&viewsub=2&idpadre=18>
2. M.P. Seah y D. Briggs. "Practical Surface Analysis by Auger and X-ray Photoelectron Spectroscopy". Ed. John Wiley and Sons Ltd. Chichester (R.U.). 1990: 1-16.
3. S. Feliu (Jr). "Técnicas de análisis de superficies por espectroscopia electrónica. Conceptos y aplicaciones generales", Revista de Metalurgia de Madrid, (1993) 29, 5, 307-319.
4. S. Feliu (Jr) y M.L. Pérez-Revenga. "Effect of the presence of alloying elements in Interstitial-Free and Low-Carbon Steels on their surface composition after annealing in reducing atmospheres ($Dew\ Point=-30^\circ C$)", Metallurgical and Materials Transactions A, (2004) 35A, 2004-2039.
5. S. Feliu (Jr) y M.L. Pérez-Revenga. "Correlation between the surface chemistry of annealed IF steels and the growth of a galvanneal coating", Acta Materialia, (2005) 53, 2857-2866.
6. S. Feliu (Jr) y M.J. Bartolomé, "Influence of alloying elements and etching treatment on the passivating films formed on aluminium alloys", Surface and Interface Analysis (2007) 39, 304-316.
7. S. Feliu (Jr), M.J. Bartolomé, J.A. González, V. López y S. Feliu, "Passivating oxide film and growing characteristics of anodic coatings on aluminium alloys", Applied Surface Science (2008) 254, 2755-2762.

Para mayor información acerca de la técnica XPS se recomienda entrar en la siguiente página web: <http://www.icp.csic.es/xps/enlaces.html>

Maravillas del Universo

AUTOR: BENJAMÍN MONTESINOS
 Centro de Astrobiología
 INTA-CSIC

Este es un artículo de descubrimientos. El título permite cubrir muchísimas cosas, pero como el espacio del que dispongo es limitado, voy a intentar dar unas pinceladas sobre un puñado de hitos que han marcado la historia de la Astronomía y nuestro conocimiento del cosmos en los últimos cien años.

El Universo es un lugar maravilloso, como vemos en la figura 1, lleno de objetos y estructuras exóticos, y nunca deja de sorprendernos. Comenzaré hablando de planetas extrasolares (o exoplanetas) y continuaré con un fenómeno a mucha

mayor escala, la expansión –aparentemente– acelerada del Universo.

PLANETAS ALREDEDOR DE OTRAS ESTRELLAS

El 13 de noviembre de 2008, un grupo de astrofísicos canadienses daban a conocer la primera imagen de un sistema planetario *distinto del nuestro*. La mostramos en la figura 2, y hay que explicarla un poco para que no resulte desconcertante. Si pudiéramos ver nuestro Sistema Solar desde muy lejos y comparásemos el brillo del Sol con el brillo reflejado de Júpiter, su cociente sería del orden de 1000 millones en luz visible y 1 millón en el rango infrarrojo. Intentar hacer

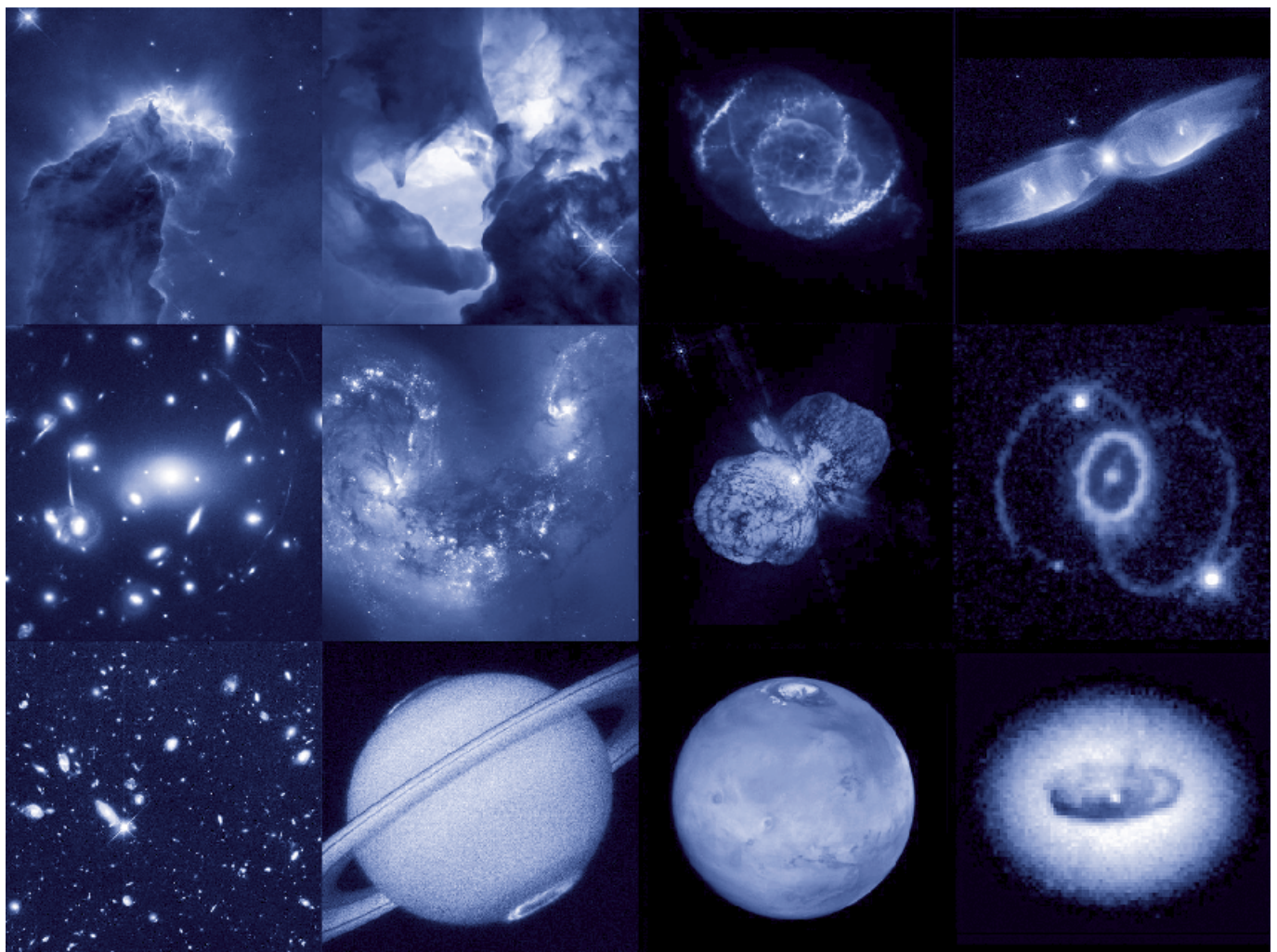


Figura 1. Un tapiz de objetos astronómicos. De izquierda a derecha y de arriba abajo: dos regiones de gas y polvo donde se forman estrellas, dos ‘nebulosas planetarias’ (estrellas similares al Sol muy evolucionadas que han expulsado su envoltura al espacio), un cúmulo de galaxias, dos galaxias en interacción, una nube de gas en torno a una estrella muy masiva, los restos de una explosión de supernova, una imagen muy profunda del espacio mostrando galaxias muy lejanas, Saturno, Marte y un anillo en torno a un ‘candidato’ a agujero negro en el centro de una galaxia. [Cortesía: Hubble Space Telescope, NASA/ESA.]

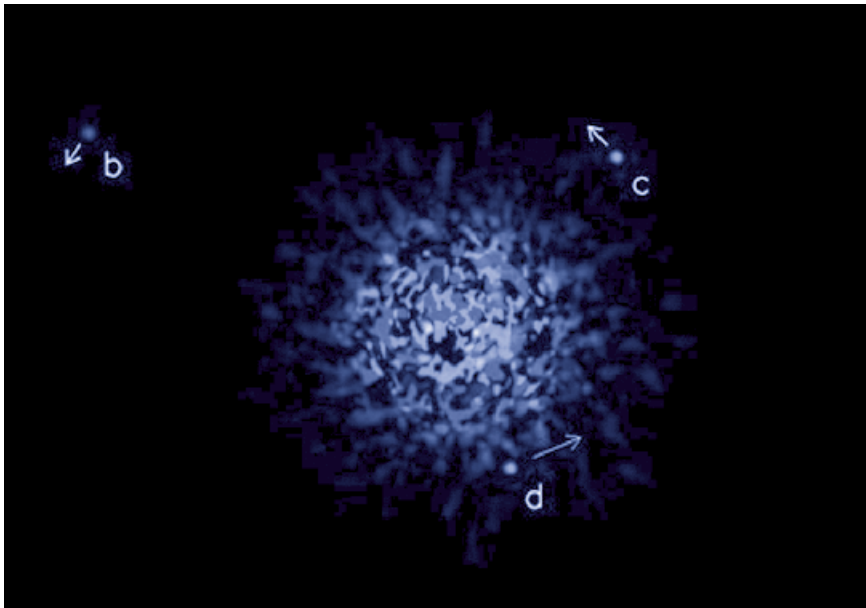


Figura 2: Imagen del sistema planetario alrededor de la estrella HR 8799 obtenida con uno de los telescopios Keck, con un espejo de 10 metros de diámetro, en Hawaii. Las manchas rojas, azules y verdes que aparecen en el centro de la fotografía son los restos del procesado que ha tenido que hacerse sobre la imagen original para 'borrar' la luz de la estrella que no se deseaba que saturara la imagen de los planetas. Lo importante de esta fotografía es que por primera vez podemos ver un sistema planetario distinto del nuestro, orbitando alrededor de una estrella similar al Sol. [Cortesía: C. Marois, National Research Council (Canadá), Observatorio Keck.]

una fotografía de Júpiter ocultando de alguna manera la luz del Sol es algo no trivial, sin embargo eso es lo que hizo el equipo de astrónomos canadienses, utilizando técnicas de observación complejas han logrado eliminar, al menos en parte, la luz de la estrella central y mostrarnos el brillo de tres planetas, etiquetados como 'b', 'c' y 'd', que giran en torno a ella, de nombre HR 8799 (un simple nombre de catálogo) que es bastante parecida a nuestro Sol y está situada a 130 años luz de nosotros.

¿Por qué es importante este descubrimiento? Hagamos un poco de historia. En 1995 dos astrónomos suizos, Michel Mayor y Didier Queloz, hicieron pública la detección del *primer planeta* que orbitaba en torno a una estrella distinta del Sol. Estos objetos se conocen como *planetas extrasolares* o *exoplanetas*, y aunque su existencia se suponía, las técnicas de observación no habían permitido hasta entonces descubrirlos. Desde ese año, se han descubierto más de 340 planetas extrasolares, y conocemos la existencia de sistemas múltiples: por ejemplo, en torno a la estrella 55 Cnc sabemos que orbitan al menos cinco planetas.

Sin duda, la detección de planetas extrasolares ha supuesto una revolución en la Astronomía de finales del siglo XX y en lo que llevamos del XXI. Desde que se tuvo conciencia de las dimensiones del Universo y del hecho de que nuestra Tierra gira en torno a una estrella pequeña, en una más de los 100.000 millones de galaxias que conocemos, ha

habido una pregunta que se ha repetido incesantemente: ¿estamos solos en el Universo o habrá vida en otros planetas? El primer paso para responder esa pregunta era el descubrimiento de otros sistemas planetarios.

Paradójicamente, la gran mayoría de los exoplanetas se han descubierto sin verlos directamente, sino a través de una técnica indirecta, conocida como 'método de las velocidades radiales' que consiste en medir los desplazamientos Doppler de las líneas de absorción del espectro de la estrella, desplazamientos que se producen cuando ésta gira, en un pequeño movimiento de bamboleo, en torno al centro de masas del sistema estrella + planeta (o estrella + planetas en el caso de que el sistema planetario sea múltiple). El 20 de abril de 2009 Michel Mayor dio a conocer la existencia –detectada con este método– de un planeta de tan solo 2 masas de la Tierra orbitando en torno a una estrella algo más fría que el Sol denominada GJ581. El descubrimiento es muy importante porque GJ581e, que es como se llama ese objeto, es, hasta ahora, el planeta extrasolar menos masivo que se conoce.

Sabemos que los planetas están ahí, podemos ver sus efectos sobre la estrella en torno a la que orbitan, pero no éramos capaces de obtener una imagen... hasta ahora, como ha hecho el equipo canadiense. Era algo frustrante escribir un artículo o dirigirse al público en una charla de divulgación, y no poder enseñar la imagen de un sistema planetario. Los tres planetas que se ven en esa fotografía tienen varias veces la masa de Júpiter, es decir, son planetas grandes y gaseosos, como la inmensa mayoría de los que se han descubierto hasta ahora, sin embargo, gracias a proyectos que ya están en marcha pronto descubriremos planetas rocosos, de los que los astrónomos llaman 'tipo Tierra', aunque pasarán todavía bastantes años antes de que podamos saber si existe vida en ellos.

Puesto que los viajes interestelares son imposibles en la actualidad, no podemos pensar en viajar hasta esas estrellas que poseen planetas para estudiarlos *in situ*. ¿Cómo podremos entonces saber si existe vida en otros planetas? Si alguien observara nuestra Tierra desde muy lejos y tuviera los medios necesarios para analizar su luz, vería que, superpuestas al espectro solar reflejado por la Tierra hay bandas en el rango infrarrojo producidas por moléculas de agua, ozono y dióxido de carbono, entre otros muchos compuestos que son consecuencia, en parte, de la actividad biológica en la Tierra. Si en algún momento detectáramos lo mismo en la atmósfera de un exoplaneta, podríamos afirmar con muchas

posibilidades de no equivocarnos que *allí* hay vida... no podríamos especular mucho más, ni decir si esa vida es similar a la que existe en nuestro planeta, pero sin duda sería un descubrimiento de gran impacto no solo científico sino social. Las técnicas para realizar estas observaciones, que se basan en la interferometría espacial, se están desarrollando pero los programas, de momento, no figuran entre los prioritarios de las grandes agencias espaciales.

EL UNIVERSO EN EXPANSIÓN:

¿DÓNDE VAMOS?...

A finales de la década de los años 20 del siglo pasado, Edwin Hubble, un astrónomo estadounidense, hizo dos descubrimientos que cambiaron para siempre la comprensión de las escalas y dimensiones del Universo. Desde unos dos siglos antes, el estudio de la estructura del Universo estaba íntimamente relacionado con la distribución y naturaleza de los objetos que se observaban en el cielo, aparte de los que formaban el Sistema Solar y las estrellas. El astrónomo inglés William Herschel (1738-1822) realizó un minucioso estudio de unos objetos de los que se recibía muy poca luz y que vistos a través de sus telescopios tenían el aspecto de man-

chas nubosas, de modo que fueron llamadas *nebulosas*. Durante todo el siglo XIX y comienzos del XX no estuvo clara la naturaleza de estas nebulosas, que al observarse aisladas en el cielo recibieron el enigmático nombre de *universos-isla*. Hubble demostró que esas estructuras eran *galaxias*, enormes conjuntos de decenas o cientos de miles de millones de estrellas, muchas de ellas similares a nuestra propia galaxia, la Vía Láctea. En la figura 3 podemos ver un muestrario del 'zoo de las galaxias'.

Pero el descubrimiento crucial de Hubble fue demostrar que las galaxias se alejan de nosotros... es decir que el Universo se está expandiendo. Hubble observó un buen conjunto de galaxias y estudiando su luz pudo deducir que cuanto más distante estaba una galaxia más grande era su velocidad de alejamiento. El hecho sorprendente era que en *cualquier dirección que mirara* se observaba ese movimiento de expansión... si no se tiene cuidado en analizar bien este resultado uno podría pensar que por una casualidad cósmica nosotros estamos situados en el centro del Universo..., sin embargo cualquier tentación de caer en un nuevo antropocentrismo, que dominó la concepción del Universo durante siglos, se desvanece si pensamos que *todas las galaxias se alejan de todas*, de modo que desde cualquier galaxia, un observador vería el mismo

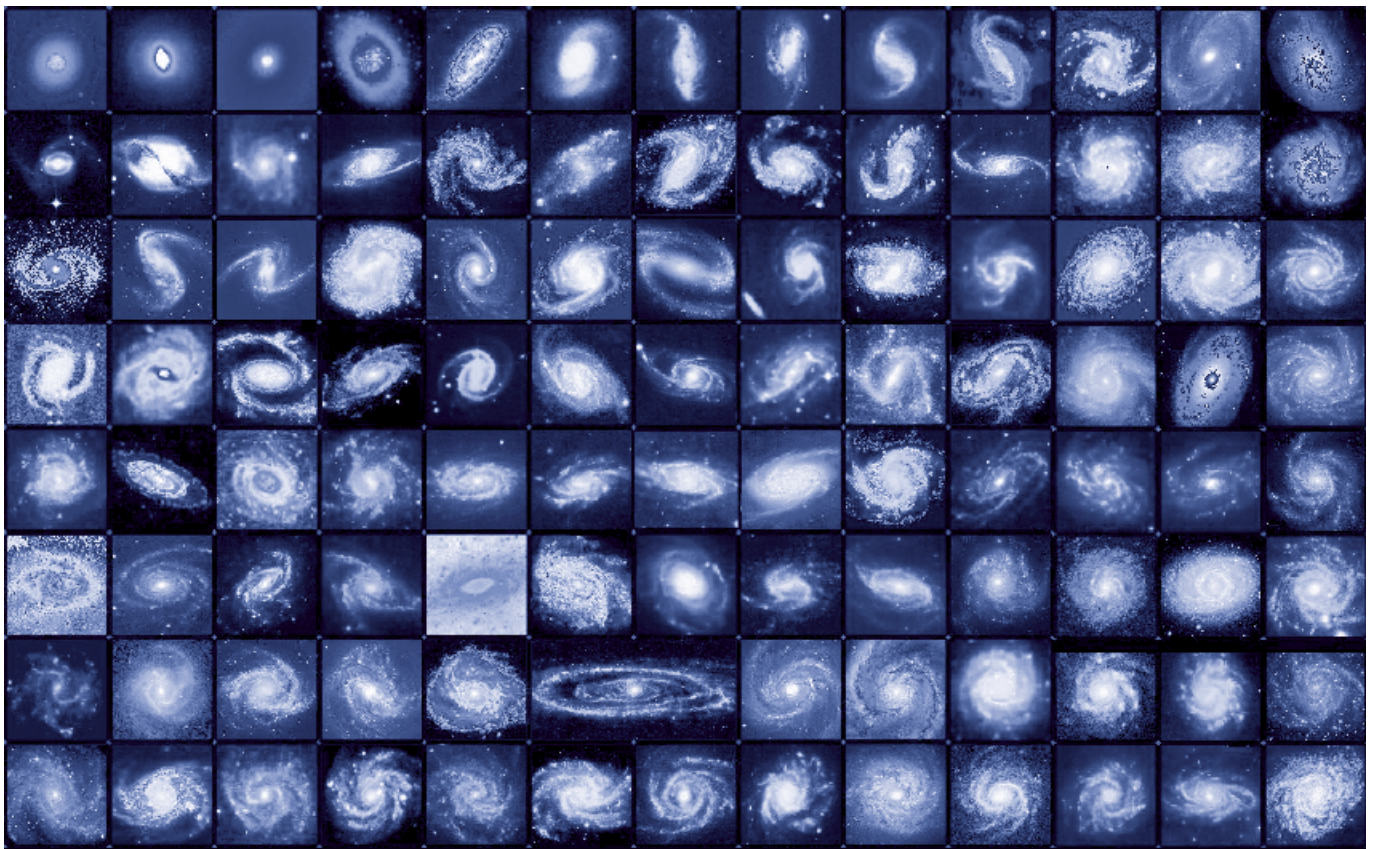


Figura 3: Un mosaico de fotografías de galaxias. Las galaxias son los bloques que construyen el Universo. Son agrupaciones de decenas o cientos de miles de millones de estrellas. Las galaxias a su vez forman estructuras enormes, como los cúmulos, con decenas o cientos de galaxias, o los supercúmulos, con miles de ellas. Hay más de 100.000 millones de galaxias conocidas en el Universo que podemos observar desde la Tierra. La mayoría de las galaxias que aparecen en este panel son espirales, con brazos que rodean a su núcleo. [Cortesía: Astrojan Astronomical Pictures.]

fenómeno. Esto se entiende muy bien con la ayuda de la figura 4: si sobre la superficie de un globo pintamos puntos que representen galaxias e inflamos el globo, todos los puntos/galaxias se alejarán más y más unos de otros conforme el globo se va hinchando. Un minúsculo observador 'montado' en uno de esos puntos vería que los que le circundan se alejarían, independientemente de la dirección en que mirara.

El descubrimiento de la expansión del Universo dio lugar a muchas preguntas. Una de ellas era bastante obvia: si el Universo está hecho de materia, y la materia, como sabemos, tiene efectos gravitatorios, ¿será capaz el propio Universo de parar su expansión y comenzar a contraerse? Puesto que el Universo se creó, según la teoría hoy más asentada, en una gran explosión, el *Big Bang*, una posibilidad para su evolución futura, dentro de muchos miles de millones de años, sería la vuelta a los orígenes, en lo que en inglés se conoce con el sonoro nombre de *Big Crunch*, en el caso en el que el contenido de materia del Universo fuera muy grande. Si por el contrario, éste fuera pequeño, el futuro del Universo sería una expansión eterna.

Los cosmólogos se pusieron manos a la obra y comenzaron a calcular cuánta masa tiene el Universo, y de hecho, ¡encontraron más de la que esperaban!: además de la materia que podemos ver en forma de asteroides, cometas, planetas, estrellas, nebulosas o galaxias, existe un tipo de materia que no emite ni refleja luz en absoluto y a la que se bautizó con el enigmático nombre de *materia oscura*.

Hasta mediados de los años 90 los cálculos daban el sorprendente resultado de que el contenido total de materia en el Universo era muy cercano al que separa las dos posibilidades que describíamos más arriba... sin embargo, la sorpresa más grande estaba por llegar... la materia ordinaria y la materia oscura (de la que por el momento conocemos su existencia pero no de qué está compuesta), *no son* los principales componentes del Universo...

¿Qué significa esto? Desde 1998 se han publicado una serie de trabajos que estudian de una forma muy minuciosa la expansión del Universo. En ellos, se mide la intensidad de la luz procedente de la explosión de supernovas de un cierto tipo en galaxias muy lejanas. Una supernova es la explosión final de una estrella mucho más masiva que nuestro Sol. La comparación de esa luz con la de supernovas del mismo tipo cercanas a nosotros demuestra que no solo el Universo se está expandiendo, como ya sabíamos, sino que en la actualidad, esta *expansión se está acelerando*. Si el Universo sólo estuviera compuesto de materia –ordinaria y oscura-, no



Figura 4: Si suponemos que el Universo es la superficie de un globo y dibujamos sobre ella 'galaxias', cuando el globo se hincha, es decir, cuando el Universo se expande, veremos que todas ellas se alejan unas de otras. Este es un buen símil para entender la expansión del Universo.

sería posible explicar una expansión acelerada, puesto que la materia tiene efectos gravitatorios y por tanto atractivos: tiene que haber 'algo' en el cosmos que posea efectos antigravitatorios y que *tire hacia afuera* de todo el Universo. Los cosmólogos, perplejos, han llamado a ese 'algo' *energía oscura...*, lo de 'oscura' viene en una buena medida porque no tienen la más mínima idea de cual es su origen.

Para explicar el comportamiento actual del Universo es necesario que la energía oscura sea su componente dominante. De hecho, los cálculos más recientes demuestran que el 5% de contenido total del Universo es materia ordinaria, el 25% es materia oscura, cuya composición, como hemos dicho, no conocemos, pero que tiene también efectos gravitatorios, y el ¡¡¡70%!!! es energía oscura, que posee las propiedades de una 'presión negativa' o de una 'antigravedad'. Es paradójico que después de todos los esfuerzos que se han hecho para saber cual es la composición del Universo, sólo conocemos bien el 5% de su contenido...

El Universo tiene ahora unos 13.700 millones de años de edad. No sabemos su destino: si la energía oscura mantiene ese porcentaje de presencia conforme la expansión aumenta, los escenarios más extremos nos indican que dentro de cientos de miles de millones de años las galaxias podrían desgajarse en pedazos bajo el efecto de esa antigravedad.

En cualquier caso, eso nos queda muy lejos, así es que disfrutemos mirando al cielo, admirando las maravillas que nos ofrece el inigualable espectáculo de una noche estrellada, e intentando comprenderlas desde nuestro pequeño planeta azul. ■

MEDICINA Y SALUD

Diseño de Superficies Citomiméticas para Ingeniería de Tejidos

AUTORA: ROSA M. LOZANO
*Centro de Investigaciones Biológicas. CSIC.
Madrid*

La ingeniería de tejidos pretende, desde un conocimiento científico multidisciplinar, proporcionar materiales adecuados para resolver diversos problemas que se presentan de forma habitual en la práctica clínica, como son la necesidad de prótesis ortopédicas y de implantes dentales en aquellas situaciones en las que es necesaria una reparación de hueso, la aplicación de stents coronarios en el caso de ciertas patologías cardiovasculares y en un futuro esperamos que permita incluso la sustitución de órganos.

Siempre que se implanta un material o biomaterial (BM) en el cuerpo humano es necesario considerar el contexto biológico en el que se inserta, un entorno complejo tanto a escala celular como molecular, cuya composición va a depender del sitio de implantación del mismo. Así, distintos tipos celulares y diferentes biomoléculas van a interactuar y a entrar en contacto directo con el BM. Dependiendo de cómo se establezca esta interacción célula-BM, el tejido dañado se reparará adecuadamente o por el contrario será recubierto por tejido fibrótico que finalmente dará lugar a una reparación defectuosa del tejido y a la necesidad de sustituir de nuevo el material implantado por otro nuevo.

Precisamente con el objetivo de favorecer la interacción entre el BM y el tejido que rodea al implante, la comunidad científica interesada en la ingeniería de tejidos está haciendo un gran esfuerzo por desarrollar nuevos materiales que aumenten la biocompatibilidad del BM con su entorno celular a la vez que promueven una regeneración controlada del tejido a reparar. Este interés ha dado lugar al desarrollo de lo que se conoce hoy en día como BMs citomiméticos, que son BMs que muestran en su superficie biomoléculas bioactivas que mimetizan el entorno celular. Se consideran moléculas de interés para unir a las superficies de los BMs aquellas que favorecen la interacción con la matriz extracelular y con la membrana celular, para de esta forma facilitar los procesos de adhesión y de proliferación celular en la zona que rodea al implante. Asimismo, son candidatas a considerar las moléculas que están implicadas en promover la angiogénesis, proceso por el que se induce la formación de vasos sanguíneos a partir de otros existentes. De esta forma, la red de vasos sanguíneos que se forma favorece el aporte de nutrientes

al tejido en reparación. Es precisamente la funcionalización de BM con factores pro-angiogénicos uno de los campos más activos en la ingeniería de tejidos hoy en día.

El trabajo que se presenta a continuación pretende dar una visión actual acerca de lo que se está haciendo en el campo de la funcionalización de superficies de BMs aplicada para reparación de tejido óseo.

INGENIERÍA DE TEJIDOS

EN LA REPARACIÓN DE TEJIDO ÓSEO

La necesidad de reparación de tejido óseo surge en ciertas circunstancias en las que se produce un daño o rotura de tejidos o en situaciones de daño funcional de órganos, como son las situaciones de traumatismo, procesos tumorales e infecciosos, así como las que se deben a alteraciones en el desarrollo del esqueleto.

La naturaleza de los BMs empleados en estas situaciones es muy diversa y comprende desde materiales metálicos, polímeros naturales y sintéticos, hasta materiales cerámicos. El uso de unos u otros depende de la aplicación final que tenga el BM. Actualmente, las prótesis ortopédicas que se fabrican para sustitución de rodilla y de cadera son fabricadas utilizando materiales metálicos como son las aleaciones de titanio, cromo o aceros inoxidable. Aunque estos materiales tienen buenas propiedades mecánicas para soportar carga, presentan ciertos inconvenientes debido a su elevada rigidez, mayor que la del hueso humano, siendo su naturaleza química muy diferente a la del tejido óseo humano. Estos inconvenientes hacen que la duración de estos implantes sea limitada bien por su propio deterioro o por debilitamiento de la masa ósea que lo rodea, siendo más frecuente esta última. Esta circunstancia hace que sea necesario en ciertas ocasiones someter al paciente a una segunda y a veces hasta una tercera intervención quirúrgica, dependiendo de la edad del mismo, lo que claramente repercute negativamente en la calidad de vida del paciente y en el coste sanitario. Esta realidad que se presenta en la clínica justifica el desarrollo de nuevos BMs que sean más compatibles con el entorno celular en el que se encuentra implantando.

Hoy en día existe un gran interés en los que se han denominado "materiales de tercera generación", categoría que

Tabla 1. Péptidos utilizados en la funcionalización de biomateriales

1. Péptidos que se unen a las Integrinas de la membrana celular

| Secuencia del péptido a inmovilizar | Proteína que lo contiene |
|-------------------------------------|--------------------------|
| RGDT; DGEA ; GTPGPQGIAGQRGVV (P15) | Colágeno Tipo I |
| RGDS; LDV; REDV | Fibronectina |
| LRGDN | Laminina A |
| YIGSR; PDSGR | Laminina B1 |
| RGDVTXG | Trombospondina |
| RGDV | Vitronectina |

2. Péptidos que se unen al Proteoglicano de la membrana celular

KRSR

FRHRNRKGY: secuencia comprendida entre el residuo 351-359 de la vitronectina humana

incluye a los materiales bioactivos y biofuncionales capaces de estimular la respuesta celular y molecular de una forma controlada. Entre éstos cabe destacar los siguientes:

- Andamios tridimensionales: que sirven para alojar células una vez que son implantados *in vivo*.
- Andamios tridimensionales que son colonizados *in vitro* por células progenitoras para posteriormente ser implantados.
- Materiales modificados con diferentes proteínas y otras biomoléculas de naturaleza no proteica que estimulan la respuesta celular y promueven la diferenciación celular.

FUNCIONALIZACIÓN CITOMIMÉTICA DE BIOMATERIALES

Dentro de los materiales de tercera generación se encuentran los que se denominan "biomateriales citomiméticos". La funcionalización citomimética de BMs para reparación ósea tiene como objetivo la modificación de la superficie de los BMs con distintas biomoléculas que están presentes en el entorno celular y molecular de la zona de fractura. El BM funcionalizado resultará así más compatible y más tolerable en el entorno celular, para de esta manera ser reconocido como algo propio.

Las biomoléculas presentes en la superficie del BM citomimético deben conservar su actividad biológica una vez unidas a éste y favorecer la interacción con la superficie de las células que rodean al implante para estimular en éstas los procesos de adhesión celular, proliferación celular, angiogénesis y los procesos de mineralización necesarios para que la reparación del tejido óseo tenga lugar.

Los tejidos son sintetizados en condiciones fisiológicas en medios acuosos a partir de biomacromoléculas, que son

esencialmente proteínas a las que se unen la presencia de carbohidratos y de lípidos. Las proteínas como constituyentes indispensables de las estructuras biológicas van a ser por tanto componentes indiscutibles a considerar en el diseño de los BMs citomiméticos.

Con el objetivo de favorecer los procesos de adhesión de las células al BM implantado, distintos BMs se han funcionalizado con péptidos más o menos sencillos, que contienen una secuencia de aminoácidos presente en proteínas que están implicadas en adhesión celular como son el colágeno de tipo I, la fibronectina, laminina A, laminina B1, trombospondina y vitronectina. Los péptidos utilizados para la funcionalización de BMs (ver tabla 1) contienen la secuencia de aminoácidos responsable de la interacción y unión de estas proteínas con las integrinas, que son unas proteínas que aparecen en la membrana de la célula y que intervienen en la adhesión celular. Otros péptidos no relacionados con estos, pero que también facilitan la adhesión de las células al BM, (tabla 1), son aquellos que contienen una secuencia de aminoácidos con afinidad por los heparán sulfato, que es uno de los componentes de los proteoglicanos que forman parte de la membrana de las células.

La Bone-morphogenetic-protein-2 o BMP-2 es una de las proteínas que más se ha inmovilizado a BMs para regeneración ósea. Esta proteína es uno de los factores de crecimiento que estimula los procesos de proliferación y diferenciación de las células progenitoras pluripotentes, las "mesenchymal stem cells" (MSC), en osteoblastos que son las células responsables de la formación del hueso (Sakou, 1998). Por ello, la BMP-2 se considera una proteína importante para la formación y el desarrollo del hueso. Distintas superficies de BMs de distinta naturaleza química, como son las superficies de titanio o las superficies recubiertas con polímeros reabsorbibles como son el ácido poliláctico y la policaprolactona se han funcionalizado con la BMP-2 (Edlund y col., 2008).

Una de las áreas que está en plena expansión en la ingeniería de tejidos se basa en la relación que existe entre los procesos de osteogénesis y la angiogénesis (Kanczler y Oreffo, 2008). Aunque Haller observó en 1763 (Haller, 1763) que la formación de vasos sanguíneos tiene un papel relevante para la reparación del tejido óseo, no ha sido hasta hace unos años cuando se ha empezado a funcionalizar los BMs con distintas proteínas que promueven la angiogénesis. La formación de una red de vasos sanguíneos permite la supervivencia e integración del tejido formado de nuevo, al facilitar el transporte de oxígeno, nutrientes, factores solubles y de distintos tipos de células. La red vascular es importante para el desarrollo y reparación del hueso, de tal manera que cuando se producen alteraciones en la vascularización se produce la aparición de distintas situaciones patológicas, como son la osteonecrosis, osteomielitis, osteoporosis, artritis reumatoide y la osteoartritis. La formación de vasos sanguíneos está controlada por la actividad biológica de distintas proteínas pro-angiogénicas, entre las que cabe destacar entre otras el factor de crecimiento del endotelio vascular (VEGF), factor de crecimiento derivado de plaquetas (PDGF) y los factores de crecimiento para fibroblastos (FGFs), proteínas que con las que ya se están empezando a funcionalizar ciertos BMs para su aplicación en regeneración ósea (Baroli, 2009)

A pesar del gran interés que despierta en la comunidad científica el desarrollo de BMs funcionalizados para su uso en regeneración ósea, el número de publicaciones sobre proteínas inmovilizadas sobre BMs alcanza solamente las 61 publicaciones. De estas publicaciones relacionadas con la ingeniería de tejido óseo, casi la mitad proponen la inmovilización de la BMP-2, seguida en el número de referencias por la inmovilización del PDGF y del VEGF. El número bajo de publicaciones refleja que la funcionalización con proteínas de BMs es todavía un área en plena expansión.

DE LA BIOLOGÍA MOLECULAR

A LA INGENIERÍA DE TEJIDOS

Una línea importante de reciente aplicación en el campo de la ingeniería de tejidos para reparación ósea aunque desarrollada ya hace unos años es lo que se conoce como la "Ingeniería genética de péptidos para inorgánicos" o GEPI (Tamerly y Sarikaya, 2009), técnica que selecciona péptidos en base a su afinidad por un determinado ligando.

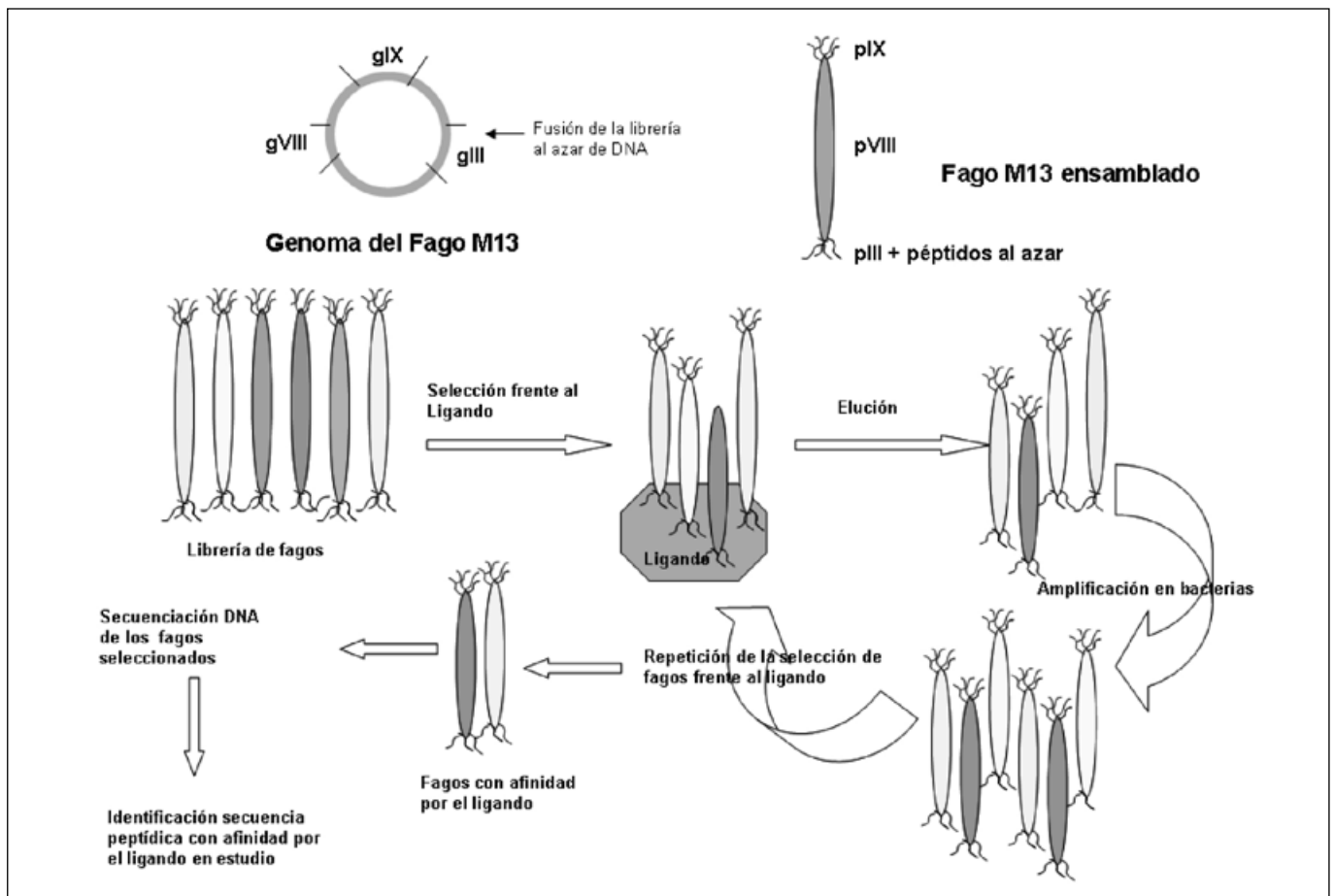
La GEPI utiliza técnicas bien establecidas de biología molecular como es el "phage display" o librería de fagos (fago o bacteriofago: virus que infecta a bacterias), cuya aplicación en la ciencia de materiales fue descrita en el 2006 por Merzlyak y Lee (Merzlyak y Lee, 2006). Esta técnica consiste en fusionar distintas secuencias al azar de DNA, que codifican péptidos que tienen frecuentemente entre 7 y 12 aminoácidos, a ciertos genes del bacteriofago M13 que codifican las proteínas que constituyen la cubierta del fago.

La combinación al azar de secuencias de DNA se fusionan a las secuencias génicas de los genes gIX, gVIII o gIII de M13 (figura 1, ver Esquema Genoma del fago). Los genes gIX, gVIII o gIII de M13 codifican las proteínas pIX, pVIII y pIII respectivamente, que son las proteínas que forman parte de la cubierta del fago una vez que éste se ensambla (figura 1, ver Ensamblaje del Fago M13). De esta manera, los péptidos codificados por las nuevas secuencias de DNA que se han fusionado a los genes gIX, gVIII o gIII adquieren la misma localización durante el ensamblaje de la partícula fágica que la proteína a la que se ha fusionado. Así, dependiendo del gen al que se haya fusionado la nueva secuencia de DNA, el péptido codificado por esta nueva secuencia aparecerá unido a la proteína pIX, pVIII o a la pIII. En el esquema que se presenta en la figura 1, las secuencias al azar de DNA que codifican para estos péptidos se han fusionado al gen gIII, por lo que estos péptidos se localizan con la proteína pIII, que se encuentra en uno de los extremos de la cubierta del fago (figura 1, ver Ensamblaje del Fago M13).

La librería de fagos, que comprende el conjunto de fagos que muestran fusionado a la proteína pIII los diferentes péptidos codificados por las secuencias de DNA introducidas en el genoma de M13, se incuban con el ligando quedándose unidos a éste aquellos que tienen afinidad (figura 1, ver Selección frente al ligando). Dentro de este conjunto de fagos que se unen al ligando, el grado de afinidad que presentan por éste es variable. Una vez eluidos aquellos fagos que se han unido al ligando, éstos se utilizan para infectar cultivos bacterianos (figura 1, ver Fase de amplificación en bacterias). Mediante la fase de amplificación en bacterias se consigue un aumento en la población de fagos con afinidad por el ligando. La repetición de una serie de ciclos de selección frente al ligando, elución (figura 1, ver Repetición de la selección de fagos frente al ligando) y la amplificación en bacterias, da lugar a una población de fagos cuya afinidad por el ligando va incrementándose a medida que el número de ciclos aumenta. De esta forma, al final del proceso se obtiene una población de fagos bastante homogénea que contienen solamente una o dos secuencias peptídicas con una alta afinidad por el ligando en estudio (figura 1, ver Fagos con afinidad por el ligando). La identificación de las secuencias peptídicas con alta afinidad por el ligando se obtiene a partir de la secuenciación del DNA de los fagos seleccionados en el último ciclo de selección (figura 1, ver Fase secuenciación de DNA).

La GEPI se ha utilizado recientemente para seleccionar e identificar secuencias peptídicas que favorecen los procesos de mineralización que son necesarios para la reparación del hueso. Así, se han identificado péptidos que muestran afinidad por hidroxiapatita (HA), que es el componente mayoritario de la matriz inorgánica del hueso y cuya deposición en hueso permite la mineralización de éste. La secuenciación de fagos con alta afinidad por la HA ha permitido identificar un péptido con afinidad por hidroxiapatita, que se ha denominado HABP1 (hidroxiapatite binding peptide 1) y que con-

Figura 1. Ingeniería Genética de Péptidos para Inorgánicos (GEPI)



tiene la siguiente secuencia de aminoácidos: CMLPHHGAC (Gungormus y col. 2008). Se ha visto que este péptido HA-BP1 favorece el ordenamiento y la cristalización de fosfato cálcico, lo que le convierte en un péptido muy interesante a tener en cuenta para la funcionalización de BMs para reparación ósea por favorecer los procesos de mineralización (Gungormus y col. 2008).

A partir de la secuencia del péptido seleccionado mediante la ingeniería genética de péptidos para inorgánicos se pueden utilizar otras estrategias complementarias para mejorar el diseño del mismo como es la incorporación a la secuencia identificada de ciertos aminoácidos que inducen en el péptido una cierta estructura para que de esta manera aumente su afinidad por el ligando en cuestión. Parece ser que la restricción de las posibles conformaciones que adopta el péptido en solución puede favorecer la interacción con el ligando (Seker y col., 2009). De esta manera se ha evaluado de forma comparativa la actividad de péptidos en forma lineal y en forma constreñida por la presencia de dos cisteínas alejadas en su secuencia que forman un puente disulfuro, lo que confiere al péptido una cierta rigidez estructural. Recientemente, se ha visto que la arquitectura molecular del péptido tiene un papel relevante en el reconocimiento del sólido (Hnilova y col., 2008). Otra aproximación que se está empleando en el diseño de los péptidos con afinidad por un determinado ligando, es

la repetición de la secuencia del péptido seleccionado con el objeto de aumentar la afinidad de éste por el ligando.

MÉTODOS DE FUNCIONALIZACIÓN DE BIOMATERIALES

La inmovilización de péptidos y proteínas sobre distintos BMs se ha realizado fundamentalmente utilizando tres aproximaciones experimentales: a) adsorción por inmersión del BM en la solución que contiene la biomolécula a funcionalizar; b) absorción del péptido/proteína sobre un material reabsorbible que recubre la superficie del BM y c) unión del péptido/proteína a la superficie del BM mediante enlace covalente.

La formación del enlace covalente entre la proteína/péptido a funcionalizar requiere la presencia en la superficie del BM de ciertos grupos funcionales libres como son: OH, CO-OH o NH₂ para la formación del enlace. Con este fin, se ha utilizado el recubrimiento de BM con monocapas autoensambladas de moléculas bifuncionales que presentan como grupo terminal un grupo amino, un carboxilo o un alkenotiol. Del mismo modo, la presencia en el extremo amino/carboxilo terminal del péptido/proteína a funcionalizar de un residuo reactivo, como es la cisteína, ofrece la posibilidad de formar un enlace covalente entre el grupo sulfhidrilo de la cadena la-

teral de este residuo y los halógenos tipo Cl ó Br que presente en su superficie el BM.

La funcionalización mediante la unión covalente del péptido/proteína a la superficie del BM tiene una serie de ventajas sobre los otros métodos de inmovilización arriba expuestos, ya que permite un mayor control de la densidad de biomoléculas y una orientación espacial de las mismas sobre la superficie del BM.

Un aspecto que hay que considerar en la funcionalización de BM es la especificidad que se establece en la interacción proteína-superficie, que puede estar determinada por interacciones químicas, del tipo enlace de hidrógeno, efectos de polaridad y carga, y por interacciones físicas, como puedan ser la conformación, el tamaño y la forma (Evans y col., 2008).

Para evaluar de forma cualitativa la adsorción de proteínas/péptidos a los BMs se utiliza de forma rutinaria la microscopía de fluorescencia y la técnica ELISA, una técnica que utiliza la detección por inmunofluorescencia. La microscopía de fuerzas atómicas es una técnica muy útil que permite obtener una información estática de las proteínas/péptidos unidas a la superficie del BM.

Para valorar de forma cuantitativa la unión de las biomoléculas a la superficie del BM se utilizan distintas técnicas, como son la microbalanza de cristal de cuarzo (QCM) y la espectroscopía SPR, aunque recientemente también se han utilizado técnicas de espectroscopía de rayos X, de masas y resonancia magnética nuclear (NMR) de fase líquida y sólida.

CONCLUSIONES

La ingeniería de tejidos para regeneración ósea tiene un gran interés en el desarrollo de materiales funcionales citomiméticos, materiales que además de aportar las propiedades mecánicas necesarias que requiera según la aplicación que tenga el BM, presenten unas características que favorezcan la regeneración del tejido dañado. El conocimiento detallado del entorno celular y molecular en el que se va a implantar finalmente el BM, es fundamental para considerar una serie de biomoléculas candidatas a la hora de funcionalizar el mismo. Mediante esta estrategia, se puede añadir al BM una serie de actividades biológicas deseables para que la reparación del tejido ocurra, que favorezcan esencialmente los procesos de adhesión y proliferación celular, la vascularización y los procesos de mineralización.

Es importante conocer las propiedades y características químicas de la superficie del BM para diseñar la estrategia más adecuada para la funcionalización de éste. En el caso de funcionalizar superficies de BMs con biomoléculas como son proteínas, y ciertos péptidos que tienen estructura, hay que tener muy en cuenta las condiciones de temperatura, solventes, métodos de esterilización, etc., a emplear, ya que estos pa-

rámetros en ningún caso deben afectar a la estructura de las biomoléculas a funcionalizar para así conservar la actividad biológica de las mismas una vez inmovilizadas en el BM.

Hay que considerar la posible multifuncionalización de la superficie del BM, de tal manera que el mismo BM muestre en su superficie moléculas con distinta actividad biológica, de tal forma que se favorezcan no sólo los procesos de adhesión y proliferación celular sino que también se estimule la vascularización de la zona del peri-implante y los procesos de mineralización para que la reparación del hueso suceda de forma adecuada. Si al dotar al BMs de esta multifuncionalización biomolecular disminuimos el tiempo necesario para la reparación total de la lesión, habremos conseguido nuestro objetivo de mejorar la calidad de vida de los pacientes que sufren una lesión ósea.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación bajo el proyecto de investigación de referencia: MAT2008-06719-C03-02. ■

REFERENCIAS

- Baroli, B. (2009) From natural bone grafts to tissue engineering therapeutics: Brainstorming on pharmaceutical formulative requirements and challenges. *J. Pharm. Sci.* 98, 1317-1375.
- Edlund, E., Danmark, S, Albertsson, A-C. (2008) A strategy for the covalent functionalization of resorbable polymers with heparin and osteoinductive growth factor. *Biomacromolecules* 9, 901-905.
- Evans, J.S., Samudrala, R., Walsh, T., Oren, E.E., Tamerler, C. (2008) Molecular design of inorganic-binding polypeptides. *MRS Bull* 33, 514-518
- Gungormus, M., Fong, H., Kim, I.W., Evans, J. S., Tamerler, C., Sarikaya, M. (2008) Regulation of in vitro calcium phosphate mineralization by combinatorially selected hydroxyapatite-binding peptides. *Biomacromolecules* 9: 966-973.
- Haller A (1763) *Experimentorum de ossium formatione*. 2:400 Francisci Grasset.
- Hnilova, M., Oren, E.E., Seker, U.O.S., Wilson, B.R., Collino, S., Evans, J.S. Tamerler, C., Sarikaya, M. (2008) Effect of molecular conformations on the adsorption behavior of gold-binding peptides. *Langmuir* 24, 12440-12445.
- Kanczler, J.M., Oreffo, R.O.C. (2008) Osteogenesis and angiogenesis: the potential for engineering bone. *Eur. Cells and Mat.* 15:100-114.
- Merzlyak, A., Lee, S-W. (2006) Phage as templates for hybrid materials and mediators for nanomaterial synthesis. *Curr. Op. Chem. Biol.* 10: 246-252
- Seker, U.O.S., Wilson, B., Sahin, D., Tamerler, C., Sarikaya, M (2009) Quantitative affinity of genetically engineered repeating polypeptides to inorganic surfaces. *Biomacromolecules* 10, 250-257.
- Sakou, T. (1998) Bone morphogenetic proteins: from basic studies to clinical approaches. *Bone* 22, 591-603.
- Tamerler, C., Sarikaya, M. (2009) Molecular biomimetics: nanotechnology and bionanotechnology using genetically engineered peptides. *Phil. Trans. R. Soc. A* 367: 1705-1726.

PLACAS DE HONOR DE LA ASOCIACIÓN



De izquierda a derecha, Julio César Javier Tello Marquina, Juan Carbonell Gisbert, Manuel Pérez Cano de MIP SYSTEM AGRO, Jesús Martín Tejedor, Alfredo García Aránguez de ELCOGAS y Julio Martínez Calzón.

Placa de Honor 2009 concedida a Julio Martínez Calzón

Julio Martínez Calzón es Doctor Ingeniero de Caminos por la Politécnica de Madrid, está especializado en puentes y en estructuras de edificios singulares, es un notable escritor en prosa, es un poeta cósmico elevadísimo, y es Director de MC- 2 Estudio de Ingeniería, S.L. Nació en Valencia en 1938.

Desde el punto de vista creativo creo que Martínez Calzón, que es muchas cosas a la vez, no podría haber sido un pintor. Y les voy a decir por qué. Los pintores hacen Exposiciones en las que cuelgan veinticinco o treinta cuadros que normalmente forman conjuntos uniformados por un hallazgo expresivo, por unas tonalidades, por unas calidades, por un trazo, en fin, que constituye un universo pictórico sui generis que no se puede quemar en dos o tres cuadros venales. Sería inhumanidad y hasta despilfarro exigir a un pintor que creara un estilo en cada cuadro.

Perdónenme esta digresión, porque me parece del todo ilustrativa para explicarles a Vds. quién es el ingeniero Martínez Calzón. El no podría haber sido un pintor porque es absolutamente incapaz de hacer una serie, de repetirse. Oigan

sus palabras en la introducción a su obra Puentes, Estructuras, Actitudes : "Podría decir que en mi trayectoria profesional, el innovar y el buscar cada día nuevos ámbitos de investigación del quehacer técnico y artístico de las estructuras ha sido el verdadero leitmotiv de mi trabajo. Nunca he repetido obras; y aunque hubiera podido hacerlo, cada peldaño que avanzaba me inducía constantemente a intentarlo con otro que consideraba más elevado, incluso si más adelante pudiera no resultar así. Percibo que cada tipología, cada procedimiento, cada forma debe ser tensionada dialécticamente para alcanzar, si es posible, en cada caso una solución más idónea y apropiada a sus aspectos particulares".

Creo que este aparente desasosiego creativo no es meramente temperamental sino que responde a unos imperativos que sería fácil calificar de mediterráneos, dado que nuestro hombre es valenciano, y nunca pierde de vista la antigüedad grecolatina. Me encanta que a veces usa el adjetivo vitrubiano. Pero en todo caso su mediterraneidad no es la de las barcas de Sorolla o las impregnantes descripciones de Gabriel Miró. Yo creo que en Valencia hay una punta racial nórdica y que Martínez Calzón pertenece a ella.

En efecto, los poemas que publica en la parte tercera de su mencionado libro, la titulada Actitudes, muestran una

inquietud holística que se evidencia en unas primeras composiciones que comienzan con el mismo verso todas ellas: En la silente hora del brezo. Y se trata de un canto a la creación, con alusiones al Big Bang, al espacio-tiempo, a la materia transparente, a la galaxia, etc. Martínez Calzón se ve a sí mismo siempre sumergido en el Cosmos. Es como el boticario alemán que, según Ortega y Gasset, es incapaz de machacar unas hierbas en el almirez sin considerar previamente lo que tal acto supone en el vasto complejo del Universo. Dentro de esa actitud holística entra también el repaso que da a los filósofos clásicos grecolatinos desde Tales y Anaximandro hasta Plotino y los neoplatónicos. “No puedo dejar de señalar – dice en el mismo texto – que todo cuanto haya podido pensar/hacer ha estado siempre íntimamente ligado a una concepción holística y poética del mundo total en el que nos movemos y que nos transforma y encanta” Poco después afirma que “La ingeniería civil es una atalaya privilegiada sobre el universo” y no muy lejos añade: “Así pues, la ingeniería civil permite atisbar perfectamente la materia”.

Creo que son estas unas palabras-clave para entender la formidable sucesión de obras bellísimas y siempre nuevas y originales en la ejecutoria de Martínez Calzón. El comparece siempre ante el Universo, desde la atalaya privilegiada de la ingeniería civil, y el sujeto frente al que actúa es la materia. Me parece que su imperativo de belleza tiene mucho que ver con la moral y hasta con la religión. En otras palabras, cuando pone un cartucho de dinamita en la roca donde deberá acordarse un puente, seguro que siente como un pecado contra el paisaje y jura ante la materia que ha profanado que al final todo será más bello. Digo religión, pero quiero decir “alguna

religión”, aunque no he llegado a saber cuál. En el poema a la muerte de su madre habla de una oración profana, aunque con una estremecida vivencia del misterio. Siempre el misterio es la antesala de la religión. Y el mencionado poema cósmico se subtitula “Canto a la creación”. Parece comprometida la expresión “creación” para designar al Universo.

Lamento no poder mostrar las imágenes de los 14 puentes en que ha intervenido Martínez Calzón: 11 de estructura mixta y 3 atirantados. El primero de ellos, cronológicamente, fue el de la calle Juan Bravo de Madrid, el de la Sirena Varada, que en cierto modo marcó para el futuro toda su ejecutoria. Sin llegar a repetirse nunca, pero desde el puente de Juan Bravo ya sabemos que usará un tablero estructural de acero corten resistente a la corrosión, cargas y torsiones transmitidos por vigas cajón también de acero corten, sostenido todo ello por pilas de fuste conceptualmente dórico y capiteles abiertos. Técnica, cultura y belleza siempre mancomunadas en sus obras.

El puente de Juan Bravo lo tienen ahí cerca y podrán contemplarlo con una nueva óptica, pero yo siento no poder proyectarles en pantalla las imágenes de otros puentes de vuelo audaz y belleza inenarrable como el puente de Tortosa sobre el Ebro. O el muy cosmopolita del Centenario, en Sevilla, con sus tirantes de cable. O los de la variante norte a Huelva sostenidos en columnas dóricas que parecen llevar al Partenón. O el puente de Contreras en lucha con un paisaje agreste. O el puente levadizo en la dársena de Valencia. O el nuevo puente sobre el Urumea en San Sebastián. O el largo vuelo del de Miraflores, sobre el Guadalquivir de Córdoba... No todo queda en España. Está el de New Brunswick en Canadá o los dos de

Montevideo en Uruguay. A mí me llaman la atención especialmente los 23 proyectos todavía no construidos que son de una audacia y riqueza de componentes llamativa. Alguno de ellos son para Paraguay, Venecia, Panamá y Turín.

En cuanto a estructuras mencionemos al menos el Palau Sant Jordi de Barcelona, en colaboración con el arquitecto Arata Isozaki; el Palacio de Congresos de Salamanca con Navarro Baldeweg de arquitecto; la Torre de Collserola en Barcelona con Norman Foster de arquitecto; el Pabellón Multiuso Arena de la Casa de Campo de Madrid; el edificio de Banca Catalana en Barcelo-

Julio Martínez Calzón.



Alfredo García Aránguez,
Consejero - Director General
de ELCOGAS.

na (hoy Planeta) con Fargas y Tous de arquitectos, verdadero jardín colgante; la Sala Villanueva del Museo del Prado, con J.M.García de Paredes; el World Trade Center de Barcelona, con los arquitectos Pei, Cobb, Freed y compañía; los Teatros del Canal, de Madrid, con Navarro Baldeweg; el edificio singular Torre Mare Nostrum, de Barcelona, con Enric Miralles y Benedetta Tagliabue; el edificio Torre Espacio, el más alto de Madrid otra vez con Pei, Cobb, Freed y compañía; el Palauet de Palafolls, de Barcelona, otra vez con Arata Isozaki; el Auditorio Nacional de Música de Madrid, otra vez con J.M.García de Paredes; el Pabellón de Japón en la Expo/Sevilla con Tadao Ando; el Museo del Hombre de La Coruña, de nuevo con Arata Isozaki; el edificio Torre Sacyr-Vallermoso...

Martínez Calzón ha sido premiado no sé si con la esplendidez que se merece. A mi juicio son importantes el Premio Internacional "Torre de Collserola" y la medalla al mérito profesional concedida por el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Construmat, de Barcelona le ha premiado en cuatro ocasiones. Y tiene invitaciones a Jornadas y Conferencias Internacionales francamente importantes. Los jóvenes de ahora de los hombres como Martínez Calzón dicen "es un sobrado". En efecto es un sobrado "plural", porque como escritor resulta pasmoso.

Jesús Martín Tejedor

Placa de Honor 2009 concedida a ELCOGAS

Elcogas es una empresa de Puertollano, que se constituyó en 1992, para construir, explotar y comercializar una central térmica dedicada a la producción de energía eléctrica mediante la gasificación de carbón y otros combustibles alternativos. Su idea era radicalmente ecológica: producir energía eléctrica a partir de la combustión limpia de carbones de baja calidad y residuos de refinería.

Elcogas nació con los mejores auspicios de la Administración nacional y fue incluida en el ESEMA (Estrategia Energética



y Medioambiental) y en el PEN (Plan Energético Nacional 1991-2000). Y tuvo también la bendición de Europa toda vez que fue incluida en el Programa Joule-Thermie (1994-1998), dentro del IV Programa Marco de Investigación y Desarrollo.

El accionariado fundacional de Elcogas nos muestra un respaldo español y europeo que hacen de la empresa un paradigma iluminador de lo que ha empezado a ser el mundo empresarial español en el contexto de la Unión Europea. En efecto, ENDESA poseía el 40% de las acciones; Électricité de France, 31,4 %; Iberdrola, 12%; Energías de Portugal, 8,6%; ENEL, 4,3 %. Tenían también participaciones menores Siemens, Bobcock and Wilcox, y Krupp.

Todo hacía suponer que la aparición de Elcogas iba a trascender de manera muy principal en el panorama industrial europeo. La Comisión Europea y Elcogas firmaron en 1992 un acuerdo para que la actividad de Elcogas tuviera el carácter de Proyecto de Demostración Europeo o "Proyecto Objetivo" del Programa Thermie. Es obvio que este carácter de Proyecto de Demostración sugería la voluntad de extender esta clase de centrales de Ciclo Combinado por otras áreas del territorio nacional y europeo. En España se transformó en Central de Ciclo Combinado la antigua instalación de Escatrón, en la provincia de Zaragoza.

Me parece que las expectativas de Elcogas se vieron seriamente afectadas por la aparición de un fenómeno ajeno e importante como fue la reestructuración del sector gasístico español con la fundación de la empresa Gas Natural, mediante la unión de Catalana de Gas, Gas Madrid, Repsol y

Enagas. Esto fue el año 1991, pero en 1996 había entrado ya en funcionamiento el gasoducto Magreb-Europa. ¿Detuvo todo esto la proyección de Elcogas tal y como se había previsto y anunciado? No nos extrañaría que así fuera, pero en lo que no nos cabe la menor duda es que en la actualidad la empresa Elcogas vuelve a ser un punto de referencia interesante y rico para el mundo de la I+D españolas, hasta el extremo de que yo mismo, en nombre de la Asociación Española de Científicos, cuando comuniqué la atribución de nuestra Placa de Honor a la empresa escribía sin el menor empacho que tal distinción era “por constituir un ejemplo perfecto de lo que debe ser el mundo de la Investigación y Desarrollo en España muy acorde en la actualidad con las especificaciones que parece avanzar el borrador de la nueva Ley de la Ciencia”.

Voy a concretar de manera más detallada en qué está la concordancia con la nueva Ley de la Ciencia.

El borrador de la nueva Ley de la Ciencia es una enumeración y descripción de las muy diversas formas con que la investigación pública y las empresas productivas pueden trabarse en una fecunda unión operativa. Se trata de fomentar esta unión, de que la creatividad del científico abra caminos al empresario para la producción de nuevos bienes que aumenten la competitividad de nuestra industria y la calidad de nuestro bienestar. Pues bien, Elcogas que sigue en la brecha de la investigación, se ha propuesto crear una planta piloto para la producción de hidrógeno que sirva como combustible líquido y para capturar dióxido de carbono, el famoso CO₂ a partir del dos por ciento del gas de síntesis producido en el gasificador de la planta de Gasificación Integrada en Ciclo Combinado. Pues bien, en este proyecto interviene la Universidad de Castilla-La Mancha con verdadera profusión. Ingeniería Química hará ensayos de laboratorio para reunir información en el proceso de producción de hidrógeno. El área de Química Física está haciendo una analítica de los gases de la planta. Y el área de Máquinas y Motores Térmicos está explorando el uso de gases ricos en hidrógeno como combustible.

Las actividades futuras de esta planta que podrían formularse como “Tecnologías avanzadas de conversión, captura y almacenamiento de CO₂” se intercambian con otros proyectos parecidos que llevan adelante en el Instituto del Carbón de Oviedo, perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas, y en el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas en el que se ha convertido la antigua Junta de Energía Nuclear.

Almacenar CO₂ ya habrán comprendido Vds. que es impedir que pase a la atmósfera, y producir hidrógeno es aumentar nuestras fuentes de energía.

En este proyecto, cuya terminación estaba prevista para mediados de 2009, (por cierto, sería interesante que la representación de Elcogas aquí presente nos informara de cómo va) se van a invertir 9,5 millones de euros y se espera que Puertollano

se ponga a la cabeza de esta tecnología en Europa. Se prevé que en 2020 haya en Europa 12 plantas dedicadas a la captura de CO₂ y a una reducción de gases de efecto invernadero.

Obviamente, esta proliferación de instalaciones deberá producir retornos crematísticos a nuestra empresa de Puertollano. Y ya se está suscitando el interés de empresas como la alemana UHDE, propietaria de una patente de gasificación, que ha firmado un convenio de colaboración con Elcogas. Como dice Karsten Radtke, directivo de la mencionada empresa alemana: “la gasificación de carbón, coque y biomasa adquiere cada vez mayor significación a nivel mundial. El acuerdo de colaboración con Elcogas concede una enorme plataforma de conocimiento para ambas empresas”.

Esperemos que se cumplan todas las previsiones. Mientras tanto la Asociación Española de Científicos seguirá con interés y aliento todos los progresos de Elcogas.

Jesús Martín Tejedor

Placa de Honor 2009 concedida a Juan Carbonell Gisbert

Juan Carbonell Gisbert es un investigador de Fisiología vegetal, con categoría de Profesor de Investigación, que pertenece al Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, y es también profesor de la Universidad Politécnica de Valencia.

Nació en Alicante en 1946. Estudió Ciencias Químicas en la Universidad de Valencia, con premio extraordinario de Licenciatura en 1968. En 1973 obtuvo el Doctorado en la Autónoma de Madrid.

El año 1981 y parte del 1982 lo pasó en la Universidad de Berkeley investigando sobre la acción de las giberelinas en la capa de aleurona. En 1985 y 1989 volvió a estar dos meses en Berkeley estudiando la construcción de genotecas. Y tres meses del año 1999 los pasó en el Salk Institute de La Jolla, en California.

Para los que hemos sido malos estudiantes, el curriculum de Carbonell es francamente repugnante. Vean, vean Vds. lo que ha hecho la criatura a lo largo de su vida:

Proyectos de investigación: ha trabajado en 21 proyectos, pero de esos 21 proyectos en nada menos que 17 ha sido investigador principal o coordinador. Alguno de estos proyectos ha durado cinco años. Me refiero al titulado “Senescencia de órganos vegetativos y reproductivos de plantas superiores” que realizó entre 1988 y 1993. En general, a partir de 1993 la duración de sus proyectos es de tres años, como ha solido ser norma común. Significa esto que



Juan Carbonell Gisbert.

buena medida, los mismos que figuran como coautores de los *papers* de Carbonell. No se trataba en cada caso de una mera dirección de tesis, sino de una incorporación a una escuela de Fisiología vegetal que ha surgido en torno a Carbonell y que él ha cultivado con mimo.

Como tiene 64 años le quedan todavía seis para redondear un poquito este curriculum. Sin contar con que a los 70 años le nombrarán Doctor vinculado, situación en la que estará activo hasta los 80. ¿Y cuándo va a descansar un poco este hombre? dirán Vds. Y yo les digo que nunca. Porque me ha dicho que se lo pasa pipa con estas cositas de la Fisiología

no raras veces en un mismo año ha llevado dos y hasta tres proyectos, como sucedió en 1988.

Publicaciones científico-técnicas: como pueden sabiamente suponer no le ha podido quedar mucho tiempo para publicar, pero, por lo visto, quizá a ratos perdidos, algo ha hecho también en este terreno la criatura.

Nada menos que 52 *papers* registrados en el *Citation Index*, todos ellos con un número de citas francamente respetable (llega a 97 en algún caso). ¡Atención! En esto de los *papers* hay que leer con cuidado los autores, porque al ser trabajo de equipo figuran varios nombres con autoría muy desigual. Hay que fijarse o en el primero o en el último nombre, porque entremedio puede figurar hasta el que traía los cafés. Pues bien, Juan Carbonell es el primero o el último de 32 *papers*.

Tiene dos *papers* en el Conference Proceedings *Citation Index-Science*, y uno de ellos como autor principal. Tiene además cinco *papers* más no recogidos en el *Citation Index*.

Es autor de un capítulo en cuatro libros. Y ha escrito tres artículos de divulgación científica.

Congresos: ha participado en la organización de 15 congresos científicos, pero ha impartido además 17 ponencias o conferencias plenarias. Ha tenido 7 comunicaciones orales en conferencias internacionales o reuniones de sociedades científicas.

Tesis doctorales: ha dirigido 12 tesis doctorales, pero debo advertir que los nombres de los doctorandos son, en

vegetal..., y encima le damos un sueldo.

En realidad ha llegado a ser el patriarca de la Fisiología vegetal, al punto de que la propia definición más usual y convincente de esta materia es la que propone el mismo Carbonell: "La fisiología vegetal trata de responder a la pregunta de cómo funcionan los organismos vegetales en su conjunto, y también de cómo funcionan los órganos, tejidos, células, orgánulos, genes y moléculas que constituyen los vegetales, tanto aislados como en interacción con su entorno natural". O sea, por si no lo han seguido bien, la fisiología vegetal es en definitiva el intento por saber qué diablos es un vegetal.

No se crean que el asunto es una fruslería respecto a lo que cada uno de nosotros debemos pensar sobre nuestro "estar en el mundo". No hace mucho tiempo ignorábamos qué eran los animales. El médico de Medina del Campo, Gómez Pereira escribía, todavía en 1554, su obra *Antoniana Margarita* donde negaba que los animales fueran capaces de tener sensaciones, porque si fuera así habría que concederles un alma indivisible y separable igual que la del hombre. Según Gómez Pereira los animales se mueven por unas simpatías difusas y automáticas de las cosas, algo parecido a la relación de un imán con un trozo de hierro. Fue en 1797 cuando la Universidad de Quito sentenció que *bruta animantia non sunt machinae, sed praedita sunt anima sensitiva*. Cuando yo estudié Filosofía escolástica todavía había una tesis que rezaba *bruta non sunt mere automata*. ¡Como para ir con estas ideas al Centro de Primates de Atlanta, donde un chimpancé aprende a gobernar un cohete espacial, o donde todos hablan profusamente con lenguaje humano usando las manos a la manera de los sordomu-

**Julio César Javier
Tello Marquina.**

dos, o donde los chimpancés jóvenes, en connivencia con las chimpancesas, hacen un teatro formidable para que el viejo jefe del harén no se entere de que le están poniendo los cuernos.

La Fisiología vegetal, con el formidable desarrollo que ha tenido en el siglo XX, nos ha descubierto los aspectos dramáticos de la vida vegetal. Los trabajos sobre la senescencia de las plantas que Carbonell hizo entre 1988 y 1993 parecen acercar el sino de las plantas al de la propia vida humana. Cuando al pistilo de una flor le falta determinarse por llegar a ser fruto, busca las hormonas que son las que deciden. El pistilo alberga los óvulos, el polen poliniza el pistilo y luego las células germinativas del polen se unen con las células germinativas de los óvulos del pistilo. Pero existen las proteasas que son enzimas que digieren las proteínas y se destruye el pistilo. De manera que una planta está siempre ante la disyuntiva de engendrar o morir. Pero el hombre acechante ha descubierto que agregando hormonas vegetales pueden hacerse frutos sin semillas. Éstas son las cosas con las que disfruta Carbonell y con las que se gana un sueldo más que merecido.

Jesús Martín Tejedor

**Placa de Honor 2009 concedida
a Julio César Javier Tello Marquina**

Estoy seguro de que muchos de Vds. saben ya que la provincia de Almería era en 1970 la segunda más pobre de España en *renta per capita*. Hacía el puesto 51 en la lista de 52 provincias españolas. También son muchos sin duda los que saben que en el año 2.000 Almería había pasado a ser en términos de *renta per capita* la sexta provincia de España. Había dejado de ser una provincia cuyos habitantes no tenían otro horizonte que la emigración a Alemania o a zonas industrializadas de nuestro país. De 6.000 hectáreas cultivadas que tenía en 1978 ha pasado a cultivar 30.000 hectáreas.

Yo creo que todo esto lo saben Vds. con mayor o menor detalle. El mar de plástico que ha surgido en Almería es una



estampa muy conocida. Pero ¿sabían Vds. que en Almería se ha inventado un nuevo modelo de agricultura que tiene trascendencia mundial? ¿Un nuevo modelo de agricultura que convierte a Almería en la Roma de la tecnología agraria a la que peregrinan los expertos en cultivos del mundo entero? ¿Saben Vds. que la tecnología agraria almeriense, basada en la creación de millones de insectos –que dan buena cuenta de los organismos patógenos de las plantas– es la culminación de una serie de intentos que comenzó con la publicación, en 1840, de la *Química agrícola* de Justus von Liebig? ¿Saben Vds. que el principal protagonista de este fenómeno mundial se llama Julio César Javier Tello Marquina y está ahí sentado con Vds.? A propósito de la *Química agrícola* de Liebig digamos que, si hubiera que sintetizar la obra de Tello en dos palabras, podríamos decir que gracias a él la ciencia agronómica ha pasado de ser un asunto de Química a un asunto de Biología. Aunque a él le gusta más decir que se ha pasado de una mala agricultura a una buena agricultura.

Todo esto ha pasado en España, sin que nos enteremos, y uno piensa en la más sabia y concisa definición que hizo de nuestra patria el gran pensador Antonio Fraguas *Forges* cuando exclamó entre admiraciones ¡¡¡País!!!

Javier Tello nació en Priego de Cuenca en 1947. O sea a los siete años de que en España y en el mundo se generalizara el Dicloro Difenil Tricloroetano, más conocido como DDT. En 1973, en la Politécnica de Madrid terminó su carrera de ingeniero agrónomo D. Javier. Y justo en los años 70 se empezó a saber que el uso masivo del DDT en la agricultura había invadido el forraje de las vacas, había pasado a las crías, y

más tarde a la cadena alimentaria humana transmitiendo a la descendencia residuos de sustancias químicas nocivas para la salud. También en 1970, tres años antes de terminar Tello su carrera, se concedió con gran aparato y grandísima celebración el premio Nóbel de la Paz a Norman Borlaug, inventor de la llamada “Revolución verde” que había tenido efectos espectaculares en la producción de trigo mejicano. Borlaug supuso el triunfo definitivo de la Química ya que sus abonos de síntesis eran subproductos de la industria química. Con estos éxitos de Borlaug y de sus subproductos químicos nada tiene de extraño que el mundo agronómico español recibiera la directiva política de aumentar las 1500 calorías por persona y día que entonces se producían. Ni la calidad del producto agrario, ni las repercusiones en el medio ambiente parecían preocupar con tal de aumentar la producción alimentaria.

Estas cosas las ha contado el propio Tello en una reciente entrevista en Uruguay y me dan pie para pensar que fueron causa coadyuvante del enfoque investigador que dio a su actividad profesional. En 1973 ingresó como contratado en el INIA de Tenerife, o sea en un centro del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Sus estudios se dedicaron a las enfermedades de las plantas. En 1975 ascendió a funcionario. En ese mismo año se trasladó a Dijon de Borgoña para estudiar en el INIA francés la biología en suelos agrícolas y más en concreto los hongos fitopatógenos. En 1976 pasó al INIA de Valencia y siguió estudiando el control de las enfermedades de plantas. Durante los tres años siguientes tuvo estancias de tres o cuatro meses en Dijon, pero después de la tercera estancia en la capital de Borgoña se incorporó al INIA de Madrid. Desde Madrid estudió las enfermedades de Levante y Murcia.

Tuvo un momento de aprecio de la “Revolución verde” de Borlaug, hasta que se conocieron sus lamentables efectos sobre el propio suelo mejicano. A partir de ese momento sólo pensó Tello en la creación de una verdaderamente “nueva” agricultura –había habido ya varias consagraciones de “nuevas agriculturas”– una agricultura sana para el hombre y no lesiva para el medio ambiente.

En 1992 fue llamado a Madrid, al Instituto Nacional de Semillas y Plantas de Vivero para encargarse de los servicios de sanidad. Y en ese mismo año se firmó el Protocolo de Montreal para ir preparando el abandono del bromuro de metilo que tanto ha dañado a la capa de ozono. El fue designado consultor de Naciones Unidas para la vigilancia del uso del bromuro que comenzó en 1995. Este cargo le ha dado una gran resonancia internacional.

Pero lo más importante de su aportación a una agricultura verdaderamente nueva fue su comienzo en 1985 de sus investigaciones con los insectos que duraron de 18 a 20 años. Los resultados fueron siempre alentadores. En el año 2005 hicieron experiencias en diversas fincas totalizando 400 hectáreas de investigación; y al terminar el año se actuaba ya

sobre 11.500 hectáreas resultantes del éxito obtenido con los insectos.

Un año antes, en 2004, los consorcios compradores alemanes amenazaron con suspender sus pedidos, si no se garantizaba que los químicos habían sido definitivamente proscritos. Fue una amenaza fecunda que marcaba con toda firmeza los derroteros por donde deberían navegar ya para siempre. Tello, con otros tres investigadores y con cuatro empresarios fundaron la empresa *Mip System Agro S.L.* a la que dedicaremos el próximo discurso, porque también ella recibe nuestra placa de Honor.

Javier Tello, de verdad, nos enorgullece conocerle y le agradecemos todo lo que ha hecho por nosotros.

Jesús Martín Tejedor

Placa de Honor 2009 concedida a MIP SYSTEM AGRO

Quiero comenzar esta presentación con una mención llena de reconocimiento a la actual Ministra de Ciencia, Doña Cristina Garmendia, por los nuevos horizontes que ha abierto, y piensa ampliar y solidar con la nueva Ley de la Ciencia. Me refiero al fomento de la cooperación entre Universidades y OPIS por un lado, y las empresas con iniciativas tecnológicas por otro lado. Creo que puedo hacerlo con todo amor a la verdad y sin temor a parecer tendencioso, porque los que me conocen y me leen saben que no me ha temblado nunca la mano a la hora de reprobear la política científica socialista.

La cooperación entre el mundo de la Ciencia y el mundo empresarial es una necesidad vital de la que lisa y llanamente depende nuestra prosperidad como pueblo. Y no es asunto fácil, entre otras razones porque nunca se ha hecho en términos apreciables; porque el mundo empresarial es fiel reflejo en esto de la sociedad española, cuya falta de cultura científica ha empezado a ser de sobra comentada; y porque el tempo laboral de la Administración a la que pertenecen los científicos públicos difícilmente se cohonestan con la urgencia y la prisa del mundo empresarial.

Debo confesar que lo que más me gusta de la empresa MIP SYSTEM AGRO es verificar que constituye un preciadísimo ejemplo de colaboración entre la Universidad de Almería y una empresa privada. Hablo de colaboración funcional y real como es la cesión de los Laboratorios del Departamento de Producción Vegetal de la Universidad de Almería o las instalaciones de la finca experimental UAL-Anecoop, también de la Universidad de Almería para la experimentación que la empresa MIP SYSTEM AGRO tenía que hacer con colonias de abejorros.



Manuel Pérez Cano, Director Gerente de Mip System Agro.

Este último el *Lisiphlebus testaceipes* han sido ellos los primeros en producirlo y comercializarlo en España. En general, el uso de esta tecnología en el cultivo intensivo de hortalizas comenzó en Holanda en los años 80, pero ha sido en Almería y a partir de 2007 cuando el método del control biológico se ha desarrollado hasta llegar a las 10.000 hectáreas de invernadero.

Han hecho un gran esfuerzo para la producción de abejorros útiles para la polinización. Son éstos insectos muy complejos en sus requerimientos térmicos, y sus resultados son desiguales.

La constitución de la empresa MIP SYSTEM AGRO se hizo en junio del 2006. Ya he hablado, en la presentación de Julio César Javier Tello Marquina, de que fue en el 2004 cuando se produjo la exigencia alemana de que desaparecieran por completo los subproductos químicos. No llegó ni a dos años después de la advertencia alemana cuando el grupo de colaboradores y de interesados en los trabajos de Tello se habían lanzado al difícil mundo de la empresa.

La empresa tiene un director gerente que es ingeniero agrónomo Manuel Pérez Cano. El director técnico es el doctor ingeniero agrónomo Miguel de Cara García. Participan en el accionariado las empresas Méndez García e Hijos, Agrícola Pinar, S.L., Iberfol, S.L., y los investigadores Javier Tello Marquina, Francisco Camacho Ferre y Fernando Diáñez Martínez. Miguel Egea Guirao es el experto en manejar abejas y abejorros y responsable de su producción.

Tienen ya 25 trabajadores, de los cuales 6 tienen titulación universitaria.

En el último trimestre de 2007 MIP SYSTEM AGRO inició la producción de abejorros a nivel comercial. Fue el impulso de arranque de la empresa, pero en 2008 ya habían comenzado a producir 5 especies de insectos para control biológico:

- el *Eretmocerus mundus*
- la *Encarsia formosa*
- el *Nesidiocoris tenuis*
- el *Aphidius Coleman* y
- el *Lisiphlebus testaceipes*

Ha habido éxitos espectaculares como en el cultivo del pimiento, pero hay problemas todavía en los cultivos de tomate y en las cucurbitáceas de invernadero (melones, sandías, pepinos, calabacines) donde las plagas de pulgón a veces causan daños totales. Y es que la capacidad multiplicativa del pulgón es superior a la de sus parasitoides y depredadores y es necesario buscarles unos enemigos más rápidos en achaque de procreación.

Al llegar a este punto en la narración de las guerras agrarias biológicas –y quiero divertir un poco al auditorio– se me hace imposible no recordar al gran especialista en guerras surrealistas, Miguel Gila, y pienso en las cosas que diría con su famoso teléfono a los enemigos de los pulgones que tardan más que éstos en tener familia: “machos! que esto no es sólo la guerra, que es también como el Oeste, y en el Oeste ganan los que sacan antes”

La proyección internacional de MIP SYSTEM AGRO no afecta sólo a lo comercial. Venden sus productos a Italia, Portugal, Marruecos, pero están en tratos con todos los países del Mediterráneo, teniendo un interés especial en Turquía donde se espera tener pronto un importante comprador.

Digo que no afecta sólo en lo comercial, porque también colabora científicamente con Alemania. Tanto MIP SYSTEM AGRO como la propia Universidad de Almería.

Jesús Martín Tejedor

Convenio con la Asociación de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos



A la izquierda Jesús Martín Tejedor, presidente de la AEC, a la derecha Leonardo Torres Quevedo, presidente de la Asociación de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

El día 21 de noviembre pasado, en el acto de entrega de las Placas de Honor de esta Asociación Española de Científicos, se firmó un convenio de mutua ayuda y cooperación con la Asociación de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos que en la actualidad preside don Leonardo Torres Quevedo, nieto del afamado tecnólogo del mismo nombre, cuya memoria, en la historia de España, actualiza el frontispicio del gran Centro de Tecnología que el Consejo Superior de Investigaciones Científicas tiene en la calle de Serrano.

Entre las obras de Ingeniería punteras proyectadas o construidas por empresas españolas en los últimos años cabría destacar:

Túneles de Pajares y de Guadarrama. En el desarrollo de las líneas de Alta Velocidad en España y debido a nuestra especial orografía destacan los túneles de Pajares y Guadarrama. Los túneles de Pajares están formados por dos túneles de 25 km de longitud cada uno y 8,5 m de diámetro, (una para cada sentido de la circulación) y son los sextos más largos de Europa y los séptimos del mundo. Los túneles de Guadarrama son los primeros y únicos túneles para alta velocidad construidos sin ataques intermedios. El conjunto es el cuarto más largo de Europa y el quinto del mundo. Su longitud es de 28,4 km y su diámetro de 8,5 m.

Puente del Tercer Milenio (Zaragoza). Obra del Ingeniero de Caminos Juan José Arenas que constituye el último ejemplo en puentes arco de tablero inferior con unas proporciones de 216 m de luz para un tablero de 44 m de ancho. El arco de hormigón blanco y 75MPa supone un reto en este tipo de estructuras.

Ampliación del Puerto de La Coruña/Gijón. La ampliación exterior del Puerto de La Coruña en Punta Langosteira ha supuesto un

reto tanto en su proyecto como en su ejecución debido a que su ubicación está en "mar abierto" es decir si ningún tipo de abrigo y de cara al Océano Atlántico. El Dique de abrigo, de 3,35 km de longitud y 40 m de profundidad máxima, se ha diseñado con una altura de ola significativa de 15 m, lo que corresponde a una ola máxima de 23 m de altura. La altura de coronación está situada a 25 m sobre el nivel del mar, es decir una altura total de 65 m. Los bloques en el dique de abrigo serán de 150 t y para su manipulación se ha fabricado la mayor grúa sobre orugas del mundo, capaz de colocar los bloques a 100 m de distancia. Será la obra con mayor hormigón sumergido del mundo a excepción de la presa de las Tres Gargantas. La ampliación del Puerto de Gijón, de similares características pero esta vez de cara al Mar Cantábrico tienen a su vez un Dique de abrigo de 3,8 km para lo cual se requieren bloques de 200 t.

Hace tres años la AEC dio su placa de honor a don Manuel Moreno Cervera, ingeniero responsable de los dos túneles de Guadarrama, obra que por tamaño y complejidad había adquirido notoriedad mundial. En la última convocatoria volvimos a distinguir a otro ingeniero, D. Julio Martínez Calzón, por su largo historial como autor de puentes de gran audacia constructiva y de singular belleza. Nos dimos cuenta de la prestancia mundial que nuestros ingenieros vienen teniendo en el diseño de proyectos y en la ejecución de obra civil, y de que sería completamente de acuerdo con los fines de nuestra Asociación dedicar un esfuerzo especial a la tarea de divulgar la noticia de estas importantes aportaciones. Los ingenieros, como los buenos castellanos, son "largos en facellas" y nos parece patriótico y movilizador que otros seamos "largos en contallas". La Asociación de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos nos ha mostrado su agradecimiento y ha tenido interés en rubricar un convenio de mutua ayuda y cooperación con nosotros que encauce las voluntades felizmente expresadas hasta el presente.



Deje que su trabajo fluya

El Sistema Milli-Q® Integral pone en su mano agua purificada y ultrapura.

- El concepto POD (punto de suministro) dual ahorra espacio convenientemente.
- Reduce gastos de mantenimiento y de agua gracias a la exclusiva tecnología Elix®.
- Una completa gama de sistemas que cubren todas las necesidades en agua de su laboratorio.
- Un control total sobre la calidad y cantidad de agua en el punto de suministro.
- Respaldo por el Servicio Técnico de Millipore en el que usted confía.



ADVANCING LIFE SCIENCE TOGETHER®
Research. Development. Production.

más información | www.millipore.com/ultrapureac