

## EDITORIAL

La ciencia y la tecnología se han mostrado, desde hace varias décadas, como un menester difícil de organizar. Rara vez, o quizá nunca, los resultados responden en toda su cuantía a los fines propuestos por los politólogos de la ciencia. Y no raras veces los mejores acontecimientos suceden de manera imprevista, con más gloria para el sabio de turno que para los organizadores de la cosa. Esta frustración convierte a los políticos de todos los signos en perpetuos buscadores de la piedra filosofal, es decir, de una definitiva y provechosa sistematización de la I+D. Ciclos de conferencias, mesas redondas, semanas de estudio y demás géneros de ayuntamiento intelectual se han venido produciendo y se siguen produciendo con profusión, antes y después de la Ley de la Ciencia de 1986.

En torno al menester científico se ha querido hacer un sistema nítido, unitario, jerarquizado, escolástico. Especialmente desde que hacia 1978 entraron en España las preocupaciones de la Agencia Europea de la Energía, de los Freeman, Gerritsen, etc., que terminarían por la formulación del Manual de Frascati. La Ley de la Ciencia socialista (1986) y la Ley alternativa que defendió en las Cortes el PP son la expresión más significativa de este deseo y de esta mentalidad.

La pretensión de regular el menester científico mediante un sistema nítido, unitario, jerarquizado y escolástico era más posible en una época en que los actores y realizadores de la política científica eran: el Gobierno, los profesores de Universidad y los investigadores públicos. Los empresarios no contaban gran cosa, como no fuese por el imperativo cuasi ético con que se encarecía al científico la importancia de colaborar con las empresas. Y los Gobiernos de las Autonomías no parecían competentes respecto a la mayoría de las ciencias, es decir, las que por tratar de objetos universales deberían desarrollarse

en un ámbito nacional y como fruto del esfuerzo de todos. En una palabra: la organización de la ciencia se limitaba al ámbito de las Universidades y del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, porque los OPIS, como órganos facultativos de los diversos Ministerios, procuraban cuidar de sí al amparo de su Departamento. Fue bastante hacedero y nítido, en la ley de 1986, construir un gran monumento legal, administrativo y funcional con base en un solo Ministerio, el de Educación.

Pero el multiforme curso de los acontecimientos está enriqueciendo y complicando la percepción del fenómeno científico en grado no fácil de prever para el futuro. La relación entre la investigación científico-tecnológica y la competitividad económica de los diversos países se ha ido estrechando en grado tal que hablar de la I+D+I de una nación desarrollada es lisa y llanamente hablar de su economía. Y esto incluso referido a su agricultura. Las cumbres de Lisboa y Barcelona han definido como el nuevo motor de la economía la generación de conocimiento.

Antes podía hablarse de una ciencia básica puramente académica, caprichosa y hasta lúdica; podía hablarse de una ciencia básica vigente y actualizada, es decir, inserta en los temas que la comunidad científica consideraba relevantes; podía hablarse de una ciencia básica programada por la política gubernamental y era la que se consideraba fruto de las prioridades establecidas por el Plan Nacional. Más allá estaba el campo de la ciencia aplicada, término que Pasteur corregía por el de aplicación de la ciencia. Y era una buena corrección en la medida en que el binomio conceptual (y no tan real) ciencia-tecnología podía entenderse como dos dominios excesivamente diferenciados. Ciencia y tecnología son conceptos vinculados al desarrollo y a la innovación, aunque esta última puede depender de diseños y formatos que no son fruto del laboreo científico-tecnológico.

Pues bien, hoy en día las siglas I+D+I tienen una significación económica tan predominante que los Gobiernos autonómicos –unos antes o más fuertemente que otros– se han convertido en promotores de ciencia y tecnología. Tal promoción se encauza por el mundo empresarial que ha cogido un protagonismo decisivo en la creación de ciencia. Las agrupaciones empresariales, en España pero más en Europa, se desdoblan y se interrelacionan en fecundas subfunciones (redes, nodos, etc.) y crean instrumentos de captación de recursos fuera de la competencia de los Estados a los que pertenecen. La acción empresarial no sólo trasciende las fronteras internas de un Estado, sino que salta a otros Estados y a otros continentes.

Las Universidades autonómicas obviamente entran también en esta danza. Y la figura del investigador público, cuyo arquetipo se concebía como la de un recoleto servidor en el santuario de la ciencia, es estimulada para que con el fruto de sus invenciones funde una empresa con el capital que generosamente –dicen– pondrá a su disposición el Gobierno.

Así mismo, y esto es importantísimo para nuestro propósito, el panorama de la ciencia se ha llenado de ocasionalidades y requerimientos que siendo sumamente concretos –como una gigantesca instalación o unos exquisitos utillajes– son de gran trascendencia práctica y de ellos dependen interesantes niveles de excelencia y de competencia internacional. Convendremos en que hoy en día, y cada vez más, hacer política científica se está convirtiendo en un *melting pot* bastante inextricable.

El mundo de la ciencia y de la tecnología se ha hecho sumamente concreto, contingente, creativo y... hasta olfativo, para decirlo con una aproximación a lo cinegético. Pero sigue y seguirá necesitando un importante anclaje en los recursos públicos o del Estado. Ahora bien, el Estado es la Administración, y los servidores de la Administración se dedican al monocultivo de las Leyes, de su observancia, queremos decir. Los funcionarios de Hacienda, que han sido los más molestados por las regulaciones peculiares de la investigación científica, van a sentirse mucho más descolocados y molestos tanto por la creciente mixtificación entre lo público y privado en la I+D como por los nuevos tipos de acciones complejas de difícil credibilidad.

Evidentemente no parece que este momento y el que viene sea el adecuado para el imperio de la actual Ley de la Ciencia. Así y todo, a las abogacías del Estado no les va a faltar trabajo, porque va a haber que legislar con valentía y acuidad jurídica. Por ejemplo, la Agencia de Financiación ¿no se va a plantear en serio su ubicación simultánea en el ámbito público y en el privado? Y así en otras expectativas legales.

Pero de todo lo que aquí se dice quizá la mejor consecuencia sea algo que ya está empezando a suceder. Nos referimos a la necesidad de buscar gobernantes de la ciencia y de la tecnología cuyo espíritu y cualificación sean realmente apropiados. No es nada fácil encontrarlos ni abundan tanto como para que cada partido político tenga los suyos propios y hasta sean revisables en cada campaña electoral. Quizá los Ministros de Educación y de Industria, acaso también el de Sanidad, estarán bien escogidos entre los miembros prominentes de un partido, porque los jefes de Departamento conviene que acumulen poder político, pero de ahí para abajo son necesarias personas muy profesionales, conocedoras del menester científico, despiertas para observar el movimiento de la economía, imaginativas para la captación de iniciativas, organizadoras, realistas, prácticas, y flexibles para poder cooperar con Gobiernos de diferente signo.

Este es un aspecto al que habría que referir el famoso Pacto de Estado por la Ciencia, es decir, que cada Gobierno entrante, tras unas elecciones, diera continuidad a altos cargos del Gobierno anterior o nombrara nuevos con criterios absolutamente profesionales.

Por una vez, y sin que sirva de precedente, hay que reconocer que el actual Gobierno socialista está resultando bastante ejemplar a este respecto. En el Ministerio de Educación no ha entrado arrasando, como ha solido ser lo suyo, y contamos con unos altos cargos verdaderamente luminosos, creativos, y concretos, es decir, que individuaban modestamente los problemas y los temas sin meterse a encontrar la piedra filosofal. Salvador Barberá, Carlos Alejaldre, y del anterior Gobierno Gonzalo León, con los que hemos conversado detenida y gratamente para la comprensión de su ejecutoria, nos han parecido conocedores muy serios de su menester, con un apego tan estrecho a la realidad que parece no admitir intersticios para la ideología. Parecen ya el fruto de un Pacto de Estado. ■



## En la elaboración de nuestros gases especiales hay mucho más que química

*"Estamos orgullosos de poder ofrecer a nuestros clientes los dos productos estrella del mercado de gases especiales: los gases con tecnología BIP y las mezclas acreditadas por ENAC".*

*Amparo Sirvent.*

*Responsable de Marketing de Gases Especiales.*

Producir un gas especial o una mezcla a medida de sus necesidades podría ser sólo una cuestión de química.

Para Carbueros Metálicos es mucho más:

- La fiabilidad de pertenecer a la primera multinacional del sector, Air Products.
- El reconocimiento externo de nuestra competencia técnica (certifi-

cada por ENAC para la preparación y análisis de mezclas acreditadas).

- La producción de los gases idóneos para cromatografía (gases con tecnología BIP).
- La excelencia tecnológica de nuestro laboratorio de Sant Celoni (Barcelona).

**te escuchamos**  
[www.carbueros.com](http://www.carbueros.com)

**Director:** Jesús Martín Tejedor

**Subdirector:** Juan León

**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, Alfonso Bonilla Bonilla, Luis Guasch Pereira, José María Gómez de Salazar, Marcial García Rojo.

**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](http://www.aecientificos.es)

**Correo electrónico:** [aecientificos@aecientificos.es](mailto:aecientificos@aecientificos.es)

## ÍNDICE

El documento <i>Acción Crece</i> de la COSCE (1ª parte) JESÚS MARTÍN TEJEDOR	4	La superdotación intelectual: algo más que un privilegio ÁFRICA BORGES DEL ROSAL, CARMEN HERNÁNDEZ JORGE	28
Dragados Offshore completa la primera planta de licuefacción de gas natural de Europa JEROEN POPPE	13	Terapia Celular e Ingeniería Tisular para la regeneración esquelética JOSÉ BECERRA RATIA	34
El campo magnético de Marte: implicaciones evolutivas FRANCISCO ANGUIA	17	Placas de honor	39
La economía del hidrógeno. Una visión global sobre la revolución energética del siglo XXI 2. Aplicaciones convencionales del hidrógeno y pilas de combustible G. SAN MIGUEL, J. DUFOUR*, J. A. CALLES, J. A. BOTAS	21	Noticias	45

# El documento *Acción Crece* de la COSCE\* (1ª parte)\*

**AUTOR:** JESÚS MARTÍN TEJEDOR

Es ineludible, y al mismo tiempo gozoso, ofrecer a nuestros asociados y a nuestros lectores el contenido de una publicación fundamental llamada a marcar un *antes* y un *después* en el pensamiento sobre política científica en España.

Ha aparecido en junio de 2005. Y se titula *Acción Crece* ([www.cosce.org/crece.htm](http://www.cosce.org/crece.htm)). “Crece” es el acrónimo de Comisiones de Reflexión y Estudio de la Ciencia en España. Y un subtítulo certero afina su contenido: *análisis, estudios y propuestas para un sistema nacional de ciencia y tecnología estable e independiente, comprometido socialmente, dotado de competitividad, potenciador de la I+D y motor de una economía basada en el conocimiento*.

Es tan importante este documento y tan digno de ponderación que nos resulta embarazoso y difícil dedicarle todas las loas que se merece. Nuestra Asociación Española de Científicos fue miembro primerísimo en la fundación de la COSCE (Confederación de Sociedades Científicas de España) que es la promotora de la tal publicación, y por lo tanto los panegíricos que dediquemos a este excelente documento corren el peligro de que nos hagan parecer incursos en el vicio de la vana complacencia en nosotros mismos. A decir verdad, no hemos formado parte del brillante elenco de 60 científicos que ha concebido y redactado el documento. De donde se deducen dos consecuencias: 1ª podemos alabarlos sin tasa y sin preocupación de parecer inmodestos y 2ª podemos hacer sin tacha de incongruencia algunas observaciones no precisamente críticas y sí, acaso, monitorias de los excesos y defectos a los que pueden prestarse algunas formulaciones.

Decíamos al principio que este documento está llamado a marcar un *antes* y un *después* en el pensamiento sobre política científica española, algo parecido a lo que en la OCDE supuso a su tiempo el Manual de Frascati. De hecho está teniendo ya una influencia en la esfera oficial que empieza a colmar las aspiraciones que tuvimos al plantear la existencia de una confederación de sociedades científicas que, entre otros fines, sirviera para la interlocución con el Gobierno. Nos referimos a un artículo de Salvador Barberá, que muestra explícitamente la alta estima que al brillante Secretario General de Política Científica y Tecnológica le merece el documento de COSCE. “Como verán, esta es la primera pero no la última vez que mencionaré este importante documento de referencia. Desde su independencia, la *Acción Crece* nos ha dado muchas recomendaciones iluminadoras. Desde nuestra responsabilidad, procuraremos llevar a cabo cuantas acciones recomendadas nos sea posible” (Boletín SBBM 145/ Septiembre 2005, pag.41).

El prólogo del presidente de COSCE, el catedrático Joan J. Guinovart se sitúa en la perspectiva de la conferencia de Lis-

boa: es preciso hacer de Europa la economía basada en el conocimiento más competitiva del mundo. Reconoce que en los últimos 20 años la ciencia ha dado pasos significativos en España, pero hace falta una “reconsideración profunda” del sistema y un “análisis cuidadoso de las nuevas circunstancias en que debe aplicarse cualquier reforma del mismo”. La mención de una reforma no queda en una recomendación genérica; porque todos los temas que habrán de tratarse en *Acción Crece* tendrán como corolario unas propuestas claras y comprometidas “para revitalizar, reformar y en su caso introducir cambios estructurales en nuestro sistema científico, tanto en sus aspectos fundamentales como en los relativos a su repercusión económica y social”.

Plantea Guinovart una perspectiva valiente, amplia, esperanzadora y capaz de satisfacer al más radical arbitrista en la concepción y la organización de la ciencia y la tecnología. La mención de los “últimos 20 años” parece remitirnos a la Ley de la Ciencia de 1986 y a sus frutos consiguientes, pero no hace cita alguna de dicho texto legal. Claro que se trata de “evaluar la situación de la ciencia en nuestro país desde una posición totalmente independiente”. ¿Podría desdorsarse la independencia con una mención –para bien o para mal o para las dos cosas– de la Ley de la Ciencia socialista? Quizá Guinovart ha optado por la prudencia y por la mayor universalidad, pero es este un punto sobre el que tendremos que volver, porque en los diferentes desarrollos temáticos de *Acción Crece* hay resoluciones y propuestas importantes, sustanciales a veces, mal avenidas con el espíritu y la letra de una ley cuya vigencia parece darse por descontada. Personalmente creo que en el actual partido socialista español hay suficiente libertad de espíritu respecto a la valoración de su Ley de Fomento y Coordinación de la Investigación Científica y Tecnológica de 1986, y creo también que estarían abiertos a importantes modificaciones legales. Todo el texto consta de cinco ponencias, cada una de las cuales se subtematiza en varios apartados.

(\*) La segunda parte contendrá los epígrafes 4. España en Europa y 5. Ciencia y Sociedad.

## 1ª ESTRUCTURAS E INSTRUMENTOS

## DE LA POLÍTICA CIENTÍFICA

La primera ponencia *Estructuras e instrumentos de la política científica* fue presidida por el catedrático de Economía y Empresa, de la Pompeu Fabra, Andreu Mas-Colell.

En primer lugar se plantea la financiación pública de la investigación con un balance de los últimos 25 años en los que las aportaciones de las comunidades autónomas constituyen un factor nuevo y positivo. Dando por sujeta la necesidad de que se cumpla el programa electoral socialista en lo referente al aumento del 25% se insiste en la necesidad de definir unos objetivos concretos a medio plazo “no sólo sobre la provisión de fondos, sino también sobre el diseño y tamaño del sistema de ciencia y tecnología (especialmente con el número de investigadores con el que se desea contar), lo que es de importancia capital para definir la carrera científica”. Esto es fundamental, si de verdad queremos llegar a una estructuración seria de la carrera científica, que es otro *desideratum* sobre el que insistirá el documento.

Respecto a la política de proyectos la ponencia es muy ponderativa en lo sustancial. “Gracias a esta política y a la creación de la ANEP... se ha desarrollado en España una saludable cultura de convocatorias competitivas, bien evaluadas por dicha agencia, que constituyen la fuente casi exclusiva de la financiación pública de la investigación”. Advierte no obstante que los informes de los evaluadores deberían ser mucho más específicos, detallados y constructivos. Las asignaciones de fondos deberían no ser repartos equitativos, generalizados, y por tanto mínimos sino proporcionados al tamaño, la calidad y la producción de los equipos. Debería ser posible que un investigador tuviera más de un proyecto, y que en la evaluación del proyecto contara la ejecutoria de todos los participantes. Se postula también el fomento de la financiación de *overheads* con fondos especiales, y una mayor flexibilidad de las partidas de gasto.

La observación sobre los *overheads* no queda ahí. La ponencia insiste en la financiación estratégica para los grupos y centros de excelencia muy consolidados. Y en esta misma línea selectiva pide ayudas especiales, menos competitivas, para grupos nuevos, creativos y prometedores que reciban durante dos años un impulso de lanzamiento.

Dos observaciones quisiéramos apuntar en todo esto, recordando por cierto insistentes y pasados requerimientos hechos en esta revista *Acta Científica y Tecnológica*. Desde hace años hemos venido lamentando que el sistema de proyectos constituya “la fuente casi exclusiva de la financiación pública de la investigación”. ¿Qué puede hacer el investigador sin proyecto y sin ninguna clase de financiación? ¿Por qué los gastos de mantenimiento de un centro y de las nóminas de los investigadores, dispendios ambos incluí-

bles, pueden quedarse inanes si el investigador carece de un mínimo soporte económico?

La segunda observación se refiere a un concepto real, respetable y, en términos generales, objetivo. Nos referimos al concepto de *excelencia*.

Es evidente que los diversos centros de I+D y los diferentes grupos de trabajo presentan niveles de rendimiento cuantitativa y cualitativamente diferentes. Cada euro con que se financia la I+D produce frutos más o menos valiosos, según es el terreno en el que se siembra. Y hay investigadores e investigaciones verdaderamente *de excelencia*. Pero conviene advertir sobre algunos efectos menos justos y convenientes que pueden acompañar a la política de primar la *excelencia*.

El primero es el de la falsa excelencia o la sensación de pujanza que dan algunos centros o grupos que durante mucho tiempo han hecho acopios de proyectos científicos por razones extracientíficas, sin excluir las de afinidad política o la proximidad a algunos *quasi lobby*s de evaluadores que se forman hasta involuntariamente por la mera reincidencia de unas mismas personas en las comisiones de la ANEP. Durante el primer Gobierno socialista, tan aureolado por la Ley de la Ciencia de 1986 y por la implantación del Plan Nacional con criterios racionales y justos, pudo observarse también que resultaba científicamente rentable la proximidad al partido en el Gobierno y hasta a los sindicatos de clase. Se formó así una cierta aristocracia científica que no quedó reubicada ni postergada durante los años de Gobierno del PP, de cuyos responsables científicos diremos que no incurrieron en el vicio de la intromisión, por calificar benévola-mente su actuación. Y así siguen, más o menos estables y pujantes, los niveles de excelencia que hace tiempo se marcaron. En realidad, más que de estabilidad podemos hablar de crecimiento, según aquella máxima de que se dará más a los que más han recibido.

El segundo efecto es la menor atención, o la desatención, o el relegamiento a un nivel oscuro y secundario del investigador que, por no haber alcanzado todavía nivel de excelencia, queda ajeno a nuevas oportunidades. Existe el peligro de que se creen castas con carácter definitivo y en las que queden enterrados investigadores que podrían dar sorpresas. Por eso, la figura del sabio distraído que suscita benévola complacencia y cuya “distracción” es efecto de una absorta creatividad, tiene poco porvenir en un mundo científico donde el mover a tiempo un papel burocrático puede ser más importante que una valiosa iluminación heurística.

El tercer efecto de la política de excelencias es el terror a perder la excelencia o a no lograrla nunca. A él se debe un vicio capital de la investigación española que es la cobardía o la falta del sentido del riesgo creativo. Toda investigación verdadera, o sea, todo impulso hacia lo desconocido tiene el

peligro de terminar en fracaso. Dicho de otra manera, para ser capaz de crear hace falta ser capaz de fracasar.

Estas tres observaciones de ningún modo pretenden ser una queja ni mucho menos dar salida al resquemor de no pocos, sino llamar la atención, en primer lugar, sobre una realidad nada desdeñable en estos tiempos en los que se evidencia como una necesidad angustiosa el aumento del personal científico. Es en la propia plantilla de investigadores públicos donde hay un caladero de científicos valiosos, aunque no excelentes, que podrían ser repescados muy dignamente para las tareas de I+D del sistema. Y en segundo lugar, quisiéramos prevenir contra las falsas excelencias que algunos se granjean con sus actividades de pasillo, con su exhibicionismo, o con su desvergüenza para conseguir figurar como firmantes principales en trabajos cuya autoría real no les corresponde.

Hechas estas salvedades y prevenciones, nos parece justificada y objetiva la atención a la excelencia como categoría que debe contar en la gobernación de la ciencia. Ellos, los excelentes, habrán de ser la punta de lanza que abran el camino a todos los demás.

## 2ª RECURSOS HUMANOS

### EN LA INVESTIGACIÓN

La segunda ponencia se titula *Recursos humanos en la investigación* y tiene como presidente a Luis Oro, catedrático de Química inorgánica en la Universidad de Zaragoza y antiguo Director General de Investigación.

La ponencia se sitúa en la perspectiva de la reciente política de la Unión Europea que pretende aumentar en 700.000 el número de sus investigadores. Tal pretensión tropieza con varios obstáculos:

- a) la escasa orientación de la educación primaria, secundaria y universitaria hacia la formación científica,
- b) la escasa atracción de los jóvenes por la investigación,
- c) la incertidumbre profesional en la carrera de investigación, en su remuneración y en su prestigio social,
- d) la insuficiente evaluación de los individuos y grupos investigadores para el aumento de la calidad y el incremento salarial y profesional,
- e) el envejecimiento de la plantilla de investigadores no absorbidos por el sector privado que al recargar la plantilla pública no deja lugar para nuevas plazas de jóvenes investigadores,
- f) la rígida organización del sistema de investigación que se basa preferentemente en la carrera funcional y fomenta el individualismo,
- g) la poca visibilidad y escaso apoyo a los grupos de excelencia que carecen de un ambiente estimulante.

La detección de los obstáculos sugiere ya los remedios que la ponencia plantea en sus "Propuestas de actuación". Por

primera vez –luego se repetirá– asoma una concepción del investigador público como una situación que se desea transitoria. Más adelante, el documento postulará en el investigador público una capacidad creativa y un espíritu empresarial que le impulse a integrar el sector privado, ya sea aportando sus conocimientos a una empresa *preexistente*, ya sea *fundando una nueva empresa sobre la base de una patente de su invención*.

Como se ve, el documento empieza a jugar fuerte y en terreno comprometido. El sistema público de investigación se concibe así como un criadero en cuyo seno el investigador ideal es el que acumula conocimientos, madurez y experiencia suficientes para dar el salto a la empresa privada. El investigador público, pasado un tiempo no determinado ni preciso, debe marcharse al sistema productivo y dejar libre su plaza en la Administración para que la ocupe alguien más joven que venga a repetir la crianza, a aumentar la plantilla y a rejuvenecer el sistema.

Este planteamiento de la investigación pública no se estrena en el documento que comentamos. En el *Boletín SEBBM* del año 2004 el actual Secretario de Estado de I+D, Salvador Barberá, publicó su trabajo *El sistema nacional de ciencia y tecnología* –sin duda un texto llamado a iluminar en toda su cambiante y compleja realidad la ciencia española– en el que contemplaba ya, con una cierta aspiración normativa, al investigador público español como alguien cuyo destino final es la empresa privada o el sistema productivo. Y tanto los planteamientos de *Acción Crece*, como el artículo de Barberá se producen en un contexto de preocupación urgente por el desarrollo de la investigación empresarial y de la tecnología. Se trata sin duda de una orientación positiva y constructiva que no habrá de traducirse –creemos– en una rígida exigencia de limitar el tiempo de pertenencia a la Administración del investigador público. Por otra parte hay investigadores muy vocacionados para la ciencia básica y para la investigación humanística que no deben ser contemplados en esta perspectiva.

El siguiente apartado dedicado a *La ciencia en el proceso educativo* resulta redundante respecto a lo anteriormente expuesto. Quizá lo más digno de notarse sea la reafirmación de la tesis doctoral como instrumento especialmente apto para la formación de científicos y tecnólogos.

En *Formación y selección de recursos humanos*, dentro de la misma ponencia, se fija la cuantía de los investigadores en 10 por cada 1000 personas de población activa. Se subraya la variada cualificación de los intervinientes en el proceso científico: además de los investigadores de alta cualificación son necesarios técnicos, gestores y tecnólogos. Se insiste en la formación de tecnólogos, es decir, personal técnico de alta cualificación en diversas ramas de la ingeniería y de las ciencias aplicadas.

Hasta ahora pocas empresas han colaborado con las universidades para definir programas de postgrado es-

pecíficos. Esto no obstante, los “programas de postgrado que resulten de la implantación del Espacio de Educación Superior (proceso de Bolonia) no puede ser desaprovechada ni por la universidad ni por las empresas”. El trasvase de doctores a las empresas se ha roturado a través de diversos cauces institucionales, como la acción IDE, y más tarde el programa TORRES QUEVEDO orientado en principio para las PYMES y ahora ensanchado a la colaboración con parques científicos y tecnológicos. Hay crecidas esperanzas en la mayor soltura con que se accederá al disfrute de los proyectos PROFIT (Ayudas al Fomento de la Investigación Técnica). En algunas universidades han tenido incremento la implantación de las *cátedras-empresa* en sus variadas formas. “En todo caso, no se trata sólo de disponer de un instrumento administrativo dotado presupuestariamente, algo relativamente sencillo como decisión política y tecnológica, sino de un cambio de mentalidad que requerirá tiempo y perseverancia”. Pero la preocupación por el engrandecimiento y la cualificación del sistema tecnológico está presente, como capítulo fundamental, a lo largo de muchas páginas de “*Acción Crece*”.

A los ya conocidos criterios de *excelencia, profesionalidad, y competitividad* que deben regir la formación y selección del personal científico se añade el *dinamismo* entendido fundamentalmente como movilidad. Movilidad geográfica, movilidad de ubicación entre lo público y privado, y movilidad temática. De ellas, la referente al paso de lo público a lo privado puede ser la más fecunda. La movilidad geográfica, como otros puntos importantes de este documento que habremos de exponer, marca una cierta dimensión utópica a la que a pesar de todo no debe renunciarse. En España, donde la inmensa mayoría de los ciudadanos de un cierto nivel son propietarios de su vivienda y donde la esposa tiene un trabajo fijo, la idea de una mudanza resultará disuasoria o difícilmente realizable, como no sea en casos muy brillantes y excepcionales en los que los gobernantes estén dispuestos a compensaciones muy gruesas.

La idea de movilidad en la que insiste el documento es más variada y matizada que la mera mudanza geográfica. Se urge a las instituciones públicas a favorecer períodos sabáticos ágiles y sin costos económicos o profesionales, pero también años sabáticos en regla con estancia en otra universidad o centro incluso del extranjero.

En diferentes páginas y apartados se insiste en la necesidad y calidad de una evaluación continuada. Curiosamente esta insistencia machacona en la evaluación se concibe a favor no sólo de la investigación sino del investigador. La evaluación preservará la calidad del trabajo científico, de donde se seguirá el prestigio social del investigador y la facilidad para un sistema de retribuciones más justo y elevado. Esta debe ser tarea de la ANEP que debe centrarse más en su función evaluadora y dejar las previsiones prospectivas para otra Agencia que debe fundarse. Para solucionar

los problemas salariales se sugiere un estiramiento mayor de la carrera profesional con más escalones salariales intermedios pero muy bien definidos, a los que se llegaría progresivamente en función de los resultados de las evaluaciones periódicas. Esta idea valiosa tiene su cumplimiento en importantes naciones europeas, pero sería interesante concretar si ese periódico sistema de evaluaciones sería respecto a unos patronos sensatamente objetivos y proporcionados al grado o escalón, o serían también en régimen competitivo. Por supuesto, esto último no sería lo deseable.

La mención de la otra Agencia nacional diferente de la ANEP es muy sucinta y como de paso, y sin embargo deja adivinar un tipo de actuaciones a las que avocamos cada vez más en esta España al tiempo autonómica y unitaria. “También entendemos que parece necesaria la presencia de una nueva Agencia nacional más basada en criterios de oportunidad, responsable de la evaluación de agrupaciones, encargada de la coordinación efectiva de las comunidades autónomas y de la gestión de los programas nacionales”. Saludamos con entusiasmo el criterio de oportunidad que parece sacarnos del mundo anquilosado de las convocatorias fijas y exclusivas características de la Ley de la Ciencia. Resulta movilizador y constructivo que ponga en marcha grupos o colectividades previamente evaluados como tales y coordine su posterior funcionamiento evitando duplicidades o complicados enmarañamientos.

La ponencia termina con *Un posible modelo de desarrollo de la trayectoria científica y tecnológica* basado en relaciones contractuales que no pretende sustituir a los modelos ya existentes, sino generar espacios de mayor movilidad científica acuñando figuras de contratación a las que pueda echarse mano desde las distintas administraciones públicas (Estado, comunidades autónomas, CSIC, universidades....) pero también desde las instituciones privadas tanto financieras como empresariales.

Aunque el documento no lo formula así, nos parece que se trata de la creación de una carrera de investigadores permanentes no públicos sustentados en unos rigurosos sistemas de evaluación estatales (la Agencia Nacional de Evaluación o la ANEP) y constituyendo un sistema contractual deslocalizado. Como es obvio, nuestra Asociación Española de Científicos saluda con entusiasmo esta eventualidad que de alguna forma viene ya dibujándose en los programas Juan de la Cierva y Ramón y Cajal.

Este apartado se cierra con un cuadro o esquema cronológico que concreta las diversas etapas posibles en la trayectoria del investigador. Como sucede en Francia, por ejemplo, el cuadro se remonta a la licenciatura como comienzo de todo, pero no hemos visto en dicho cuadro cuándo empieza a haber percepciones profesionales fijas, o dicho de otro modo si es un estiramiento de la carrera como en el país vecino.

## 3ª CIENCIA Y EMPRESA:

## HACIA UN ECOSISTEMA DINÁMICO

## PARA LA INNOVACIÓN

La siguiente ponencia titulada *Ciencia y empresa: hacia un ecosistema dinámico para la innovación* y presidida por Amparo Moraleda, Presidenta de IBM para España y Portugal, marca el punto culminante de todo el documento *Acción Crece* no sólo por la novedad de planteamiento, sino por el sentido práctico, real, comprometido y trascendental con que apunta a una realización pragmática dentro del sistema ciencia-tecnología español: la creación de un Foro de Encuentro de todos los actores de la tecnología española, cuyo fruto más importante y decisivo sería el desarrollo de un Modelo de Innovación Español. En realidad se trata de un intento consiguiente a una revolución copernicana que se plantea a lo largo de *Acción Crece*, pero muy especialmente en esta ponencia: nos referimos a un claro, sistemático y fundamentado desplazamiento del protagonismo de la *innovación como decisión política* al terreno empresarial. Parece un tema ya ventilado en el mundo de la ciencia y de la innovación, pero no ha venido estando tan claro, como aquí se establece, cuando se han redefinido los Departamentos ministeriales en un nuevo Gobierno y se ha vacilado entre diferentes ministerios para reubicar la ciencia y la tecnología.

Esta Ponencia del documento *Acción Crece* justifica sola y por sí misma la totalidad de la publicación que presentamos. Van a ser unas páginas de referencia en la Historia española, pero digámoslo no sin cierto estremecimiento dramático, serán páginas de referencia para bien o para mal. Esta Ponencia constituye la última trompetería y los últimos golpes de timbal de quienes en España vienen ejerciendo un cierto profetismo científico junto con una interpelación a las conciencias de quienes deberían tener viva la responsabilidad de la ciencia en España. No se trata de establecer arbitrariamente un punto final a una situación o del recurso retórico al *ahora o nunca* para conseguir efectos de convicción. En realidad no son pocos los que piensan que ya se ha pasado el tiempo y la ocasión para que España dé el salto que necesita en materia de ciencia y tecnología si también en este dominio quiere ser la octava potencia del mundo. Los autores de *Acción Crece* creen que todavía estamos a tiempo de “dar el salto”, aunque son también conscientes de que para ello hace falta una nada desdeñable dosis de optimismo, dado el panorama del que habremos de partir. La Ponencia resume los datos de esta situación de partida. Y este resumen queda puesto en valor por la resonancia que esperamos habrá de tener la lectura de la totalidad del documento *Acción Crece*.

“Múltiples estudios e informes ponen de manifiesto tanto las carencias de nuestro tejido de I+D (en términos de inversión y disponibilidad de recursos), como su dificultad, en comparación con los países de nuestro entorno, para integrarse con el sistema productivo y generar, en definitiva in-

novación (I+D+I). En 2003, la inversión en I+D de las empresas españolas representó el 0,52 % de nuestro PIB, frente al 1,28 de media en la Unión Europea. Estamos por detrás incluso de países de reciente incorporación a la Unión Europea, como Eslovenia o Chequia. Los datos tampoco son muy positivos en lo que se refiere a la interrelación entre el sistema público de investigación y desarrollo y nuestro tejido productivo. Según datos de la CEOE, sólo el 6% del gasto en I+D de las empresas españolas se dirige a contratar proyectos generados en Universidades y organismos públicos de investigación de nuestro país. El resultado combinado de la débil inversión de I+D+I de las empresas españolas por un lado, y de la escasa permeabilidad entre el sistema investigador público y el tejido empresarial y social por otro, es que somos uno de los países de nuestro entorno que menos patentes registra (cinco veces menos que Italia, diez veces menos que Francia o treinta veces menos que Alemania) y que, por tanto tiene, una de las tasas más débiles de conversión del esfuerzo investigador en innovación real y útil” (pág. 79).

Son escasas en España las empresas capaces de producir bienes de alto valor tecnológico. El tejido empresarial español no es capaz de aprovechar los resultados generados por la actividad investigadora. El conjunto del sistema parece tener dificultades para identificar las líneas de actuación para una mejor productividad y competitividad de las empresas. La política científica y tecnológica actual transfiere recursos al sector productivo que no tienen una incidencia directa en el aumento de la cultura de la innovación. Las políticas públicas de fomento tecnológico-empresarial carecen de firmeza y estabilidad a medio y largo plazo. La economía se orienta predominantemente a los servicios y aun en estos no a su proyección tecnológica: no se atiende suficientemente al campo de la tecnología de la información y comunicación. Faltan estándares de medición de resultados de los esfuerzos en tecnología.

Este es el panorama que describe la Ponencia en el apartado *Un acercamiento al ecosistema innovador español* teniendo en cuenta que en un apartado anterior titulado *Marco de referencia y reflexiones iniciales: la innovación como ecosistema* ha fijado este concepto de ecosistema que implica fundamentalmente la complejidad de los agentes involucrados en la *innovación* y que, al interrelacionarse mutuamente, constituyen un sistema y una dinámica propia que es preciso conocer y respetar.

Frente a este estado de cosas, un nuevo apartado titulado *Líneas de actuación de los agentes del ecosistema innovador español* trata de orientar el futuro insistiendo en las reformas del mundo empresarial en sí mismo y en sus relaciones con los otros agentes del *ecosistema*, en la proyección de las grandes corporaciones innovadoras hacia nuevas empresas innovadoras mediante la creación de fondos “y actuando como entidades especializadas en la valoración de proyectos capital

riesgo más cercanos a la realidad emprendedora de las empresas que a los parámetros de las entidades financieras". Hay en este apartado sobre *Líneas de actuación*... un evidente desplazamiento de la responsabilidad creativa hacia el mundo empresarial: los investigadores universitarios y de OPIS deben esforzarse en entender las necesidades empresariales; acercarse a los foros de reflexión empresariales para identificar líneas prioritarias; trabajar en equipos de investigación definidos por las empresas, aunque la financiación sea pública, para atender a empresas de menor tamaño. Centros mixtos, parques tecnológicos, centros tecnológicos... deben ser lugar de encuentro de la investigación y la empresa. Universidades, centros de investigación, pymes y grandes empresas (nacionales y multinacionales) con grandes clientes públicos y privados deben integrarse en proyectos de vanguardia tecnológica liderados por las empresas. "Este tipo de actuaciones podría completarse con políticas de compras públicas que ayuden a potenciar áreas de innovación y permitan asentar ciertas bases para la consolidación de empresas emergentes" Es esta una observación interesante a la que son sensibles importantes empresas de vanguardia. También, menos subvenciones, más créditos competitivos... Las líneas de actuación afectan a las instituciones y centros, a las Administraciones públicas y a la sociedad.

Estas líneas de actuación del ecosistema, así como las orientaciones reguladoras del *Foro de Encuentro* y del *Modelo de Innovación Español* tienen un trasfondo experimental y heurístico que el documento no se recata de manifestar. Son el fruto de experiencias concretas como:

- el Modelo de Parque Científico de Barcelona.
- El Instituto Mixto CSIC/ Universidad Politécnica de Valencia.
- Universidad Politécnica de Cataluña.
- Proyectos de Investigación IBERDUERO.
- Fomento de las tecnologías emergentes mediante la creación de redes de colaboración como las creadas para la Fundación Genoma.

"Todos estos casos suponen modelos diversos de colaboración entre el mundo científico y empresarial que contribuyen a aumentar la riqueza y bienestar de nuestro país a través, no sólo de los resultados tangibles que se han obtenido, sino, también del proceso de aprendizaje y conocimiento desarrollado en estas experiencias. De sus análisis se pueden identificar una serie de pautas que pueden servir de referencia para orientar algunas de las futuras actuaciones que potencien el ecosistema innovador español."

Omitimos estos resultados para no ser redundantes, puesto que ya han sido expresados, también como pautas, en otros textos del documento. Quizá podríamos extraer el énfasis especial con que se concibe, como elemento clave de todo, la existencia de líderes científico-técnicos dentro de las organizaciones del ecosistema de innovación. También

se afirma el interés y el liderazgo ejercido por las empresas para que la aplicación de los resultados científicos no entorpezca la generación de conocimiento. Este es un punto sensible y tranquilizador para quienes temen por la suerte de la investigación básica. Se pondera especialmente la importancia de gestores con visión amplia y flexible, la evaluación de resultados y los incentivos. Finalmente se concede gran importancia a la existencia de foros de encuentro entre los investigadores del sector público y de las empresas "donde se desarrolle un lenguaje común, que se materialice en colaboraciones estables y fluidas".

Esta última observación sirve de pórtico para el siguiente epígrafe *Propuesta de actuación*, que en realidad podría titularse *El Foro de Encuentro* y *El Modelo de Innovación Español*.

Este es, como hemos dicho, el punto culminante del documento: "entendemos que el reto que afronta el sistema innovador español es muy importante y, por eso, consideramos necesario que se instrumente una intervención en todo el ecosistema que sirva de desencadenante de una dinámica que converja hacia el círculo virtuoso al que tenemos que acceder. La intervención que proponemos es la puesta en marcha de un *Foro de Encuentro* que además de no interferir con otros foros existentes y con finalidades específicas, sea totalmente flexible en su actuación, plural en su concepción, ágil en su organización y barato en su administración. Consideramos que el sistema privado, el conjunto de las empresas innovadoras, está hoy capacitado y motivado para promover una institución de estas características."

Queda claro que se trata de un instrumento no público cuyo objetivo fundamental es desarrollar un *Modelo de Innovación español*, pero no a través de meras comisiones de estudio o de equipos que formulen cuerpos doctrinales, sino a través de la realización de proyectos concretos de innovación en los que se analizaría, se documentaría, y se transmitirían las pautas a seguir por los distintos agentes de innovación. De esa manera se iría construyendo el *Modelo de Innovación español*. La formulación en singular del concepto de Modelo no debe sugerir un arquetipo único de innovación, puesto que se trata de modelos plurales y de iniciativas flexibles cuyas condiciones de posibilidad, de estilo y de optimización, aun siendo diferentes, caen dentro de la idiosincrasia y de las características de la sociedad española.

Hablábamos más arriba de un cierto dramatismo al considerar si todavía estaremos a tiempo o no de "dar el salto" al nivel tecnológico que nos corresponde como nación. Pues bien, resultan convincentes y esperanzadoras en grado sumo las dos afirmaciones que acaba de hacer el documento:

1ª *El Foro de encuentro* es un instrumento no público, y;

2ª El conjunto de las empresas innovadoras españolas está hoy capacitado y motivado para promover una institución de estas características.

**Ingeniería Avanzada**  
**Soluciones**  
**Innovadoras**

AEROSPACIAL y SISTEMAS - COMUNICACIONES - VEHÍCULOS  
SISTEMAS de ACTUACIÓN y CONTROL  
CIVIL - ENERGÍA y PROCESOS - NAVAL



**SENER**

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

Los amables lectores comprenderán ahora por qué hemos dado una importancia tan clamorosa a la publicación de este documento *Acción Crece*. No nos atrevemos a decir que “por primera vez” el mundo de la ciencia, de la tecnología y de la innovación española se ve convocado a un terreno real, certero, posible y decisivo. No queríamos entrar en discusiones vanas sobre cuándo se ha hecho mucho o poco o nada por la investigación española. Lo que si afirmamos es que la revolución copernicana que supone la totalidad del texto *Acción Crece* al avocar al mundo empresarial innovador el protagonismo de la I+D nos libera del pesimismo reiterativo con que hemos venido contemplando y lamentando y acusando a las sucesivas acciones de Gobierno en materia de política científica. Más o menos todos sabíamos que la tecnología no funcionaba de manera proporcionada a nuestro país, que las empresas o estaban ausentes del proceso innovador o muy pocas contribuían de forma y cuantía valiosas, que no teníamos patentes, etc. etc. Ahora bien, *Acción Crece* ha documentado y sistematizado nuestra desazón, pero entrando al mismo tiempo en matizaciones muy justas y finas para que la ciencia básica, y la investigación pública y la acción del Gobierno sigan estando en el lugar importantísimo que les corresponde. Hay que dar un golpe de timón que nos lleve a navegar por la iniciativa privada. Tener una clara conciencia de esto, saber que ya sabemos por dónde tenemos que ir, liberarnos de mucha política y de engorrosa burocracia eso es la revolución copernicana que va a obrar este documento.

Porque –y esto es lo segundo que querríamos notar– el conjunto de las empresas innovadoras, está hoy capacitado y motivado para promover una institución como el *Foro de Encuentro*.

Esto también es totalmente real y esperanzador. Es cierto que España no está donde debería estar, pero también es cierto que entre 1500 y 2000 empresas hacen tecnología en España, y en esta misma revista hemos procurado dar a conocer los éxitos clamorosos cosechados por empresas españolas en materias exquisitas como controles de vuelo, sistemas de mantenimiento de aviación de caza, aviónica, electrónica, astronáutica, nuevos materiales, etc. Hay un interesante magma empresarial que va a hacer posible el enderezamiento de las cosas.

Esta liberación de la política o de la esfera pública no debe entenderse como una separación de mundos. La acción del Gobierno será muy necesaria durante bastante tiempo y puede que aun siempre por lo que respecta a la ciencia básica. Pero aun en el mismo terreno del *Foro de Encuentro* será eficaz y realista contar con los Gobiernos, sobretodo al principio. Un ejemplo de esta colaboración gubernativa con la esfera privada la tenemos en TECNALIA, la ejemplar agrupación empresarial vasca que hemos echado en falta entre el grupo de empresas cuya experiencia ha servido de inspiración a los autores de esta Ponencia. TECNALIA co-

menzó en las empresas privadas Labein e Inasmet. Sus primeros protagonistas eran de la Escuela de Ingenieros bilbaína, pero en todo momento el Gobierno vasco estuvo detrás de estas iniciativas alentando y financiando la creación de una investigación vasca. Por razones obvias no podemos saber hasta cuándo y hasta cuánto ha llegado la ayuda del Gobierno vasco a las empresas iniciales de TECNALIA. Hoy en día se trata de una realidad feliz que proporciona casi el 60% de la tecnología del País Vasco y tiene, por supuesto, una vida económica propia. Queremos decir, a propósito del *Foro de Encuentro* y del *Modelo de Innovación español* que lo importante es quién lleva el gobernalle más que la procedencia de algunos fondos que pueden ser muy convenientes.

La propuesta del *Foro* y del *Modelo* que sigue planteando el documento es notablemente comprometida: “en primer lugar, es necesario establecer el liderazgo de un conjunto de empresas, que actuarán como promotoras del Foro, y que deberá estar formado por un grupo de compañías seleccionadas por su marcado carácter innovador y por su posible influencia en el ecosistema.”

Quién tomará esta iniciativa, quien seleccionará a estas empresas. ¿Bastará agitar un poco las aguas para que el grupo de empresas sobradamente conspicuas como promotoras de innovación sean las que se pongan en marcha, se junten, mancomunen y se pongan al frente de los acontecimientos? En realidad, pudiendo ser muy contingente y aleatorio el origen primerísimo de esta iniciativa, una vez producida es inevitable que queden al frente de la misma las corporaciones o empresas de más potencia económica y mayor impulso innovador.

Una vez puesto en marcha el Foro el equipo de promotores analizará las interrelaciones que aparezcan entre los agentes del ecosistema, se incorporarán elementos relevantes y se iniciará la búsqueda del Modelo de Innovación español a través de un proyecto piloto de investigación innovadora. Cuando se decanten pautas de actuación certeras se podrá ir incorporando al ecosistema a nuevos proyectos, se podrá plantear la creación de un fondo capital riesgo para financiar proyectos innovadores con criterio de negocio y no de subvención, se podrá incentivar la creación de organismos equivalentes que actúen con los mismos principios, pero de forma autónoma, y deberá procurarse una “revisión del cuadro legal vinculado a la insolvencia, es decir, a las consecuencias legales asociadas al fracaso y que entendemos suponen una barrera al desarrollo y promoción de proyectos empresariales innovadores”.

La Ponencia termina protestando su confianza de que pese a la situación crítica del actual sistema de innovación español, “aplicando de manera urgente las recomendaciones planteadas, estamos a tiempo de dar el giro necesario a esta situación actual”.

# Dragados Offshore completa la primera planta de licuefacción de gas natural de Europa

El proyecto Snøhvit, es además la primera planta en el mundo en ser construida encima de una barcaza, y la primera en usar una nueva tecnología de licuefacción.

**AUTOR:** JEROEN POPPE  
*Director de Proyecto*  
*Dragados Offshore*

Desde su creación en 1972, Dragados Offshore ha estado involucrado con todo tipo de proyectos relacionados con la industria de petróleo y gas, pero con la entrega de la planta de licuefacción de gas natural culmina su proyecto más importante y más innovador hasta la fecha.

Dragados Offshore es la única empresa española dedicada a la construcción de plataformas petrolíferas y todo tipo de elementos relacionados con la industria "offshore", o costa fuera.

## EL PROYECTO SNØHVIT

El proyecto Snøhvit –que quiere decir Blancanieves en Noruego– no es un proyecto que se puede clasificar como típicamente offshore, ya que su emplazamiento final no es la alta mar, sino la isla de Melkøya, al Norte de Noruega, por encima del círculo polar ártico. Las condiciones extremas de la zona, con temperaturas por debajo de los  $-40^{\circ}\text{C}$  y con períodos de total oscuridad, han sido determinantes para que la construcción de la planta haya sido realizada por Dragados Offshore en sus instalaciones de Puerto Real. De este modo, Snøhvit es la primera planta de este tipo construida encima de una barcaza y en un lugar remoto (unos 5.000 kilómetros) de su destino final.

Se trata de la primera planta Europea de licuefacción de gas natural, encargada por Statoil, empresa petrolera estatal Noruega.



La isla de Melkøya en invierno (imagen de Statoil ASA).

El gas proviene de tres campos (Snøhvit, Albatros y Askeladd) situados a 143 kilómetros de la isla de Melkøya. El gas se extrae mediante instalaciones submarinas operadas por control remoto y es transportado hasta la isla a través de un gasoducto que cubre los 143 kilómetros. Después de una separación inicial de líquidos arrastrados desde el pozo, la planta de licuefacción recibe el gas y lo licua, reduciendo la temperatura del mismo a  $-163^{\circ}\text{C}$ . Posteriormente, el gas natural licuado (LNG) es almacenado en tanques de almacenamiento especiales, diseñadas para baja temperatura, y luego transportado por gaseros en aproximadamente 70 embarques anuales. Como productos secundarios, la planta también produce LPG y condensados, fracciones de petróleo ligeros que se mezclan con la gasolina. La planta tiene una capacidad para producir 4.3 millones de toneladas año de gas natural licuado, 250.000 toneladas de LPG y uno 5 millones de barriles de condensado.

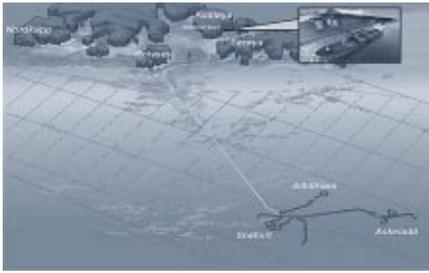
## EL DESARROLLO DEL CAMPO

El gas y el condensado se extraerán a través de un total de 20 pozos de producción, de las reservas Snøhvit, Albatros y Askeladd. Snøhvit será el primer desarrollo de relevancia en la parte continental de Noruega, en la que no se instalarán plataformas marinas de superficie en el mar de Barents. En lugar de esto, las instalaciones de producción submarinas serán emplazadas en el lecho marino, en unas profundidades de agua de aproximadamente 250 metros.

Las instalaciones submarinas han sido diseñadas de tal forma que ni los aparejos marinos de pesca ni ellas mismas serán dañados cuando ambos entren en contacto.

Los campos estarán unidos a la planta terrestre mediante varios medios. El de mayor envergadura es la tubería de gas de una longitud de 143 kilómetros de largo y que tiene un diámetro interno de 65.5 centímetros. Adicionalmente existen dos líneas de transporte de químicos, un umbilical y una tubería para transporte de dióxido de carbono.

El gas del área de Snøhvit contiene un 58 por 100 de dióxido de carbono, que se separa en la planta de licuefacción. El dióxido de carbono se comprime y se re-inyecta en los pozos de gas, a través de esta última línea, con los objetivos de mantener la presión de las reservas, además de reducir drásticamente la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera.



Situación de los campos de gas (imagen de Statoil ASA).

Tanto la producción submarina de los campos como el transporte de los gases será monitorizada y controlada desde la sala de control de la planta de licuefacción de Melkøya. Los operarios serán capaces de abrir y cerrar válvulas a la altura del lecho marino a una distancia de 150 kilómetros con señales transmitidas a lo largo de cables de fibra óptica y cables eléctricos de alto voltaje y líneas hidráulicas. Todas las comunicaciones entre la sala de control y las instalaciones submarinas se realizarán a través de los umbilicales.

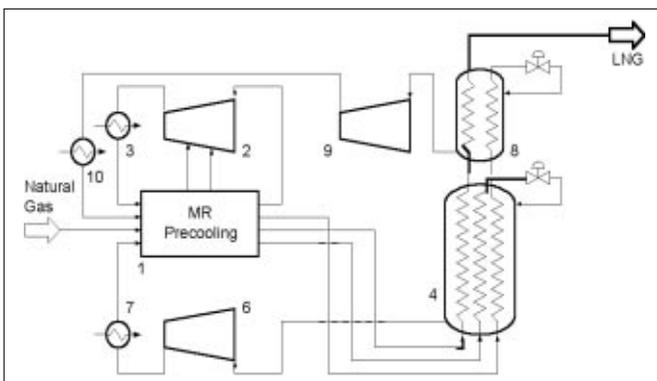
### EL PROCESO DE LICUEFACCIÓN

Todos los procesos de licuefacción de gas natural se basan en el mismo principio: enfriar el gas a través de unos cambiadores de calor con un fluido refrigerante que pasa por ciclos de compresión y expansión.

Hasta hace unos años, el mercado de la licuefacción de gas natural estaba dominado por el proceso desarrollado por Air Products. El continuo y acelerado incremento de la demanda en LNG, sin embargo causó entre otros una dedicación importante en el desarrollo de procesos de licuefacción por parte de las grandes empresas petroleras y los licenciantes, con el objetivo de mejorar los rendimientos energéticos y por lo tanto el coste operativo.

El proyecto Snøhvit es uno de los frutos de esta investigación y la planta de licuefacción se basa en el proceso MFC<sup>®</sup>, desarrollado entre Statoil y la empresa de ingeniería Linde.

El proceso se basa en tres etapas de compresión de un refrigerante mixto único en las tres etapas, además de cambiadores con un diseño patentado.



El proceso MFC<sup>®</sup> de Statoil-Linde (Imagen de Linde AG)

### LA CONSTRUCCIÓN

La construcción del proyecto Snøhvit, tiene como mayor particularidad el montaje de toda la planta de proceso encima de una barcaza de acero. La barcaza, con unas dimensiones finales de aproximadamente 170 m x 54 m x 9 m, incluida una extensión para poder instalar un quinto generador adicional, tiene como únicas funciones soportar la planta y servir como medio de transporte. La barcaza, que fue construida en el norte de España, fue remolcada en agosto de 2003 a la planta de Dragados Offshore en Puerto Real (Cádiz) para el montaje sobre la cubierta de la misma de las más de 25.000 toneladas de la planta de licuefacción.



La barcaza en Agosto 2003.

Como indicado anteriormente, por las condiciones climatológicas locales, uno de los principales objetivos de este proyecto era extraer el máximo trabajo posible fuera de la isla de Melkøya. Es la primera vez que se construye una planta de este tipo en un lugar remoto (unos 5.000 kilómetros) de su destino final.

La planta de licuefacción es, en cuanto a alcance y diseño, muy parecido a una planta construida en tierra firme ("onshore"), pero con las limitaciones impuestas por el medio de transporte.

Estas limitaciones hacen que el concepto de la construcción varíe de manera significativa de una construcción "onshore". Aunque la pontona tiene unas dimensiones que equivalen a dos campos de fútbol, el espacio es muy limitado para albergar una planta de licuefacción de estas características, lo que conlleva un diseño muy compacto en implantación de equipos y por lo tanto en el diseño del resto de las disciplinas, como la estructura metálica, la tubería, la electricidad e instrumentación y el aislamiento. En cuanto a la construcción, esta mayor densidad en el diseño significa una concentración de trabajo muy elevado, y una complejidad añadida.

La limitación del peso total de transporte a su vez conlleva un diseño muy ajustado, que básicamente significa que la estructura metálica que soporta la planta no es auto portante. Esto afecta al concepto de la construcción y descarta una construcción modular de gran parte de la planta.

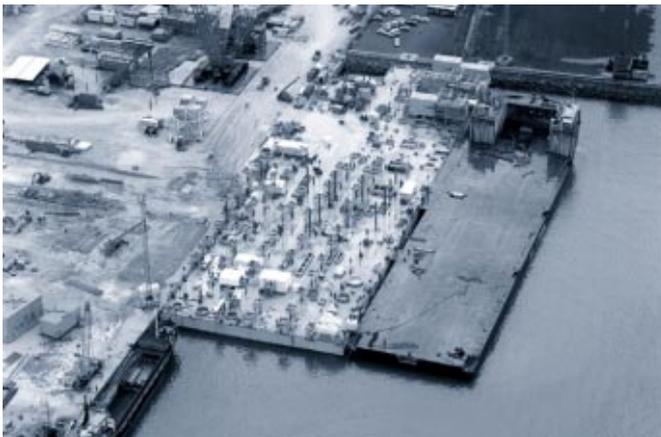
Para poder superar los retos de la combinación de las complejidades de la construcción anteriormente mencionadas, conjuntamente con una planificación muy ajustada, las principales soluciones adoptadas en la estrategia de la construcción son:

- Facilitar acceso a la barcaza
- Una secuencia de trabajo planificada en detalle
- Extraer el máximo de trabajo fuera de la barcaza

### ESTRATEGIA DE CONSTRUCCIÓN

Lo primero para poder ejecutar la construcción de la planta de licuefacción es poder acceder a la barcaza con facilidad, tanto para la mano de obra como para los materiales, grúas, andamios, etc... El primer paso para garantizar un acceso adecuado fue nivelar la barcaza con el muelle de Dragados Offshore. Para ello, se preparó una cama de grava delante del muelle con la altura justa para que, una vez fondeada la barcaza mediante el lastre de los compartimientos internos, la altura de la barcaza quede igualada al muelle.

Este fondeo contra el muelle, sin embargo, solo da acceso a un lado de la barcaza. Para poder acceder todos los laterales, la misma fue rodeada por plataformas temporales y una barcaza auxiliar en el lado agua, garantizando así un acceso por todos los lados.



La barcaza fondeada contra el muelle en el yard de Dragados Offshore, y la barcaza auxiliar.

Segundo, y debido a la restricción de no poder construir gran parte de la planta como una construcción modular en el "yard", toda la planta de licuefacción se dividió en elementos de estructura manejables y prefabricables dentro de los talleres de Dragados Offshore. Estos elementos, llamados "pancakes", tienen que seguir una secuencia de fabricación para poder completarlos e instalarlos en su debido momento, por elevaciones y por áreas.

Así se consiguió montar la planta por elevaciones, evitando interferencias físicas y sus consecuentes retrasos de subir las elevaciones de la planta. Como la secuencia es ciertamente rígida en su concepto de planificación de los trabajos y ejecución del montaje, la flexibilidad dentro de esta secuencia se consiguió mediante un despiece de la planta que permite trabajar en varios frentes a la vez. Esto permite básicamente poder desviar recursos de un área a otra sin sufrir mermas en la productividad ni tener paradas en la producción y montaje.



Montaje de un "pancake".

El tercer objetivo para poder finalizar los trabajos en plazo y en coste fue extraer el máximo de los trabajos del área físico de la barcaza. Es importante reducir al máximo el trabajo, y por lo tanto el número de trabajadores, encima de la barcaza, para evitar pérdidas de productividad debido a interferencias de trabajos de las diferentes disciplinas en el mismo espacio físico, además del incremento de los riesgos laborales asociados.

Así, toda la estructura principal, dividida en "pancakes" fue fabricada, pintada, y tratada con material ignífugo en los talleres de las instalaciones de Dragados Offshore, antes de ser enviado a la zona de montaje. De manera parecida, también la tubería fue completada en la fase de fabricación con pintura final y limpieza, antes de ser montado. Además, y para facilitar el trabajo de montaje encima de la barcaza, la máxima cantidad de equipos, de tuberías y de bandejas de cables fueron montados sobre los elementos estructurales aun en tierra, frente al área de montaje.

Los principales equipos estáticos, como son las columnas de destilación, fueron "vestidas" completamente con internos, tubería, aislamiento, traceado eléctrico y plataformas de acceso en posición horizontal antes de ser montado sobre de la barcaza.

Para lograr el montaje desde el muelle de todos los elementos principales, y más pesados, la segunda grúa sobre



La segunda grúa mayor del mundo delante de la obra.

orugas mayor del mundo fue movilizada, con una capacidad de 1.400 toneladas.

### TRANSPORTE DE LA PLANTA

Una vez se ha finalizado la construcción de la plataforma se deben realizar una serie de operaciones para preparar la planta de Snøhvit para su transporte. (1) Inicialmente se debe deslastrar la pontona para permitir la flotación de la misma. (2) Tras esto se preparan los remolcadores que guiarán la maniobra después de que se suelten las amarras que mantienen la planta en el costado del muelle. (3) La planta se remolcará hasta un punto de la bahía de Cádiz, situada a 2 kilómetros de Dragados Offshore, donde le estará esperando un barco de transporte ("Heavy Lift Vessel" ò "HLV") parcialmente sumergido. (4) Este emergerá una vez la planta se encuentra situada por encima del mismo para recibirla. Una vez que la planta se encuentra sobre la cubierta del buque de transporte se realizará el amarre de la planta al mismo para asegurarla frente a los movimientos que sufrirá durante el transporte.



La planta a flote.

El lugar donde se realiza la operación de carga tiene como característica principal la profundidad de su lecho marino que alcanza de forma natural una cota de -18 metros poco común para la zona en la que artificialmente existe un calado de -13 creado para la navegación de buques que entran en los distintos puertos de Cádiz. Debido a que la operación exigía un calado mínimo de -20 metros fue necesario llegar a esta cota de forma artificial mediante la utilización de dragas.

Se seleccionó el método de transporte sobre un barco en lugar de un mero remolcador por varias circunstancias. Por una parte se pretendía que la pontona no tuviera que soportar los esfuerzos de un remolcado en la que su estructura debería resistir las fuertes tensiones de esta maniobra junto con los esfuerzos asociados al contacto con el medio marino. Evitando esto se consigue una reducción en el peso de la estructura de la planta que hubiera sido de uso únicamente durante el trans-



La planta siendo cargada encima del barco de transporte.

porte de la misma, encareciendo por lo tanto el proyecto. Por otra parte el método elegido permite realizar la travesía a una mayor velocidad y seguridad.



La planta saliendo de la bahía de Cádiz.

Tras una travesía de más de 5.000 kilómetros el buque de carga llega a la isla de Melkøya donde se llevarán a cabo una serie de operaciones para posicionar la planta en su enclave final.



La planta durante la maniobra de encastre en la isla de Melkøya.

Se inicia la descarga de la planta de forma inversa a como se realizó la carga. Inicialmente se cortan los amarres de sujeción, posteriormente el buque de carga es lastrado hasta que la planta quede inmersa en el agua y en flotación para empezar a ser guiada por remolcadores. Finalmente la planta es introducida en un dique previamente excavado en la isla donde finalmente queda emplazada. ■

# El campo magnético de Marte: implicaciones evolutivas

**AUTOR:** FRANCISCO ANGUIA  
Profesor de Geología Planetaria  
Universidad Complutense

Cuando la exploración del planeta rojo ha alcanzado uno de sus puntos culminantes, con dos vehículos de superficie y tres orbitadores activos simultáneamente, es el momento adecuado de preguntarse, una vez más: ¿Por qué Marte? Las respuestas a esta pregunta son múltiples:

1. Marte tiene las claves de la evolución planetaria, ya que es un muestrario perfecto (y perfectamente dosificado) de rocas de todas las edades, y por tanto el único planeta con un registro completo de la historia del Sistema Solar.

2. Marte tiene un historial espectacular de cambios climáticos globales, con pérdidas repetidas de la casi totalidad de su atmósfera. A su lado, las glaciaciones e invernaderos terrestres son suaves juegos planetarios.

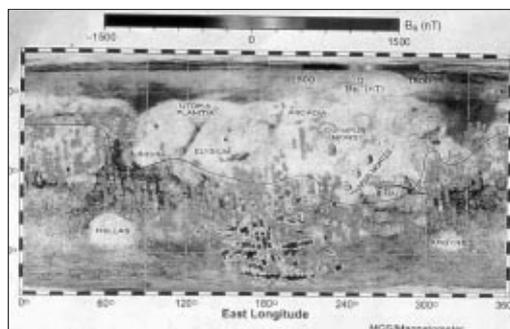
3. Marte *podría* guardar la clave del origen de la vida, ya que hay múltiples evidencias de que sus condiciones iniciales no difirieron mucho de las de la Tierra.

4. Marte es la gran meta tecnológica del Sistema Solar: el único planeta *interesante* (con todos los respetos a Mercurio) al que se podrían realizar viajes tripulados con la tecnología actual, y quizás también (con permiso de Venus) el único que se podría terraformar.

Así pues, los atractivos marcianos, tanto desde un punto de vista científico como considerando el prisma de la aventura, son múltiples, lo que justifica el título de este artículo. En lo que sigue, tomaremos uno de los temas que ha sido objeto de debate científico recientemente –el campo magnético fósil de Marte– como ejemplo de las posibilidades de integración de los muchos aspectos interesantes que existen en la investigación del planeta vecino.

## UN DESCUBRIMIENTO INESPERADO

Todo comenzó por accidente. Debido a causas que nunca se conocieron, uno de los paneles solares de la sonda *Mars Global Surveyor* (MGS) se torció, lo que obligó a modificar la estructura de la misión, prolongando por precaución la fase de aerofrenado atmosférico destinada a circularizar la órbita de la nave. En esta etapa transitoria, que abarcó desde el otoño de 1997 hasta finales de 1998, la sonda pasó repetidamente muy cerca (hasta un mínimo de 101 kilómetros) de la superficie del planeta. A estas cotas tan bajas, el magnetómetro de a bordo comenzó a registrar valores significativos de magnetismo. Puesto que Marte carece de un campo magnético dipolar como el terrestre, era evidente que se tra-



**1. Anomalías magnéticas lineales en Marte. Como se ve, las más intensas están situadas en el hemisferio sur, al suroeste del gran domo de Tharsis.**

taba de un magnetismo remanente, es decir, un antiguo campo grabado –fossilizado, podríamos decir– en las rocas de la corteza marciana. El hecho tenía precedentes en el Sistema Solar, ya que las rocas lunares también tienen impreso un magnetismo fósil. Sin embargo, había dos datos sorprendentes: el magnetismo, que estaba distribuido de forma muy irregular sobre el planeta, tenía en muchas zonas unos contrastes mucho mayores, hasta ~3.000 nanoteslas, que las rocas terrestres (la intensidad media del campo magnético terrestre es de  $3 \cdot 10^{-5}$  teslas). ¿Había sido el campo magnético marciano más intenso que el terrestre? Una segunda característica concitó aún más la atención de los especialistas, y despertó la curiosidad de muchos científicos: como en la Tierra, el magnetismo remanente de las rocas marcianas presentaba máximos y mínimos alternantes, con una estructura bandeda (**Figura 1**). La revista *Science* tituló la noticia “Signos de tectónica de placas en un Marte recién nacido”.

## ¿TUVIERON MARTE Y LA TIERRA

### UNOS INICIOS PARALELOS?

En el continuo reciclaje de las placas litosféricas, que llamamos tectónica de placas y está movido por la convección térmica del manto, las dorsales oceánicas juegan el papel de una fábrica de rocas basálticas, que forman los fondos de los océanos. En los basaltos cristalizan magnetita y otros minerales magnéticos, que al formarse adquieren, como brújulas microscópicas, la dirección del campo magnético. Pero el campo no es estable, y aproximadamente cada millón de años invierte su polaridad; las rocas, obedientes, apuntarán sucesivamente al Norte o al Sur, por lo que su magnetismo remanente se sumará o se restará al campo actual. Éste es el origen del conocido bandedado magnético del fondo oceánico, que en la revolución en Ciencias de la Tierra de los años 60 constituyó una de las piezas clave para demostrar la creación de corteza oceánica. Y ésta es la expli-



**2. El gran escalón topográfico marciano en la zona de Mangala Valles, al suroeste de Tharsis.**

cación del titular de *Science*: desde nuestro geocentrismo instintivo, un bandeo de anomalías magnéticas equivale a tectónica de placas. Sin embargo, la explicación movilita se derrumbó en pocas semanas: salvo excepciones muy localizadas, las rocas marcianas con magnetismo remanente eran las de las tierras altas, es decir las equivalentes a las rocas de los continentes terrestres. Y aunque también la corteza continental terrestre presenta anomalías magnéticas alargadas, éstas se forman por colisión de fragmentos oceánicos en una zona de subducción (es decir, de destrucción de litosfera), un proceso incapaz de explicar la geometría de las bandas marcianas.

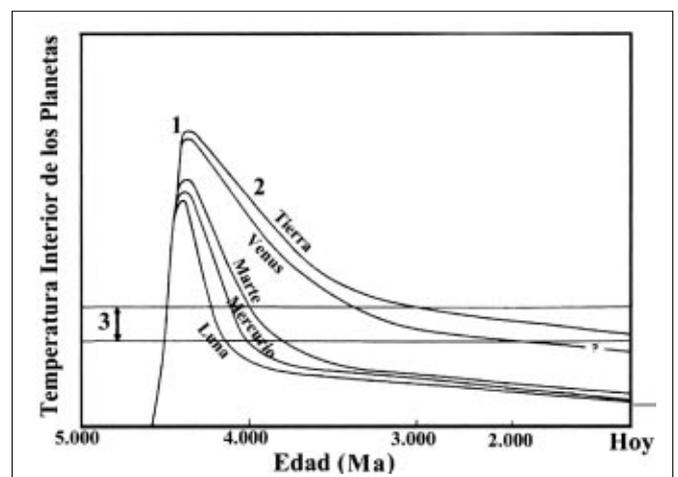
Otros rasgos de la geología marciana sí parecen requerir una etapa, aunque sea breve, de tectónica de placas. En concreto, el escalón topográfico global de hasta cinco kilómetros de desnivel (**Figura 2**) que separa las tierras altas y las bajas (y que recibe el curioso nombre de *dicotomía marciana*) se parece demasiado a los taludes continentales de los océanos terrestres, formados cuando los continentes se separan. Si la dicotomía fue un límite subductivo, algunas anomalías lineales (como las de la región denominada Arabia Terra, la única zona de tierras altas al Norte del Ecuador marciano) podrían explicarse por subducción bajo la dicotomía. Pero para el magnetismo remanente localizado más al Sur no hay ninguna explicación de detalle que resista el análisis. El equipo a cargo del magnetómetro de la MGS propuso, como alternativa un tanto desesperada, que se tratase de grandes pliegues, ya que estas estructuras generan simetría respecto a un plano axial; pero advertían que la solución creaba más problemas que resolvía. Otros autores han sugerido que las bandas son en realidad conjuntos de diques basálticos: para explicar el magnetismo detectado, éstos tendrían que tener una profundidad mínima de 35 kilómetros; la alternancia de polaridades positivas y negativas resultaría de la migración lateral de la zona de inyección del magma. El inconveniente de esta solución es que unas intrusiones magmáticas tan descomunales sólo son posibles en una litosfera sometida a un intenso estiramiento, como el que tiene lugar en las dorsales oceánicas terrestres; pero las dorsales son, como vimos, fábricas de corteza oceánica, y las rocas marcianas magnetizadas son precisamente las de las tierras altas. En la Tierra la corteza continental se forma sobre las zonas de subducción. ¿Podría en Marte, por el contrario, haberse formado mediante un proceso análogo al de extensión del fondo oceánico?

## UN EXTRAÑO OCÉANO,

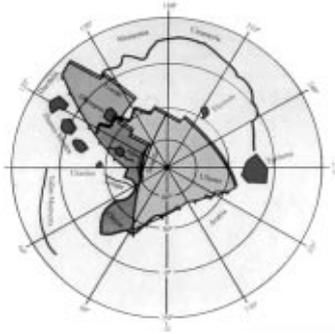
## Y UNA VENTANA FIGURADA

En 1969, los geoquímicos que estudiaron la primera hornada de rocas lunares advirtieron que todas las pertenecientes a las tierras altas presentaban una fuerte anomalía de la tierra rara europio. Este elemento tiene unas propiedades muy semejantes a las del estroncio, un alcalinotérreo que suele sustituir al calcio en sus minerales. Las rocas de las tierras altas lunares proceden de la cristalización de un magma, y en ellas abunda la plagioclasa, un mineral cálcico de baja densidad. La conclusión fue inmediata: la corteza de las tierras altas lunares se había formado por flotación, como la escoria de un alto horno, en la que el calcio había arrastrado al europio, a través del estroncio. Como la corteza lunar primitiva parecía haber cubierto toda la Luna, la superficie inicial de nuestro satélite tuvo que ser un océano de magma. Este espectacular concepto, muy discutido al principio, ha sido aceptado gradualmente por los científicos planetarios, no sólo para la Luna, sino también para los restantes planetas de tipo terrestre, incluyendo a la Tierra y Marte. En 1989, Kent Condie, de la Universidad de Nuevo México, lo incorporó a una idea más amplia, en la que sugería que después de la fase de alta temperatura con océanos globales de magma, los planetas interiores se habían enfriado exponencialmente, y que en esta etapa de decadencia térmica debían de atravesar inexorablemente lo que llamó "ventana de tectónica de placas", el intervalo térmico comprendido entre la adquisición de una litosfera rígida y el enfriamiento del manto que haría imposible la convección (**Figura 3**). Según Condie, Marte habría atravesado su ventana de tectónica de placas durante unos 100 o 200 millones de años (Ma), hace unos 4.000 Ma.

Es evidente que el campo magnético marciano debió de marcarse en las rocas de su corteza en estas fases iniciales de alta temperatura. Una idea atractiva, aunque minoritaria, es que el campo se originase a partir del océano de magma, cuya base (un fluido convectivo a alta presión) pudo generar un magnetismo de hasta 0,1 tesla, que se imprimiría en las primeras ro-



**3. La evolución térmica tipo de los planetas terrestres pasa por una fase inicial de alta temperatura (1) y luego decrece exponencialmente. (2) coincide con la etapa del Gran Bombardeo Asteroidal, y (3) es la Ventana de tectónica de placas explicada en el texto.**



**4. Situación hipotética de las placas litosféricas móviles en el hemisferio norte de Marte hace 4.000 millones de años.**

cas consolidadas. Sin embargo, tanto los científicos a cargo del magnetómetro de la MGS como los que después han intervenido en la discusión prefieren pensar en un campo generado por una dinamo autoinducida radicada en el núcleo marciano. Es decir, un modelo geocéntrico, dentro del cual caben sin embargo dos variantes. La observación crítica es que las grandes cuencas de impacto (Hellas y Argyre, con 2.000 y 800 km de diámetro), que se suponen formadas hace entre 4.000 y 3.900 Ma, no presentan magnetismo remanente. Puesto que en estas estructuras tuvieron que formarse grandes lagos de lava (es decir, la situación ideal para la adquisición de magnetismo remanente), esto significa que no existía un campo magnético apreciable en Marte en aquélla época. Esta ausencia se ha interpretado de dos maneras: o bien el campo magnético se había extinguido ya, o bien aún no había comenzado a actuar. La mayoría de los geofísicos planetarios son de la primera opinión. Su principal argumento es que, puesto que la corteza donde se hallan las grandes bandas magnetizadas parece anterior a las cuencas de impacto, el pensar en un campo post-impactos equivaldría a imaginar dos etapas de magnetismo marciano separadas por un intervalo sin magnetismo: la navaja de Occam chirría con una solución de este tipo, defendida sin embargo por Gerald Schubert, de la Universidad de California, uno de los geofísicos planetarios de más prestigio. Argumenta que, por lo que sabemos del campo magnético lunar, éste surgió abruptamente hace 4.000 Ma, quizá a favor de la energía liberada por la solidificación del núcleo interno de la Luna. Sin embargo, nuestro propio campo magnético nos cuenta una historia muy distinta: tenemos pruebas de que existe desde hace al menos 3.800 Ma, pero sólo hace unos 1.000 Ma comenzó a solidificarse el núcleo interno, que actualmente ocupa nada más el 5% del total; de forma que no parece que la existencia de un núcleo interno sólido sea un requisito indispensable para un campo magnético. Por último, los partidarios del campo inicial tienen un último as en la manga: ALH84001, el meteorito que hasta hace poco ha sido el principal campo de batalla sobre la vida en Marte, tiene una magnetización remanente adquirida hace más de 4.000 Ma. Por mi parte, he confirmado mediante contajes de cráteres la gran antigüedad de las zonas de magnetismo remanente más intenso, que presentan edades de retención de cráteres siempre superiores a 3.000 Ma.

Así pues, Marte sería, como la Luna, un cuerpo planetario demasiado pequeño para retener largo tiempo calor interno, que se agotaría pronto, dejándonos como herencia la huella –ni-

tida– de un campo magnético, junto a otra, más borrosa, de una posible litosfera móvil. Pero, como sucede siempre en las ciencias fronterizas, lo que ignoramos es mucho más interesante que lo que creemos saber: el “modelo lunar” deja demasiadas preguntas en el aire. Por ejemplo:

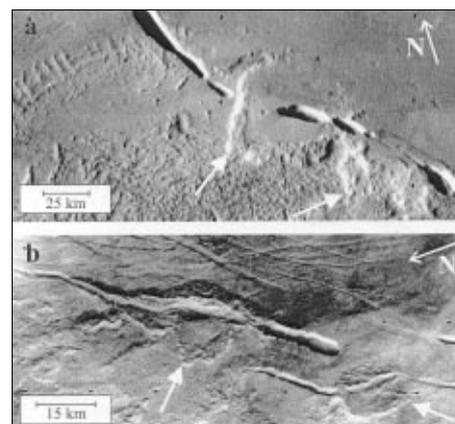
■ ¿Coincidió el magnetismo marciano con la hipotética fase de tectónica de placas (**Figura 4**)? Si lo hizo, ¿se trató de una casualidad, o de un *efecto dominó*, con el calor del núcleo provocando tanto el campo magnético como convección en el manto?

■ ¿Por qué el campo marciano parece tan intenso? En principio, la intensidad del magnetismo debería depender del tamaño y temperatura del núcleo, y ambas dimensiones tienen que ser menores en Marte que en la Tierra. Como veremos en seguida, quizá la clave esté en la mineralogía de los minerales de hierro presentes en Marte, que podrían ser más magnetizables que los terrestres.

■ ¿Cuál es el origen real del bandeo, teniendo en cuenta las dificultades de la explicación intrusiva? Algunas interpretaciones de la geometría del magnetismo remanente sugieren geometrías en espiral, aún más difíciles de interpretar.

■ ¿Por qué, si el campo ya se había extinguido hace 4.000 Ma, los meteoritos SNC (de Shergotty, Nakhla y Chassigny, las localidades de caída de los primeros tipos de meteoritos provenientes de Marte) siguen presentando un magnetismo remanente importante, como las 4.000 nanoteslas del meteorito de Nakhla, que cristalizó hace sólo 1.300 Ma?

Pero, de todas las cuestiones sin respuesta fácil, la más paradójica es: ¿cómo conjugar un campo magnético de vida tan corta con un vulcanismo que, según diversas evidencias (**Figura 5**), persiste hasta el presente? En principio, los dos fenómenos deberían estar conectados: los núcleos de los planetas son grandes depósitos de energía –adquirida esencialmente durante la acreción–, de modo que parece inevitable que un núcleo caliente transmita su energía al manto, energía que se reflejará en la superficie en forma de vulcanismo y tectónica. En el Seminario de Ciencias Planetarias de la Universidad Complutense hemos probado recientemente que también la generación de grandes fracturas es una característica del Marte actual. Lo cual plantea otro



**5. Pruebas de vulcanismo subactual en Marte: lavas (flechas) surgiendo de grandes fallas al pie de los volcanes Arsia Mons (a) y Pavonis Mons (b).**

problema añadido: ¿Qué mecanismo produce en Marte fallas transcurrentes de cientos de kilómetros de longitud, si la tectónica de placas se agotó hace miles de millones de años?

Recientemente, los geofísicos Francis Nimmo (Cambridge) y David Stevenson (CalTech), han propuesto una posible solución a una parte de estos problemas. Parten de un esquema semejante al de Condie, pero discuten que la historia térmica de Marte –o la de cualquier planeta– se reduzca a un aburrido enfriamiento exponencial. Según ellos, hace más de 4.000 Ma Marte atravesó con éxito, pero de forma efímera, su ventana de tectónica de placas. Durante esta corta etapa, el manto fue refrigerado eficazmente mediante la circulación convectiva; sin embargo, esta refrigeración hizo aumentar la viscosidad del manto, lo que significó el final de la fase de movilidad litosférica. A partir de este momento, el manto comenzó a acumular calor –de origen sobre todo radiactivo– hasta que su temperatura se acercó a la del núcleo. En un momento dado, hace unos 4.000 Ma, la diferencia de gradiente entre las dos capas fue tan pequeña que la convección en el núcleo quedó inhibida, ya que para que se establezca convección es imprescindible que haya una fuente de calor en la capa convectiva, pero también un nivel superior más frío. Ésta habría sido la causa de la defunción de la geodinamo marciana. Como puede verse, Nimmo y Stevenson dan hábilmente la vuelta al problema, haciendo de la tectónica de placas la causa, y no el efecto, del campo magnético de Marte: contra la noción más intuitiva, el efecto dominó comenzaría en la superficie y acabaría en el núcleo. Una virtud de este modelo es que podría explicar máximos térmicos relativos en las evoluciones planetarias: el caso más llamativo de estos episodios de manto caliente es el de Venus, cuya superficie parece haber sido inundada casi totalmente por lava hace unos 500 Ma.

Basta, sin embargo, con pasar revista a las preguntas anteriores para comprobar el largo camino que este modelo tiene aún que recorrer para ser considerado satisfactorio. El magnetismo remanente de los meteoritos SNC, producido más de 3.000 Ma después de la extinción teórica de la geodinamo, queda sin resolver, lo mismo que el origen del bandeo. La persistencia del vulcanismo podría tener una explicación parcial en el calentamiento del manto, pero el mismo Stevenson se pregunta si es razonable esperar 4.000 millones de años de vulcanismo en un planeta con el núcleo inactivo. Para complicar este aspecto, hay que recordar que suponemos que los volcanes marcianos son “puntos calientes”, es decir, que están –como los terrestres– alimentados por anomalías térmicas que surgen en la interfase manto-núcleo; pero esto sólo es posible con un núcleo notablemente más caliente que el manto. Lo cual significa que la hipótesis manto caliente-núcleo frío nos dejaría sin explicaciones para los volcanes gigantes del domo de Tharsis, algunos de los cuales tienen claros signos de actividad reciente.

Otros resultados de la MGS están contribuyendo a desenredar una parte de la maraña: por ejemplo, el experimento del espectrómetro de emisión térmica ha avanzado en la caracterización geofísica y mineralógica del planeta. El hemisferio Norte emite más calor, lo que es coherente con su ausencia de magne-

tismo remanente, y con la suposición de que se trata de corteza más joven que la de las tierras altas del Sur. Sin embargo, y al contrario de nuestra *lógica terrestre*, las rocas de las tierras altas parecen basaltos, mientras que las de las zonas bajas parecen más ricas en sílice: es como si granitos y basaltos –los representantes típicos respectivos de las cortezas continental y oceánica de la Tierra– estuviesen cambiados en Marte. La abundancia de hierro en la superficie ha permitido calcular que la concentración de este elemento en el manto de Marte es del doble que la terrestre, lo que podría explicar los altos valores de la magnetización remanente: el campo magnético de Marte no habría sido tan intenso, sino que las rocas de este planeta son grabadoras de primera calidad. Por otra parte, la zona de Arabia Terra parece tener una corteza de espesor intermedio entre los de los dos tipos, lo que es compatible con la subducción y adelgazamiento cortical bajo esta región.

## IMPLICACIONES

Marte tuvo un campo magnético durante la etapa crítica de su evolución como planeta. Los especialistas en Arcaico calculan que en la Tierra la vida pudo surgir hace 4.000 a 4.400 Ma (dependiendo que se suponga el origen en un mar somero, o bien en torno a chimeneas hidrotermales profundas, que estarían más protegidas del bombardeo asteroidal). En esta misma época, Marte disfrutaba –gracias a la protección de su campo magnético contra la erosión por el viento solar– de una atmósfera densa, reflejada en los canales de desbordamiento más antiguos y –aunque esto es más especulativo– en la generalmente aceptada sugerencia de que Fobos sea un asteroide carbonáceo capturado, algo imposible sin contar con una atmósfera importante. Por tanto, es en el Marte primordial donde el modelo del océano transitorio parece más verosímil. Este Marte de clima benigno pudo, igual que lo hizo la Tierra en el mismo periodo, albergar vida de tipo bacteriano. En el debate en torno al meteorito ALH84001, el argumento del bando pro-biológico que más ha resistido los ataques de sus adversarios es el de los cristales de magnetita de forma exa-octaédrica truncada y monomagnéticos. En la Tierra, esta cristalografía parece exclusiva de la magnetita sintetizada por las bacterias magnetotácticas. Su hipotética existencia en Marte serviría para unir varios hilos sólo aparentemente inconexos de esta trama: el calor interno y su influencia en la posible fase de tectónica de placas; la comunidad del clima inicial de los planetas terrestres; el océano primordial de Marte (ya que la magnetita sólo es útil como bio-orientador en un medio líquido); y por último el origen multiplanetario –¿panspérmico?– de formas de vida dotadas de lo que podrían ser sorprendentes paralelismos metabólicos y fisiológicos con la biosfera terrestre. Este último argumento tiene sin embargo un lastre demasiado pesado, porque ALH84001 es una roca plutónica, o sea formada en una cámara magmática profunda, un ambiente en el que la natación tiene poco sentido, incluso en Marte.

El campo magnético aparece por lo tanto como el telón de fondo de todos estos temas de importancia capital: una propiedad del interior de los planetas que, cada vez más, se revela decisiva para configurar la evolución, tanto térmica como climática y biológica, de los cuerpos planetarios. ■

# La economía del hidrógeno. Una visión global sobre la revolución energética del siglo XXI

## 2. Aplicaciones convencionales del hidrógeno y pilas de combustible

AUTORES: G. SAN MIGUEL, J. DUFOUR\*, J. A. CALLES,  
J. A. BOTAS  
*Grupo de Ingeniería Química y Ambiental.  
Escuela Superior de Ciencias Experimentales y  
Tecnología (ESCET), Universidad Rey Juan Carlos  
\* e-mail: javier.dufour@urjc.es*

### 1. INTRODUCCIÓN

La implantación de la llamada economía del hidrógeno se perfila como una realidad ineludible en los próximos años. Con el precio del crudo en máximos históricos y los efectos del calentamiento global mostrándose de forma cada vez más palpable en el planeta, la necesidad de una alternativa al consumo masivo de combustibles fósiles se hace cada vez más necesaria.

En un primer artículo, Botas y col. (2005) realizaron una revisión de la situación actual respecto a la utilización del hidrógeno como vector energético, describiendo las barreras tecnológicas, económicas y culturales a las que se enfrenta su aplicación a nivel global. En aquel trabajo se explicaron también los procesos que existen en la actualidad para la producción y el almacenamiento de este compuesto, y evaluó el desarrollo de nuevas tecnologías que se espera solucionen algunos de los problemas de viabilidad existentes.

Este segundo trabajo comienza con una revisión de los usos convencionales del hidrógeno en distintas aplicaciones tanto industriales como energéticas, para centrarse en el funcionamiento y la aplicación de las pilas de combustibles.

### 2. USOS CONVENCIONALES

#### DEL HIDRÓGENO

El hidrógeno es una molécula muy importante que se emplea convencionalmente en un gran número de aplicaciones y usos en sectores tan diversos como la industria química, refinero, metalúrgica, vidrio o electrónica, entre otros.

#### 2.1 Hidrógeno en la Industria Química

El hidrógeno es un compuesto de gran interés para la industria química, participando en reacciones de adición en procesos de hidrogenación o como agente reductor en proce-

sos de reducción. A continuación se citan algunos de los procesos más importantes en los que participa:

- Síntesis de amoníaco. El amoníaco se obtiene por la reacción catalítica entre nitrógeno e hidrógeno.

- Procesos de Refinería. Los procesos de hidrogenación en refinería tienen como objetivo principal la obtención de fracciones ligeras de crudo a partir de fracciones pesadas, aumentando su contenido en hidrógeno y disminuyendo su peso molecular. De forma simultánea pueden eliminarse elementos indeseados como azufre, nitrógeno y metales.

- Tratamiento de carbón. Mediante el tratamiento de carbón en presencia de hidrógeno, en diferentes condiciones de presión, temperatura, pueden obtenerse productos líquidos y/o gaseosos mediante diferentes procesos (hidrogenación, hidropirolysis, y gasificación hidrogenante).

- Aprovechamiento del Gas de Síntesis. La producción de hidrógeno a partir de hidrocarburos conduce a una mezcla de gases formada principalmente por hidrógeno y monóxido de carbono. Esta mezcla de gases se denomina Gas de Síntesis debido a su empleo en procesos de síntesis de productos químicos especiales, como por ejemplo la síntesis de metanol, síntesis Fisher-Tropsch, hidroformilación de olefinas (síntesis oxo) y síntesis de metano y etileno, entre otras.

- Síntesis orgánica. En química orgánica el hidrógeno participa en un gran número de procesos de hidrogenación o reducción para la obtención de productos químicos e intermedios.

- Síntesis inorgánica. El hidrógeno es imprescindible en procesos de importancia comercial como por ejemplo la producción de ácido clorhídrico, peróxido de hidrógeno, hidroxilaminas, etc.

#### 2.2. Hidrógeno en la Industria Metalúrgica

En la industria siderúrgica, el mineral de hierro puede ser reducido empleando coque o un gas que contenga hidrógeno, monóxido de carbono, o mezclas de éstos. Este gas reductor puede obtenerse mediante reformado con vapor de agua u oxidación parcial de combustibles fósiles.

Además, en la industria metalúrgica, el hidrógeno se emplea como agente reductor y en procesos de producción de

otros metales no-férricos (como por ejemplo cobre, níquel, cobalto, molibdeno, uranio, etc.).

### 2.3. Otros usos.

Además de los usos industriales del hidrógeno mencionados en los apartados anteriores, que son los de mayor volumen de utilización, cabe citar los siguientes:

- Combustible aeroespacial. Además de servir como suministro de energía para los ordenadores y sistemas de soporte en el espacio, obteniendo agua como "subproducto".
- Llamas de alta temperatura. La combustión de una mezcla estequiométrica de hidrógeno y oxígeno conduce a temperaturas de llama comprendidas entre 3000 y 3500 K, las cuales pueden ser usadas para corte y soldadura en la industria del metal, crecimiento de cristales sintéticos, producción de cuarzo, etc.
- Plasma de hidrógeno. El elevado contenido calorífico de un plasma de hidrógeno puede ser utilizado en algunos procesos de producción.
- Procesamiento de metales. Es habitual añadir diferentes proporciones de hidrógeno a las corrientes gaseosas empleadas en diferentes procesos de corte y soldadura, tratamientos superficiales (atomización) y tratamientos en atmósferas especiales (templado, sinterización, fusión, flotación de vidrio, etc.).
- Producción de semiconductores. Para producir semiconductores dopados se depositan en una matriz de silicio cantidades traza de elementos (Si, As, Ge, etc.), en forma de hidruros, mezclados con una corriente de hidrógeno de elevada pureza.
- Tratamiento de agua. Los contenidos demasiado elevados de nitratos en aguas potables pueden ser reducidos por desnitrificación en bioreactores, en los que las bacterias emplean el hidrógeno como fuente de energía.
- Otros usos. El hidrógeno se emplea también para aumentar la temperatura de transición de aleaciones superconductoras, así como gas portador y combustible en cromatografía gaseosa. El hidrógeno líquido se usa como refrigerante, por ejemplo para enfriar metales superconductores a temperaturas inferiores a las de transición.

## 3. USOS ENERGÉTICOS

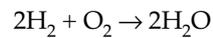
### DEL HIDRÓGENO

El hidrógeno puede quemarse directamente para la generación de electricidad mediante turbinas de gas y ciclos combinados o directamente como combustible de motores. Las principales ventajas de este compuesto se centran en las elevadas eficacias que pueden alcanzarse y en que el único producto de su combustión es vapor de agua, estando exento de NOx, si se controla la temperatura para inhibir la reacción

entre el nitrógeno y el oxígeno atmosféricos, y de CO<sub>2</sub>, evitando la contribución al calentamiento global.

### 3.1. Combustión directa

La combustión del hidrógeno con oxígeno puro conduce a la formación de vapor de agua puro:



El principal inconveniente de esta reacción es la alta temperatura desarrollada en la zona de la llama, superior a 3.000 °C, lo que acarrea problemas con los materiales de los equipos y por la generación de NOx, como se comentó previamente. Para solventarlos puede recurrirse a la inyección de agua adicional, lo que permite ajustar la temperatura del vapor al valor deseado, pudiendo obtenerse vapor saturado o sobrecalentado.

Otra alternativa es recurrir al empleo de catalizadores basados en platino (combustión catalítica), consiguiendo que la reacción tenga lugar a menores temperaturas, desde ambiente hasta 500 °C.

Los gases de combustión producidos pueden llevarse directamente a una turbina de gas o a un ciclo combinado de turbina de vapor / turbina de gas para la generación de electricidad.

### 3.2. Combustible de Motores

Una de las aplicaciones tradicionales del hidrógeno ha sido como combustible de cohetes y transbordadores espaciales. Los programas espaciales son los mayores consumidores de hidrógeno líquido, habiendo adquirido gran experiencia en su manejo que puede ser la base de futuros desarrollos en otros campos.

Las investigaciones actuales se están centrando tanto en motores de combustión externa (motores Stirling) o interna para vehículos de transporte terrestre, aéreo y marítimo. Según describe la American Stirling Company (ASC), en los motores Stirling, el hidrógeno se utiliza como el gas de trabajo que se mueve de la parte fría a la caliente del cilindro sellado.

El uso de hidrógeno en motores de combustión interna es un campo que está recibiendo cada vez más interés. El hidrógeno es un excelente combustible, haciendo que los motores basados en este gas sean un 20 % más eficaces que los que emplean gasolina. Esta clara diferencia se debe a las características del hidrógeno:

- Su elevada difusividad facilita la formación de mezclas combustible-aire mucho más homogéneas que con cualquier otro combustible.
- Su amplio intervalo de inflamabilidad (4-75%) hace que sea capaz de arder en mezclas pobres. Con ello se consigue una mayor facilidad de arranque (también relacionada con su baja energía de ignición), que la combustión sea más completa y una mejor economía del combustible. Además, la tempera-

tura final de combustión es menor, minimizando la formación de óxidos de nitrógeno.

- Su alta temperatura de auto-ignición permite mayores relaciones de compresión en los pistones, proporcionando mayores eficacias térmicas.

El principal inconveniente del hidrógeno es su baja densidad energética volumétrica (energía/volumen) que lleva a la necesidad de grandes tanques de almacenamiento y a que la mezcla estequiométrica aire/combustible en los cilindros del motor tenga un menor contenido energético, produciéndose una pérdida de potencia. Este factor también limita el contenido en hidrógeno en dicha mezcla, no permitiendo que ésta sea demasiado pobre. El uso de técnicas avanzadas de inyección del combustible o de hidrógeno líquido podría ser una mejora para estos problemas.

#### 4. EL HIDRÓGENO Y LAS PILAS

##### DE COMBUSTIBLE

Más que en el uso directo del hidrógeno como combustible, la revolución energética que supone la economía del hidrógeno se basa en el uso de este gas por medio de las llamadas pilas de combustible.

#### 4.1. Fundamentos del funcionamiento de pilas de combustible

Las células o pilas de combustible son dispositivos que permiten la conversión de la energía química de una sustancia en energía eléctrica y calor mediante un proceso electroquímico. Esta transformación utiliza directamente la energía libre disponible en el combustible a su temperatura de operación y no está limitada por el ciclo de Carnot, alcanzando rendimientos superiores a los procesos convencionales. El cambio en la energía libre de Gibbs de la reacción está relacionado con el voltaje de la pila según:

$$\Delta G = n \cdot F \cdot \Delta V$$

donde  $n$ , es el número de electrones implicados en la reacción, y  $\Delta V$  es el voltaje generado.

En los procesos convencionales, la energía química del combustible se transforma en primer lugar en energía térmica de un fluido, posteriormente en energía mecánica de un eje (turbina o motor) y finalmente en energía eléctrica. En las pilas, se pasa directamente de energía química a eléctrica sin las conversiones intermedias de energía térmica o mecánica. Además, el combustible y oxidante no reaccionan en un proceso rápido de combustión sino que reaccionan por etapas en electrodos separados, uno positivo (cátodo) y otro negativo (ánodo). Un electrolito separa los dos electrodos y la velocidad de reacción queda limitada por el tiempo que tardan las especies en difundirse entre los electrodos a través del electrolito y por la cinética de la reacción.

Las pilas de combustible se diferencian de las baterías en que las últimas se pueden considerar dispositivos de almacén de la energía, en función de la cantidad de reactivos químicos que tiene la batería. Cuando estos reactivos se agotan, la batería deja de producir energía eléctrica, mientras que la pila se alimenta de forma continua.

La idea original es de un jurista inglés, sir William Grove, cuando en 1839 presentó el primer dispositivo constituido por dos electrodos de platino sumergidos en ácido sulfúrico que alimentaba con oxígeno e hidrógeno. Sin embargo hasta el siglo siguiente, en 1959, no se construyó (Francis Bacon) la primera planta de 5 kW de potencia. La pila estaba constituida por un ánodo de níquel, un cátodo de oxígeno y un electrolito de hidróxido potásico concentrado.

Los equipos de pila de combustible están constituidos por dos electrodos, un electrolito que se encarga de transportar los iones producidos en las reacciones redox, una matriz que contiene al electrolito cuando este no es sólido y una placa bipolar que actúa como colector de corriente y distribuidor de los gases de la pila. Como se ha comentado, funcionan como una pila convencional con la diferencia de que los reactivos y los productos no están almacenados, sino que se alimentan y se extraen en continuo.

En principio, cualquier compuesto químico susceptible de oxidación y reducción química que pueda alimentarse de forma continua a la pila puede utilizarse como combustible y oxidante, respectivamente. Los más utilizados hasta el momento son el hidrógeno (combustible) que se alimenta al ánodo y el oxígeno (oxidante) al cátodo. El hidrógeno suministrado a la pila se difunde a través del ánodo poroso y activado por un catalizador reacciona sobre la superficie del ánodo con los iones  $\text{OH}^-$ , formando agua y liberando electrones libres según:

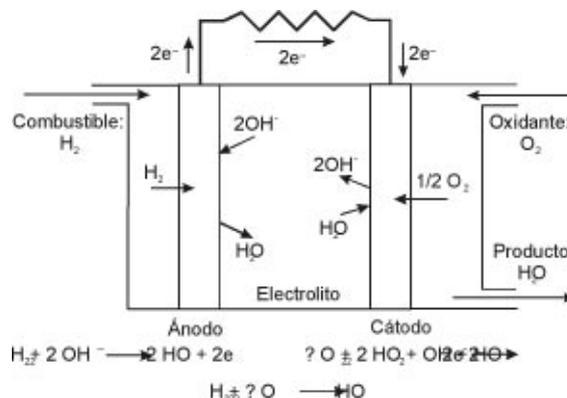
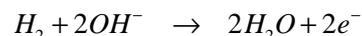


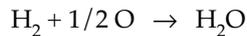
Figura 1: Pila de combustible de hidrógeno-oxígeno.

Como se muestra en la Figura 1, los electrones van por un circuito externo, creando un flujo de electricidad y el agua generada se dirige hacia el electrolito. El oxígeno se combina en

la superficie del cátodo con el agua del electrolito y los electrones del circuito exterior, para formar  $\text{OH}^-$  y agua según:

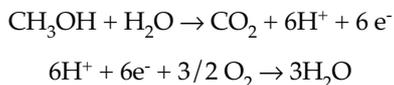


El electrolito, que separa ambos electrodos, transporta los iones  $\text{OH}^-$  y completa el circuito y el agua es eliminada de la célula. La reacción global de la célula es:



que es la misma que la reacción de combustión del hidrógeno y que es altamente exotérmica. En la célula de combustible, sin embargo, tan sólo una cantidad relativamente pequeña de calor es transferida entre la célula y su entorno. Además, la temperatura dentro de la célula de combustible es pequeña frente a la de los productos en las reacciones de combustión rápidas. Así, la reacción química se aprovecha para producir electricidad sin partes móviles y sin utilizar transferencias de calor intermedias como en las centrales térmicas convencionales. Además los reactivos entran y salen separados, y la velocidad del proceso es lenta y se puede controlar con la difusión a través del electrolito.

Además de estas pilas basadas en el hidrógeno, también se están desarrollando las pilas de metanol directo. En este caso el catalizador del ánodo extrae el hidrógeno del metanol líquido, eliminando la necesidad del reformador de combustible.



En el funcionamiento de las pilas, los gases pasan al electrolito a través de los poros de los electrodos (oxidante en el cátodo y combustible en el ánodo) de forma que se obtiene una interfase *reactivos-electrolito-electrodo* que desempeña un papel fundamental en el comportamiento de la pila. La cantidad de electrolito en dicha interfase es un factor clave puesto que controla la velocidad de difusión de los gases e iones presentes en la pila.

En el proceso electroquímico también se libera energía en forma de calor, en mayor o menor cantidad según el tipo de pila, lo que permite la posibilidad de utilizar la cogeneración (generación simultánea de electricidad y calor). La producción simultánea de electricidad en la pila y el aprovechamiento del calor generado, bien para obtener más energía eléctrica (en una turbina) o para suplir las necesidades térmicas de la instalación donde esté ubicada la pila, permite obtener una mayor eficiencia global:

$$\eta_{TOTAL} = \frac{Q + E}{Q_0}$$

donde Q es la energía utilizada en forma de calor, E la energía eléctrica producida en la pila y  $Q_0$  la energía disponible en el combustible utilizado. Esta opción es muy utilizada en

aplicaciones estacionarias de pilas de combustible en centrales de potencia media y elevada.

Entre las ventajas que presenta este tipo de dispositivos, destacan:

- Bajo impacto medioambiental. Al no haber combustión a alta temperatura, no se producen hidrocarburos sin oxidar, ni óxidos de nitrógeno. El factor de reducción de estos contaminantes químicos varía entre el 99 y 99,5 % (según el método de obtención del hidrógeno). Asimismo, al ser un sistema de alta eficiencia, las emisiones de dióxido de carbono por kWh se reducen drásticamente. Si el hidrógeno se obtiene a partir de fuentes renovables las emisiones netas serían nulas. En aplicaciones portátiles y de transporte, sólo se emite agua como producto, en el punto de utilización de la energía.

- Por otro lado y debido a que no tiene partes móviles, el nivel de contaminación acústica es muy reducido (< 45 db a 10 m) y puede ubicarse en lugares densamente poblados.

- Eficiencia. Son más eficientes que cualquier sistema convencional ya que no están sujetas a las restricciones del factor de Carnot. La eficiencia de las máquinas de combustión interna o de vapor (más ampliamente utilizadas) está limitada por las temperaturas a las cuales el calor es suministrado ( $T_1$ ) y eliminado ( $T_0$ ), de acuerdo con el ciclo de Carnot:

$$\eta_c = 1 - \frac{T_0}{T_1}$$

proporcionando eficiencias prácticas máximas entre 40 y 50%. En las pilas, la máxima cantidad de energía calorífica que se puede producir isotérmicamente e isoestáticamente mediante la reacción global es el cambio de entalpía,  $\Delta H$ , pero la pila solamente puede convertir en electricidad una cantidad equivalente a la energía libre de Gibbs,  $\Delta G$  ( $\Delta H = \Delta G + T\Delta S$ ). La diferencia,  $T\Delta S$ , es la cantidad mínima de calor que se produce en un proceso isoterma e isoestático. Por ejemplo, para la pila de hidrógeno - oxígeno:  $\Delta G = -237,2 \text{ kJ/mol}$  y  $\Delta H = -285,8 \text{ kJ/mol}$ , con lo cual:

$$\eta_{pila} = \frac{\Delta G}{\Delta H} 100 = 83\%$$

Desde un punto de vista práctico, teniendo en cuenta todas las pérdidas del sistema real, se pueden llegar a alcanzar eficiencias del 75%.

- Flexibilidad de operación. Una pila de combustible genera una tensión entre 0,5 y 1 voltio y puede ser conectada en serie con otras unidades para obtener la tensión deseada. La eficiencia es relativamente constante en un amplio intervalo de carga (30 a 100 %). En contraste los sistemas convencionales son poco flexibles, ya que para optimizar su eficiencia han de mantener una carga superior al 80%, utilizándose en producción todo-nada. El concepto de todo-nada se refiere a los sistemas que operan siempre al 100% de su capacidad y para conseguir un valor medio del 80% no pueden estar en mar-

cha todo el tiempo. Por eso hay tiempos en los que se paran y otros en los que funcionan pero al 100%.

- Flexibilidad de combustibles. El hidrógeno que se alimenta a la pila puede ser obtenido a partir de una amplia variedad de procedimientos y combustibles primarios, así como a partir de fuentes de energía renovables.

- Bajo mantenimiento, debido a que no tiene partes móviles como las máquinas de combustión interna.

- Entre las desventajas, destacan:

- La producción, transporte, distribución y almacenamiento de las cantidades de hidrógeno que hacen falta no está todavía resuelta.

- Elevados costes de operación y de fabricación de las pilas.

- Vida limitada de la pila.

- La carga de combustible y puesta en marcha de los vehículos basados en pilas de combustible no es tan rápida como en el caso de los motores de combustión interna.

- La tecnología no está todavía lo suficientemente desarrollada y no hay muchos productos comerciales disponibles.

#### 4.2. Tipos de pilas de combustible

Las pilas de combustible se pueden clasificar en base a diferentes criterios tales como: tipo de combustible y oxidante, tipo de electrolito, temperatura, sistema de alimentación de reactivos a la pila y lugar donde se procesa el combustible. La clasificación más utilizada es la referente al tipo de electrolito, que a su vez condiciona la temperatura de operación de la pila, los materiales que pueden usarse, el tiempo de vida y las reacciones que tienen lugar en los electrodos. Como se describe en la Tabla 1, los diferentes tipos de células de combustible, actualmente en diferente fase de desarrollo, son fundamentalmente seis:

- **Alcalinas** (AFC: Alkaline Fuel Cell). Usan como electrolito una disolución de KOH concentrada (85%) para operación a alta temperatura (250 °C) o menos concentrada (35-50 %) para trabajar a menores temperaturas (<120 °C). Al ser un electrolito líquido se impregna en una matriz, normalmente asbesto. Los electrodos contienen cantidades elevadas de metales nobles tales como platino/paladio u oro/platino. Existe un amplio abanico de electrocatalizadores que pueden usarse (níquel, plata y

Tabla 1. Características principales de los tipos de pilas más habituales

Parámetro	Tipo de pila					
	AFC	PAFC	PEMFC	SOFC	MCFC	DMFC
Temperatura (°C)	120 - 250	150 - 220	60 - 100	900 - 1000	650 - 750	50 - 200
Rendimiento (%)	< 70%	40 - 50	40 - 55	45 - 75	50 - 70	40
Conductor iónico	OH <sup>-</sup>	H <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	O <sup>2-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sup>+</sup>
Densidad de potencia (kW m <sup>-2</sup> )		0,8 - 2	4 - 6,5	1,5 - 2,5	0,1 - 1,5	< 10 kW
Intervalo de potencia (kW)	5 - 150	50 - 11.000	5 - 250	100 - 250	100 - 2.000	5
Ventajas	Tecnología muy desarrollada	Posibilidad de cogeneración Muy desarrolladas	Respuesta rápida a cambios en demanda Baja temperatura	Alta densidad de corriente Posibilidad de cogeneración Ausencia de corrosión	Admiten CO y CO <sub>2</sub> Posibilidad de cogeneración	No requiere procesador de combustible Combustible líquido
Inconvenientes	No permiten la presencia de CO <sub>2</sub>	Peso y tamaño elevados	Coste de catalizadores Hidrógeno de pureza elevada	Temperatura demasiado alta	Electrolito corrosivo	Selectividad de la membrana Rendimiento bajo
Aplicaciones	Misiones espaciales, transporte, submarinos	Coste platino Aplicaciones estacionarias	Vehículos ligeros, edificios, aplicaciones de baja producción	Aplicaciones estacionarias	Aplicaciones estacionarias	Aplicaciones portátiles

óxidos metálicos). Este tipo de células no permiten la presencia de dióxido de carbono en el combustible o en el oxidante, pues que pueden producir la carbonatación del combustible.

- **Ácido fosfórico** (PAFC: Phosphoric Acid Fuel Cell). El electrolito es ácido fosfórico concentrado (~100%), impregnado en una matriz (habitualmente de carburo de silicio) y operan a temperaturas comprendidas entre 150 – 220 °C. Los electrodos son de platino soportado normalmente sobre carbón y tienen elevada sensibilidad al envenenamiento por monóxido de carbono (toleran una concentración inferior al 1,5%). El vapor de agua producido puede usarse para cogeneración. En cuanto a las desventajas, se pueden citar: el uso de platino por su alto precio, menor capacidad de generación que otras células y un mayor tamaño y peso.

- **Poliméricas o de membrana** (PEFC: Polymer Electrolyte Fuel Cell, PEMFC: Proton Exchange Membrana Fuel Cell). Usan una membrana polimérica fina como electrolito (normalmente de ácidos sulfónicos perfluorados) que debe estar hidratada para permitir la conducción de los protones. Se han desarrollado membranas de 12-20  $\mu\text{m}$ , que son excelentes conductoras de protones. La membrana está recubierta en ambas caras con partículas de metales o aleaciones metálicas muy dispersas, que son los catalizadores. El catalizador más usado es platino soportado sobre carbón (con cargas de 0,3  $\text{mg}/\text{cm}^2$ ), o si el hidrógeno alimento tiene trazas de monóxido de carbono se emplean aleaciones de platino y rutenio. Estas células trabajan a temperaturas relativamente bajas (60-100 °C), soportan altas densidades de corriente y son adecuadas en aplicaciones donde se necesitan respuestas rápidas a cambios en la demanda, como en los automóviles.

- **Óxidos sólidos** (SOFC: Solid Oxide Fuel Cell; IT-SOFC: Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cell). Utilizan como electrolito un óxido metálico no poroso, normalmente  $\text{ZrO}_2$  estabilizado con  $\text{Y}_2\text{O}_3$ . El sistema trabaja a 900-1.000 °C, produciéndose la conducción iónica por los iones oxígeno. El ánodo es una mezcla de metal de níquel y óxido de circonio y el cátodo de manganita de lantano con estroncio o selenio. Puede usarse para aplicaciones de alta energía, incluyendo centrales de generación eléctrica industriales de gran tamaño. Las eficacias pueden alcanzar el 60% y el 85% con cogeneración

- **Carbonatos fundidos** (MCFC: Molten Carbonate Fuel Cell). El electrolito es una combinación de carbonatos de litio, sodio y/o potasio, impregnados en una matriz cerámica de aluminato de litio ( $\text{LiAlO}_2$ ). Trabajan a 600-700 °C, ya que en este intervalo los carbonatos forman una sal fundida altamente conductora, proporcionando los aniones carbonato la conducción iónica. Debido a la elevada temperatura, no se necesitan metales nobles para las reacciones de oxidación y reducción, utilizándose níquel dopado con cromo o aluminio en el ánodo y óxido de níquel con litio en el cátodo. Se pueden alcanzar eficacias del 70%, además de la

posibilidad de realizar cogeneración con el calor residual producido. Admiten dióxido y monóxido de carbono como oxidantes, con lo que pueden utilizarse con hidrógeno obtenido a partir de combustibles fósiles.

- **Metanol directo** (DMFC: Direct Methanol Fuel Cell). Son similares a las PEMFC puesto que tienen una membrana para separar los electrodos. Sin embargo utilizan un electrocatalizador en el ánodo para obtener hidrógeno a partir del metanol, eliminando la necesidad del reformador del combustible. Como electrocatalizadores se utilizan mezclas de metales como platino/rutenio o platino/estaño. Estas pilas trabajan a temperaturas bajas, similares a las PEMFC aunque un poco superiores para aumentar la densidad de potencia. La opción del metanol como combustible es muy atractiva, puesto que puede obtenerse a partir de gas natural o biomasa y tiene una densidad energética específica muy alta.

### 4.3. Aplicaciones de las pilas de combustibles

Las principales aplicaciones de las pilas de combustible son tres: estacionarias, móviles y portátiles.

#### 4.3.1. Aplicaciones estacionarias

Estas aplicaciones se realizan en sistemas y plantas de producción de energía eléctrica. Se pueden emplear en una gran variedad de aplicaciones con un gran intervalo de potencia (del orden de vatios a megavatios). Las pilas que operan a baja temperatura tienen la ventaja de un menor tiempo de puesta en marcha y las que operan a alta tienen la ventaja de la posibilidad de cogeneración (obtención simultánea de energía eléctrica y térmica).

Las pilas de menor potencia (inferior a 1 kW) son útiles para suministrar potencia a equipos que trabajan en estacionario en lugares aislados, núcleos rurales o montañosos en los cuales no es rentable hacer llegar el tendido eléctrico. Las elevadas densidades de potencia de las pilas de combustible permiten unos tiempos de operación superiores a las baterías convencionales. Además, dado el carácter modular de las pilas y a que se pueden alimentar en continuo, se pueden satisfacer variaciones en la demanda de potencia. En este caso se suelen utilizar pilas del tipo PEM, SOFC y PAFC.

Para potencias medias (1 – 10 kW) se utilizan pilas en edificios y residencias en núcleos urbanos y rurales. En la mayoría de los casos se utilizan con cogeneración para obtener agua caliente y/o calefacción. En estas aplicaciones las pilas más utilizadas son las PEMFC utilizando como combustible gas natural, propano, y en algún caso aislado, hidrógeno.

Finalmente, las plantas de producción de energía eléctrica de mayor potencia (10 kW – 100 MW) utilizan generalmente gas natural como combustible y mayoritariamente se utilizan pilas del tipo SOFC y MCFC. Frente a las centrales convencionales, las basadas en pilas tienen la ventaja de que su eficiencia no depende del tamaño con lo cual se pueden

construir plantas de producción más compactas y con menores costes de producción que las convencionales. Las plantas de potencias inferiores a 1 MW pueden utilizar cogeneración, se pueden utilizar con cualquiera de los seis tipos de pilas mencionados anteriormente y se suelen ubicar en la propia instalación de consumo. Las instalaciones de mayor potencia se utilizan para generación distribuida y se ubican próximas a los usuarios finales.

#### 4.3.2. Aplicaciones móviles

Estas aplicaciones se realizan en motores de vehículos para el transporte terrestre, propulsión de barcos y submarinos, así como naves espaciales. El desarrollo de estas aplicaciones surge como consecuencia de la necesidad creciente de disponer de vehículos más eficientes en el uso de la energía y más limpios en sus emisiones. En el caso de las pilas, utilizando hidrógeno como combustible, las emisiones en el punto de aplicación son nulas y las eficiencias de las pilas actuales bastante elevadas. Cuando se utilizan otros combustibles, es necesario añadir al vehículo un sistema de transformación del combustible utilizado en hidrógeno. En este caso, sí se emiten gases contaminantes tales como monóxido de carbono, así como gases de efecto invernadero, pero en menores cantidades que con los motores de combustión interna. Así pues, los vehículos de pilas tienen las ventajas de los motores eléctricos y además son más silenciosos, ya que no tienen partes móviles, y con menores costes de mantenimiento.

Para esta aplicación el tamaño y peso de la pila es un factor crítico, así como conseguir tiempos de respuesta rápidos y tiempos de puesta en marcha reducidos. El tipo de pila más utilizado en esta aplicación es de PEMFC. Las pilas AFC también se han propuesto como alternativas en vehículos híbridos. Actualmente se está contemplando la utilización de metanol, etanol y gas natural como combustibles primarios pero sin embargo a largo plazo parece más probable la utilización directa de hidrógeno obtenido a partir de fuentes de energía renovables. No obstante, a día de hoy se requiere todavía un esfuerzo importante en desarrollar métodos de obtención de hidrógeno barato y sistemas de almacenamiento y distribución del mismo. La potencia mínima de una pila para un automóvil es de unos 60 kW y los desarrollos realizados hasta el momento se han dirigido hacia reducir el tamaño y peso de las pilas utilizadas, aumentar la potencia y, desarrollar sistemas de almacenamiento y procesado del combustible.

En el caso del transporte público, las pilas de combustible han tenido mayor aceptación y se han desarrollado en mayor extensión. Así por ejemplo, la empresa Ballard, líder en el sector de pilas de combustibles, ya presentó un primer prototipo de autobús en 1993 propulsado por una pila PEM utilizando hidrógeno como combustible. En la actualidad, en Madrid hay varios autobuses que utilizan una pila PEM que se alimenta directamente con hidrógeno comprimido, que se obtiene por reformado de gas natural en una instalación estacionaria.

Hay también aplicaciones de menor potencia (< 10 kW) para motocicletas, vehículos pequeños de desplazamiento en

zonas de recreo y barcos de recreo. Los combustibles utilizados son metanol, propano y algún hidrocarburo líquido derivado del Gas Natural.

#### 4.3.3. Aplicaciones portátiles

Estas aplicaciones se utilizan para fuentes de alimentación en equipos de pequeño tamaño tales como ordenadores portátiles, teléfonos móviles y otros aparatos electrónicos portátiles cuyo número y variedad crecen continuamente. Todos estos equipos se caracterizan porque requieren fuentes de alimentación de baja potencia por lo que tradicionalmente se vienen utilizando baterías convencionales, recargables o de un solo uso.

Recientemente se han comenzado a desarrollar pilas de combustible para estas aplicaciones, ya que éstas tienen una mayor vida útil, se alimentan en continuo y tienen un menor impacto contaminante. Sin embargo todavía hay que superar determinadas barreras tecnológicas, siendo la más importante la reducción en el tamaño de las pilas para que pueda ubicarse en espacios tan pequeños como 1 mm. Además, tienen que operar con buenas eficiencias a temperatura y presión ambiente. Por razones de seguridad y almacenamiento, en este caso no se recomienda el uso del hidrógeno como combustible primario. Los sistemas desarrollados actualmente se basan en pilas de metanol directo (DMFC) de baja potencia y con catalizadores que permiten trabajar a temperatura ambiente. ■

## BIBLIOGRAFÍA

- American Stirling Company [www.stirlingengine.com](http://www.stirlingengine.com) (2005).
- Botas J.A., Calles J.A., Dufour J., San Miguel G. La economía del hidrógeno. Una visión sobre la revolución energética del siglo XXI. 1. Producción y almacenamiento de hidrógeno, 9, 2005, 33-36
- Carrete L., Friedrich K.A., Stimming U. *Fuel Cell Fundamentals and Applications*, Fuel Cells, 1 (1), 2001, 5-39.
- Comisión Europea, Hydrogen energy and fuel cells. Avision of four future. Informe EUR 20719 EN, Directorate-General for Research, Directorate J – Energy, 2003, Bruselas. [http://europa.eu.int/comm/research/energy/pdf/hydrogen-report\\_en.pdf](http://europa.eu.int/comm/research/energy/pdf/hydrogen-report_en.pdf)
- Cropper M.A.J., Geiger S., Jollie D.M. *Fuel cells: a survey of current developments*, J. of Power Sources, 131, 2004, 57-61.
- DOE Hydrogen Program; FY 2004 Annual Progress Report. U.S. Department of Energy; Hydrogen, Fuel Cells and Infrastructure Technologies Program, 2004, Washington
- Häussinger, P., Lohmüller, R. and A.M. Watson, *Hydrogen. Conventional uses*. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 6<sup>th</sup> edition. 2002. Electronic Release.
- Ramachandran R. and Menon R.K., *An overview of industrial uses of hydrogen*. Int. J. Hydrogen Energy, 23(7), 1998, 593-598.
- [www.fuelcelltoday.com](http://www.fuelcelltoday.com). "Fuel Cell Today: Opening doors to fuel cell commercialisation".
- [www.energias-renovables.com](http://www.energias-renovables.com)
- [www.appice.es](http://www.appice.es)

# La superdotación intelectual: algo más que un privilegio

**AUTORES:** ÁFRICA BORGES DEL ROSAL  
*aborges@ull.es*  
CARMEN HERNÁNDEZ JORGE  
*cherjo@ull.es*  
*Facultad de Psicología. Universidad de La Laguna*

## INTRODUCCION

La superdotación intelectual es un tema de creciente interés, que se pone de manifiesto no sólo en la gran abundancia de investigaciones donde se aborda esta temática, con diversas publicaciones periódicas de investigación y difusión científica, y en una amplia oferta de libros especializados, sino también en el hecho de que haya producido legislación educativa, tanto a nivel estatal como en las Comunidades Autónomas, intentando desde la Administración dar respuesta, con mayor o menor acierto, a las necesidades educativas de los más dotados. Sin embargo, como comentaremos a lo largo de la exposición, la atención adecuada a las personas de altas capacidades no se limita sólo al campo del conocimiento, sino que requiere interesarse en toda su persona y su entorno.

## ANTECEDENTES

El interés en las altas capacidades no es una cuestión nueva en nuestra cultura, ya que podemos remontarnos a los griegos, como primeros interesados por el talento. Tampoco es un tema de reciente aparición en Psicología, pues fue de los primeros en abordarse en la nascente psicología científica de inicios del siglo XX. Sin embargo, lejos de haberse resuelto, se siguen planteando problemas de importancia, empezando por la misma definición de lo que supone superdotación y finalizando por cual es la línea de actuación más pertinente para su mejor desarrollo. Pasamos a comentar brevemente algunos de los aspectos de mayor relevancia en el campo de la superdotación intelectual.

## DEFINICIÓN DE SUPERDOTACIÓN

Como hemos dicho, el primer problema que se plantea es el de la definición, ¿qué entendemos por superdotado? Se han propuesto diversos *modelos explicativos*, que hacen referencia a unas características atribuidas al superdotado.

El primer modelo es el que se basa en las capacidades, que definen la superdotación como un alto grado de in-

teligencia. Dentro de este modelo caben dos enfoques; el unidimensional, cuya figura más relevante es Terman (1925), quien popularizó y difundió el concepto de cociente intelectual (CI). Desde esta concepción, la superdotación se caracteriza por poseer una sola capacidad, el denominado factor g. Una persona superdotada sería aquella con una alta puntuación en inteligencia. El otro enfoque es el multidimensional, en el que se considera que la inteligencia supone un conjunto de habilidades. Aunque son varios los autores que asumen este posicionamiento, citaremos aquí como ejemplo a Gardner (1993), quien propone el concepto de "inteligencias múltiples", apelando a siete tipos de inteligencias: lingüística, musical, lógico-matemática, viso-espacial, corporal-kinestésica, intrapersonal e interpersonal.

El segundo modelo es el que enfatiza los *componentes cognitivos*. En este caso, la inteligencia equivale al funcionamiento mental, como capacidad de manipular, almacenar, memorizar o recuperar la información. El autor más representativo es Stenberg (1985), con su teoría triárquica, centrándose en los recursos del individuo para procesar la información. Establece *cinco criterios* para que una persona sea considerada superdotada: criterio de excelencia, criterio de productividad, criterio de valor, criterio de rareza y criterio de demostración.

El tercer modelo se puede denominar *orientado al rendimiento* y tiene en Renzulli (1976), con su modelo de "los tres anillos", su máximo exponente. Este autor describe la superdotación como la interacción de capacidades generales por encima de la media, altos niveles de implicación en la tarea y altos niveles de creatividad.

El cuarto modelo es el *sociocultural*. Desde este enfoque, la superdotación implica diversos factores, entre los que se incluye el medio. Así, Tannenbaun (1983) considera los siguientes factores: habilidad general, habilidad específica, factores no intelectivos, factores sociales y un componente de suerte u oportunidad.

La existencia de estas definiciones variadas de superdotación tiene implicaciones tanto teóricas como prácticas. Las primeras son las que centran el debate, muy antiguo por otra parte, entre herencia y medio: ¿el superdotado nace o se hace? Las derivaciones prácticas de los diversos modelos definitorios llevan a los criterios que permiten detectar y diagnosticar, lo más acertadamente posible, a las personas superdotadas.

### EL SUPERDOTADO, ¿NACE O SE HACE?

La respuesta a esta pregunta no es simple. Los estudios actuales indican que la varianza genética explica un 51% de la varianza fenotípica (Juan-Espinosa, 1997), quedando el resto explicado por varianza ambiental en lo que a inteligencia se refiere. Además, no todas las diversas capacidades tienen la misma carga genética; así, por ejemplo, la Capacidad Viso-espacial tiene más influencia genética que Aptitudes Verbales o Memoria, lo que parece un claro apoyo al modelo de inteligencias múltiples.

Sin embargo, queda otro debate de interés: ¿toda persona con altas capacidades intelectuales llega a un desarrollo óptimo de las mismas? Aparentemente, no. Tres son las evidencias que apoyan esta afirmación.

En primer lugar, es frecuente encontrar personas superdotadas con problemas de rendimiento (Peters, Graefer-Loid y Suple, 2000). Varias explicaciones se han esgrimido para entenderlo, siendo las más plausibles el *aburrimiento* por tareas escolares excesivamente repetitivas, por una parte, o bien que la facilidad de aprendizaje sin esfuerzo hace que *no desarrollen hábitos de estudio*, por otra. Por tanto, es clara la influencia del medio, pues si la superdotación no se viera mediatizada por factores sociales, y sólo la explicaran cuestiones cognitivas, no cabría esperar que niños con una inteligencia remarcable padecieran retraso escolar.

Un segundo aspecto es el de las diferencias entre varones y mujeres. Diversos estudios neurológicos han comprobado que las tareas creativas exigen mayor interconexión hemisférica y menor asimetría cerebral durante los procesos mentales creativos (Razoumnikova, 2000), siendo por otra parte las mujeres quienes muestran menor lateralización hemisférica y estrategias de pensamiento más flexibles cuando se las compara con los hombres (Hausmann y Gunturkun, 1999). Ello haría pensar que tendríamos que encontrar más mujeres creativas que de varones, lo cual no se sustenta con las evidencias que nos aporta la realidad.

Cabe, por tanto, preguntarse por las posibles razones. La literatura en superdotación nos presenta datos sobre la actuación diferencial de ambos sexos, favoreciendo en la mayoría de los casos a los varones. Generalmente las niñas tienden a mostrar menos a menudo sus capacidades que sus compañeros varones. Las hipótesis explicativas que se manejan son las siguientes: diferencias de roles, valorando más a los chicos que a sus compañeras; menor formación de las niñas en tareas matemáticas y de ciencias experimentales; menor competitividad y mejor trabajo colaborativo (Heller, 1999).

En tercer lugar, se ha contrastado la importancia de factores sociales. Ambientes desfavorecidos también

pueden impedir un desarrollo total de la superdotación, por lo que se ha producido, desde hace tiempo, un importante movimiento para detectar superdotación en minorías y en ambientes desfavorecidos (Borland y Wright, 2000).

Todas estas evidencias apoyan el sustrato ambiental de la superdotación, o, por lo menos, el hecho de que una alta capacidad no siempre da lugar a un rendimiento acorde con la misma. Por tanto, hay que hacer una diferenciación entre qué produce la superdotación, y cuales son sus efectos, es decir, como se manifiesta esa capacidad por encima de lo normal. Gagné (1993), a este respecto, diferencia entre dos conceptos que se muestran especialmente claros para lo que estamos debatiendo: superdotación, para aludir a las *potencialidades*, y talento, para las *realizaciones*.

La pregunta entonces sería: ¿qué explica que el superdotado supere con éxito su formación educativa, facultándose para elegir un desarrollo profesional óptimo? A la luz de la literatura revisada, por tanto, la *capacidad* intelectual con la que parte el individuo viene dado por factores en los que tiene más peso la genética que el ambiente. Se puede deducir entonces que cuando hablamos de lo que genera la superdotación, los modelos innatistas (uni o multifactoriales) podrían explicarlo. Ahora bien, *el desarrollo de esas potencialidades* parece estar mucho más influido por el ambiente, por lo que es preciso apelar a modelos ambientalistas.

### EL DIAGNÓSTICO DE SUPERDOTACIÓN

Como hemos adelantado, la segunda repercusión de los modelos explicativos de superdotación está relacionada con cómo se identifica a la persona superdotada.

Siguiendo el modelo basado en capacidades bastaría un test de inteligencia para detectar inteligencia superior, siendo bastante extendido el criterio de considerar superdotado al individuo que supere un CI de 130 o superior. Este enfoque, además de altamente utilizado para la identificación de superdotación (Ziegler y Raul, 2000), tiene también sus defensores, ya que consideran que una prueba de inteligencia es el mejor criterio para diagnosticar una alta capacidad intelectual (véase, por ejemplo, Tourón, Repaz y Peralta, 1999).

Si nos planteamos que la superdotación conlleva un procesamiento diferencial de información, la medida tendría que tener en cuenta el proceso seguido para la consecución de un resultado, más que la capacidad en sí. Cuando se asume que el rendimiento debe ir incluido en la valoración de la superdotación, no bastará con una puntuación en un test de inteligencia, sino será preciso que el individuo haya demostrado su capacidad en logros específicos.

Sin embargo, el problema se complica cuando adoptamos un modelo social. Por una parte, el detectar al superdotado sólo mediante una prueba de inteligencia tiene muchos detractores. Desde una perspectiva de igualdad de oportunidades, la evaluación ha de contemplarse abarcando a un amplio abanico de capacidades, por lo que el modelo evaluativo debe recoger otros aspectos además de los que apresa un test de inteligencia, como por ejemplo, pruebas sin tiempo, lenguaje contextualizado, tests de papel y lápiz, enseñanza y re-test, evaluación ecológica, evaluación del apoyo familiar y de la comunidad, observaciones de ejecución en situaciones relevantes y otras inteligencias.

Este conjunto de actividades para identificar a la persona superdotada es especialmente indicado para valorar a niños y niñas que pertenecen a ambientes sociales más desfavorecidos. En ese caso, los tests de inteligencia al uso es posible que ofrezcan puntuaciones inferiores a las capacidades reales del individuo. Si de tal evaluación se sigue una política educativa, *está claro que el diagnóstico y por lo tanto, las pruebas que lo realizan, deja de tener un carácter académico para adquirir un valor social y político.* A la postre, nos encontramos con la polémica suscitada en torno a los peligros potenciales de una valoración inadecuada de la inteligencia.

## ESTABILIDAD DE LAS CAPACIDADES

### INTELECTUALES

Otra cuestión relevante es la estabilidad de las altas capacidades, en el sentido de si se mantienen o desaparecen conforme se produce el desarrollo del individuo. Los estudios longitudinales apoyan la estabilidad de las capacidades intelectuales (Freeman y Josepsson, 2002; Hottulainen y Schofield, 2003). Pero no sólo esto, también se pone de manifiesto la importancia de los programas de intervención para niños y niñas superdotadas, ya que suponen mejoras de los individuos que se han sometido a programas dirigidos a superdotados en comparación con quienes no lo han seguido. Por tanto, tiene sentido invertir tiempo, esfuerzos y medios en los más dotados, pues es claro que un abandono de sus necesidades concretas llevará como resultado la posibilidad de que se malogre, fracase en sus estudios o no llegue a alcanzar todo lo que hubiera podido lograr de haber tenido el trato preciso.

## PROGRAMAS DE INTERVENCIÓN

### EN SUPERDOTACIÓN

Los programas de intervención se centran fundamentalmente en el niño o la niña superdotados, si bien en ocasiones tienen un alcance más amplio y abarcan también a su familia.

## Enfoque académico

La mayoría de los programas tienen un enfoque fundamentalmente académico, sobre todo los que se desarrollan en países con mayor tradición en ocuparse de los más dotados, como es el caso de Estados Unidos. Los objetivos de estos programas se centran en darle una formación acorde a sus necesidades, desarrollar los talentos que poseen o revalorizar las actividades académicas. Estos programas se llevan a cabo bien dentro de la formación reglada o bien de forma extra escolar. En la tabla número uno presentamos los distintos tipos de programas.

Tabla 1. Tipos de programas en superdotación

Formación reglada	Integración	Aceleración
		Adaptación curricular
	Agrupamiento	Total
		Parcial
Extraescolar	Durante el curso	Después del horario escolar
		En fines de semana
	Cursos especiales	Campamentos de verano
		Periodos vacacionales

Los programas extraescolares se realizan fuera del horario de clases, bien sea en cualquier día de la semana tras la escuela, los fines de semana, o bien en periodos vacacionales y suponen un apoyo a su formación reglada. Pueden limitarse a desarrollos académicos, como los que se orientan a profundizar en matemáticas o en Ciencias, o bien ser de más amplio espectro.

Estos programas de enfoque académico han mostrado ser eficaces (Freeman y Josepsson, 2000; Stake y Mares, 2001), pero cabe preguntarse si basta con una mejor formación académica para el desarrollo adecuado de la persona superdotada, o sería preciso algo más. Hay evidencias de que los programas producen buenos resultados en general en aspectos académicos pero no en autoconcepto (Hoogeveen, Hell, Mooij y Verhoeven, 2004).

De aquí podemos extraer dos conclusiones: La intervención con personas de altas capacidades tiene un efecto positivo, pero no se debe limitar a tratar exclusivamente contenidos académicos, sino que será precisa una intervención más amplia para el mejor desarrollo de las personas superdotadas.

### Enfoque socio-afectivo

Algunas evidencias nos muestran que los aspectos socioafectivos son de gran importancia en su desarrollo. Desde el bien conocido fenómeno de la disincronía, que supone un desarrollo desigual entre la capacidad intelectual y otros factores, especialmente los emocionales y que explica el no encontrarse a gusto con personas de su edad, pasando por problemas socioafectivos, como el llamado "estigma de la superdotación" (Cross y Coleman, 1993), hasta la relevancia de la motivación para la consecución de logros académicos, hace pensar que la intervención con personas superdotadas no debe limitarse a conocimientos académicos (Freeman, 1999; Gottfried y Gottfried, 2004).

Algunos programas han abarcado aspectos no puramente académicos. Así, hay programas dirigidos a potenciar factores motivacionales (por ejemplo, Pomar, 2004). Dentro de este mismo conjunto podemos situar los programas cuyo objetivo es trabajar a nivel socioafectivo, cuestión que parece especialmente relevante porque resulta necesario no sólo para el conocimiento de sus habilidades y su rendimiento, sino para preparar al superdotado para las consecuencias positivas y negativas de su superdotación (Kaufman y Baer, 2003).

### Enfoque familiar

La intervención con el ambiente es menos usual, pero también hay programas dedicados a la familia. La justificación de los mismos es que los padres no siempre saben lo que es mejor para sus hijos de altas capacidades y precisan formación e información para el apoyo de su actividad educadora. Sus demandas más habituales son las siguientes: Profesionales que los ayuden a ser oídos; comunicación clara y abierta que promueva el entendimiento; ayuda para entenderse con la Administración para conseguir la potenciación de sus hijos; información. No es raro por tanto que los padres establezcan relaciones informales entre ellos, ni que acaben asociándose con el objetivo de dar respuesta a sus preocupaciones.

Hay razones que aconsejan algo más que reuniones informales para apuntalar las estrategias educativas de los padres y madres de superdotados. En el tema concreto de la disincronía, se ha demostrado que la distancia que aparece entre el desarrollo cognitivo y el emocional puede estar condicionada por el ambiente (Alsop, 2003), que actuaría como mediador, por lo que la educación juega un papel fundamental en su aparición. Es evidente que las personas relevantes de su medio (padres, madres y también profesores) deben prepararse y conocer lo que es superdotación para su crianza y educación.

Las intervenciones con padres se realizan en dos niveles. El primero consiste en la recomendación de mate-

rial escrito, a través de asesoría bibliográfica vía web, o bien acudiendo a manuales.

Un segundo nivel corresponde a programas de intervención directa con familias, un enfoque no demasiado habitual, ya que si bien en la literatura aparecen algunos programas (Erken, 2003), lo que se publica tiene un carácter más de investigación que de aplicación, pues suele resultar de tesis doctorales.

## EL PROGRAMA INTEGRAL PARA ALTAS

### CAPACIDADES (PIPAC)

Las reflexiones sobre la necesidad de apoyar a niños y niñas superdotados para contribuir a su desarrollo integral, nos indujo a plantearnos un modelo de intervención con una perspectiva integradora y social, poniendo en marcha el Programa Integral para Altas Capacidades, que va dirigido tanto a niños y niñas superdotados, como a sus progenitores.

El objetivo global de todo el programa es contribuir al *desarrollo integral* del niño y la niña superdotados, a nivel cognitivo, socioafectivo y familiar, pues las evidencias que hemos discutido anteriormente hacen que sea ésta la mejor opción. Acorde con ello, el programa se compone de tres subprogramas, dos dirigidos a los niños y niñas y el tercero a sus padres. El primer programa para los superdotados es el socioafectivo, el segundo es un programa con más contenido académico, que conjuga estrategias de aprendizaje, hábitos de estudio y aprendizaje autorregulado, y el tercero el que corresponde al asesoramiento directo a los padres de los superdotados.

El ámbito geográfico de aplicación es la isla de Tenerife, si bien el subprograma *Navegando en el aprendizaje*, al impartirse en línea a través de Internet, elimina las fronteras geográficas. La selección de los participantes supone que tengan un diagnóstico de superdotación, con el criterio psicométrico de un cociente intelectual (CI) igual o superior a 130. En total, han participado 30 familias.

Los resultados analizados hasta el momento señalan la eficacia y la efectividad del programa, ya que los participantes manifiestan estar satisfechos tanto con el programa como con los monitores, dándose asimismo cambios en la dirección esperada tanto en niños y niñas como en sus progenitores (Borges, 2005). Algunos de estos resultados se han difundido en diversas reuniones científicas (Borges, Hernández-Jorge y Rodríguez-Naveiras, 2005, marzo y julio; Borges, Hernández-Jorge, Reyes y Verche, 2005; Borges, Medina, González y Hernández-Jorge, 2005; Borges, Reyes, Hernández-Jorge y Rodríguez-

Naveiras, 2005; Hernández-Jorge, Borges y Rodríguez-Naveiras, 2005, marzo y julio; Reyes, Hernández-Jorge, Borges y Verche, 2005) y otros están pendientes de aceptación y en preparación.

### PROGRAMAS SOCIOAFECTIVO:

#### DESCUBRIENDONOS

El objetivo que se pretende en el entrenamiento en factores socio-afectivos es el conocimiento de sí mismo, del entorno y relación con ese entorno, estableciendo grupos en función de las edades de los niños y niñas: Nivel I (hasta 7 años); nivel II (de 8 a 12) y nivel III (de 13 a 17 años).

### PROGRAMA PARA UN APRENDIZAJE

#### EFICIENTE: NAVEGANDO

#### EN EL APRENDIZAJE

Este programa se ha diseñado el objetivo de conducir a un aprendizaje más eficiente, conjugando estrategias de aprendizaje, técnicas de estudio y aprendizaje autorregulado. Este enfoque educativo, además de resultar muy interesante para crear una forma de estudio internalizada por el individuo, parece estar relacionado con las características de superdotación (Zimmerman y Martínez-Pons, 1990). La implementación semanal de los temas intenta, además, crear hábitos de estudio, propiciando la realización de pequeñas tareas que les obliguen a dedicar algún tiempo semanal a su realización. Se ha cuidado el diseño, planteándolo como un juego, para evitar que les recuerden las tareas escolares.

El programa se presenta en formato *en línea* a través de la red, lo cual permite trabajar desde el domicilio, sin someterse a reuniones ni horario, en su propio ordenador. Está ubicado en la página de nuestro grupo de trabajo: <http://gtisd.net> y se oferta en dos niveles: el primero para niños de 7 a 11 años, formado por seis unidades didácticas, y el segundo para niños de más de 12 años, que se compone de ocho unidades didácticas; en ambos casos, cada unidad se divide en diversos temas, que se implementan semanalmente, de octubre a junio, con la guía de tutores individualizados para cada participante.

### PROGRAMA PARA PADRES Y MADRES:

#### ENCUENTRO

Fieles al enfoque social del superdotado, nuestra intervención se dirige también al apoyo de los progenitores, mediante un programa dirigido a los padres y madres, con

el triple objetivo de dar un espacio a la reflexión, aportar estrategias para la educación de los hijos y permitir el debate y la interrelación entre personas que comparten una misma problemática. Las sesiones, de 90 minutos de duración, tienen una periodicidad mensual, y se dirigen a tocar temas que van desde el desarrollo del superdotado, hasta cuestiones educativas diversas: normas, diálogo, soledad, etc.

### CONCLUSIONES Y REFLEXION GLOBAL

Como hemos comentado, el campo de estudio de la superdotación presenta, todavía, puntos de controversia. Los más importantes los hemos señalado en estas páginas: definición, peso de la herencia y el medio, la identificación y diagnóstico de la superdotación, la estabilidad de estas capacidades y el reto de un rendimiento acorde a sus posibilidades.

El peso que los factores sociales tienen, indiscutiblemente, para un desarrollo adecuado de la superdotación en talento, hace necesario prestar una atención específica a este colectivo.

Desde nuestro punto de vista, y avalado por la literatura científica sobre el tema, la intervención en superdotación no debe limitarse al logro de objetivos formativos o de contenidos, sino que debe abarcar aspectos más amplios, que ayuden a la persona superdotada a vivir adecuadamente con su alta capacidad, evitando la vivencia de sentirse estigmatizados, así como que la falta de estímulos les hagan fracasar en sus carreras académicas. Por tanto, es preciso que su formación vaya acorde a su capacidad, prestando también atención a factores socio-afectivos, así como al ambiente familiar, catalizador principal para el desarrollo o la paralización de las potencialidades.

El Programa Integral para Altas Capacidades ha sido pensado para dar respuesta a esta problemática, y los resultados obtenidos hasta el momento son de lo más estimulantes. Entre nuestros proyectos está el continuar con la implantación anual del programa, a la vez que ofertar también en modo virtual el curso para padres y madres, así como la creación de una consultoría, también virtual, para el profesorado. ■

### REFERENCIAS

- Alsop, G. (2003) Asynchrony: Intuitively valid and theoretically reliable. *Roeper Review*, 25, 118-126.
- Borlan, J.H. y Wright, L. (2000) Identifying and educating poor and under-represented gifted students. En K.A. Heller, F.J. Mönks, R.J. Stenberg y R.F. Subotnik (Eds) *International handbook of giftedness and talent*, 141-155. Oxford: Elsevier

- Borges, A. (2005) *Informe de resultados de Programa Integral para Altas Capacidades (PIPAC)*. Material de trabajo no publicado. Registrado en Santa Cruz de Tenerife, junio de 2005.
- Borges, A., Hernández-Jorge, C. y Rodríguez-Naveiras, E. (2005, marzo) *Evaluación formativa de una escuela de padres y madres de niños y niñas superdotados*. Comunicación presentada al X Congreso Internacional de Educación Familiar. Las Palmas de Gran Canaria.
- Borges, A., Hernández-Jorge, C. y Rodríguez-Naveiras, E. (2005, julio) *Estilos e improntas educativas de padres de niños superdotados*. Comunicación presentada en el 9<sup>th</sup> European Congress of Psychology. Granada.
- Borges, A., Hernández-Jorge, C. Reyes, L. y Verche, E. (2005, julio) A e-learning program for self-regulated learning in high capacity students. En A. Borges (Coordinadora) *Giftedness*. Symposium realizado en el 9<sup>th</sup> European Congress of Psychology. Granada.
- Borges, A., Medina, P., González, A. y Hernández-Jorge, C. (2005, marzo) *La percepción de las normas desde la perspectiva parental y desde el punto de vista de los hijos e hijas*. Comunicación presentada al X Congreso Internacional de Educación Familiar. Las Palmas de Gran Canaria.
- Borges, A., Reyes, L., Hernández-Jorge, C. y Rodríguez-Naveiras, E. (2005) La tutoría on-line. *Actas del XII Congreso Nacional de Modelos de Investigación* (págs. 227-234). La Laguna: Servicio de Publicaciones de la Universidad de La Laguna,
- Cross, T.L. y Coleman, L.J (1993) The social cognition of gifted adolescents: An exploratory of the sigma of giftedness paradigm. *Roeper Review*, 16, 37-40.
- Erken, R. (2003) The prevention and enrichment program for families with gifted children. En J.F. Smunty (Ed) *Designing and developing programs for gifted students*. (pag. 103-118). Thousand Oaks, CA: Corwin Press Inc.
- Freeman, J. (1999) Teaching gifted pupils. *Journal of Biological Education*, 33(4), 185-190
- Freeman, J. y Josepsson, B. (2002): A Gifted Programme in Iceland and its Effects. *High ability Studies*, (13), 35-46.
- Gagné, F. (1993) Constructs and models pertaining to exceptional human abilities. En K.A. Heller, F.J. Mönks, R.J. y A. H. Passow (Eds) *International handbook of giftedness and talent*, 69-87. Oxford: Pergamon Press
- Gardner, H. (1993) *Multiple intelligences: The theory in practice*. Nueva York: Basic Books.
- Gottfried, A.E. y Gottfried, A.W. (2004) Toward a conceptualization of gifted motivation. *Gifted Child Quarterly*, 48(2), 121-132.
- Haussman, M. y Gunturkun, O. (1999) Sex differences in functional cerebral asymmetries in a repeated measures design. *Brain and Cognition*, 41(2), 263-275.
- Heller, K.A. (1999): Individual Learning and Motivation. Needs Versus Instructional Conditions of Gifted Education. *High Ability Studies*, 10, (1), 9-21.
- Hernández-Jorge, C., Borges, A. y Rodríguez-Naveiras, E. (2005, marzo) *Apoyo a la tarea educativa: el papel de actividades entre sesiones en una escuela de padres y madres*. Comunicación presentada al X Congreso Internacional de Educación Familiar. Las Palmas de Gran Canaria.
- Hernández-Jorge, C., Borges, A. y Rodríguez-Naveiras, E. (2005, julio) Family and giftedness: gifted children and their familiar relationship. En A. Borges (Coordinadora) *Giftedness*. Symposium realizado en el 9<sup>th</sup> European Congress of Psychology. Granada.
- Hoogeveen, Hell, Mooij y Verhoeven (2004, septiembre) Conditions for success of educational arrangements for gifted students. Comunicación presentada en el 9<sup>th</sup> Conference of the European Council for High Ability. Navarra.
- Hotulainen, R. y Schofield, N. (2003): Identified Pre-school potential giftedness and its relation to academic achievement and Self-concept at the end of Finnish comprehensive school. *High Ability Studies*, 14, (1), 55-70.
- Juan-Espinosa, M (1997) *Geografía de la inteligencia humana*. Madrid: Pirámide
- Kaufman, J. y Baer, J. (2003) Do we really want to avoid Denny's? The perils of defying the crowd. *High Ability Studies*, 14 (2), 149-150.
- Peters, W.A.M., Grager-Loidl, H. y Supplee, P. (2000) Underachievement in gifted children and adolescents: Theory and practice. En K.A. Heller, F.J. Mönks, R.J. Stenberg y R.F. Subotnik (Eds) *International handbook of giftedness and talent*, 609-620. Oxford: Elsevier
- Pomar, C. (2004, septiembre) Motivational patterns in gifted students. Comunicación presentada en el 9<sup>th</sup> Conference of the European Council for High Ability. Navarra
- Razumnikova, O.M. (2004) Gender differences in hemispheric organization during divergent thinking: An EGG investigation in human subjects. *Neuroscience Letters*, 362 (3), 193-195.
- Renzulli, J.S. (1976) The enrichment triadic model: A guide for developing defensible programs for the gifted and talented. *Gifted Child Quarterly*, 20 (3), 303-326.
- Reyes, L., Hernández-Jorge, C., Borges, A. y Verche, E. (2005) "Navegando en el Aprendizaje": El papel del foro. *Actas del XII Congreso Nacional de Modelos de Investigación* (págs. 289-296). La Laguna: Servicio de Publicaciones de la Universidad de La Laguna,
- Stake, J.E. y Mares, K.R. (2001) Science enrichment programs for gifted high school girls and boys: Predictors of program impact of science confidence and motivation. *Journal of Research in Science Teaching*, 38 (10), 1065-1088.
- Stenberg, R.J. (1985) *Beyond IQ- a triarchic theory of human intelligence*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tannenbaun, A. (1983) *Gifted Children*. Nueva York: MacMillan.
- Terman, L. (1925) *Mental and physical traits of a thousand gifted children*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Touron, J., Reparaz, C. y Peralta, F. (1999) The identification of high ability students: Results of a detection process in Navarra (Spain). *High Ability Studies*, 10(2), 163-181.
- Ziegler, A. y Raul, T. (2000) Myth and reality: A review of empirical studies on giftedness. *High Ability Studies*, 11(2), 113-136.
- Zimmerman, B.J. y Martínez-Pons, M. (1990) Student Differences in Self-Regulated Learning: Relating Grade, Sex and Giftedness to Self-Efficacy and Stratefy Use. *Journal of educational Psychology*, 82 (1) 51-59.

## MEDICINA Y SALUD

# Terapia Celular e Ingeniería Tisular para la regeneración esquelética

**AUTOR:** JOSÉ BECERRA RATIA  
 Laboratorio de Bioingeniería y Regeneración Tisular (LABRET) Departamento de Biología Celular, Genética y Fisiología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga

Huesos y cartílagos constituyen el esqueleto de los vertebrados y están formados por tejidos de origen diverso (Nature, 2003). El esqueleto axial y apendicular procede de distintas partes del mesodermo, somitas y placa mesodérmica lateral, mientras que el esqueleto craneal y facial procede de la cresta neural. En ambos casos el tejido óseo o cartilaginoso tienen su origen primero en la formación de condensaciones de células madre mesenquimáticas (CMM) que se precipitan en un proceso diferenciador que implica la expresión de genes propios para cada caso (Fig. 1). La formación de hueso supone la expresión de proteínas extracelulares como colágeno tipo I, fosfatasa alcalina, osteopontina, osteocalcina y sialoproteína de hueso, así como la mediación de factores de transcripción del tipo RunX2, Osterix y Cbfa1; mientras que el cartílago está condicionado a la expresión de colágeno II y X, agregano, y otras proteínas peor definidas, así como a los factores de transcripción de la familia Sox y Scleraxis. La mayor parte del hueso mesodérmico se origina por osificación endocondral, que supone la formación de cartílago previo al hueso; es decir, las condensaciones mesenquimáticas dan lugar a un patrón de cartílago hialino que posteriormente es destruido y sustituido por hueso formado por nuevas células CMM que se diferencian en osteoblastos, al invadir el espacio dejado por las células cartilaginosas (condrocitos) hipertróficas y finalmente muertas por apoptosis. Por el contrario, los huesos del esqueleto craneofacial se forman por osificación intramembranosa en la que las CMM de las condensaciones mesenquimáticas dan directamente tejido óseo, sin mediación de cartílago. Algunas partes de los huesos del esqueleto axial y apendicular también se forman por este último procedimiento. En su caso, los cartílagos que quedan como tales durante toda la vida del individuo, se forman, en todos los casos, a partir de condensaciones mesenquimáticas parecidas.

Los mecanismos moleculares que rigen la condrogénesis y osteogénesis del esqueleto procedente de la cresta neural son algo diferentes a los que operan en la esquelotogénesis del resto del cuerpo, lo que no significa que las estrategias reparativas de ambos esqueletos deban regirse por parámetros diferentes.

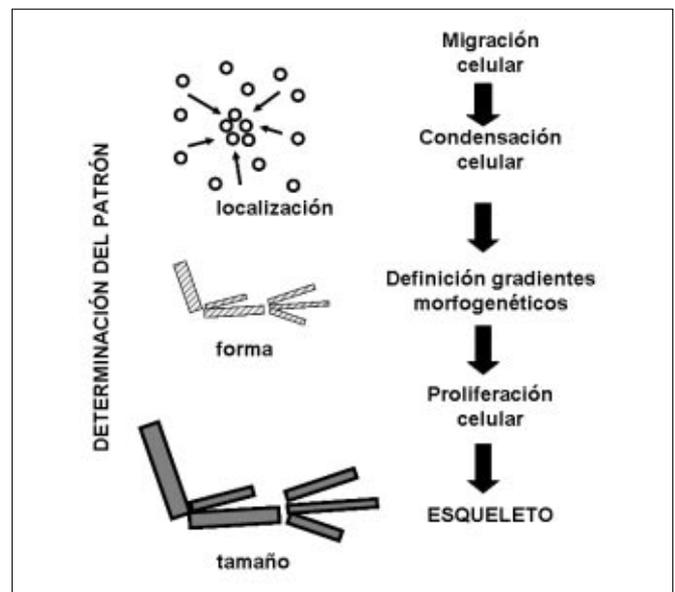


Figura 1. Adaptada de Karsenty, 2003. El desarrollo del esqueleto comienza con la migración de células madre mesenquimáticas a un lugar determinado. La determinación de gradientes morfogenéticos define el patrón del miembro en cuestión, determinándose la forma del mismo. La proliferación y diferenciación posteriores aseguran el crecimiento del patrón hasta conseguir el tamaño definitivo del elemento esquelético de que se trate.

## REPARACIÓN Y REGENERACIÓN, CONCEPTOS NO COINCIDENTES

La ingeniería tisular (IT) es una disciplina compleja que integra información y estrategias de varios campos científicos, cuya finalidad es la reconstrucción de los tejidos adultos. Sin embargo, su meta final debe ser dirigir e influir en la regeneración más que en la simple reparación. La reparación de los tejidos es un proceso rápido que ha sido seleccionado a lo largo de la evolución y que permite al animal solventar una agresión sufrida. Básicamente, consiste en el uso de tejido cicatricial para unir los bordes del tejido dañado o para rellenar lo perdido. La cicatriz queda como un tejido diferente poco o nada integrado en la estructura y función del órgano. Comparativamente, la regeneración es un proceso lento que recapitula parte de los procesos que ocurrieron en el desarrollo embrionario y que restablece la estructura y función perdidas, sin que quede señal morfológica alguna, ni déficit funcional manifiesto.

El animal lleva a cabo su desarrollo embrionario por una serie de mecanismos que, en gran parte, se pierden al llegar al estado adulto. Esto es, el animal pierde la capacidad de recreación de órganos y tejidos y con ello la posibilidad de regenerar cualquier parte de su cuerpo que pueda ser dañado, amputado o deteriorado. Pero aunque esa capacidad en gran parte se pierde, no ocurre exactamente así en todos los casos. La mayoría de los vertebrados conservan una capacidad de regeneración limitada a sólo algunos tejidos y órganos, aunque algunos grupos, desde luego ningún mamífero, mantiene una gran capacidad regenerativa. Los anfibios urodelos (salamandras y tritones), y no otros grupos de anfibios, son capaces de restaurar completamente las colas, las extremidades, la retina neural e incluso la médula espinal. Por otra parte, los peces teleosteos son capaces de regenerar las aletas si se les amputan parcialmente (Akimenko et al 2003). En todos estos casos, la regeneración ocurre por un proceso epimórfico que supone la formación de un blastema, o conjunto de células que proliferan y se diferencian para dar lugar a cada uno de los tejidos y órganos que constituyen la estructura amputada, restableciendo la estructura y función perdida (Stocum 1999). En todos estos casos se recapitula parcialmente el desarrollo embrionario a partir de células pluripotenciales, las cuales se consiguen por dos procedimientos: i) desdiferenciación de células que retoman la actividad proliferativa (como ocurre en las regeneraciones de anfibios, peces y órganos como el hígado), o ii) por células madre (CM), poblaciones celulares que son 'apartadas' durante el desarrollo embrionario para ser usadas en fases ulteriores del crecimiento o para la regeneración (como ocurre en hueso, epitelios, hematopoyesis y músculo esquelético). Estos mecanismos están mediados por la presencia de factores bioactivos reguladores de los estados proliferativo y diferenciado.

Basados en estas observaciones, debemos asumir que los principios y los pasos clave del desarrollo embrionario del esqueleto, deberán ser los hitos que gobiernen la ingeniería de estos tejidos para su aplicación al adulto. El profundo conocimiento del desarrollo embrionario y de los fenómenos regenerativos citados, frente a los simplemente reparativos, nos permitirán descubrir sus diferencias, qué mecanismos se pierden y por qué algunos animales, y en ciertos órganos, los conservan.

La biología del desarrollo es una disciplina con una profunda carga intelectual que integra a muy diversos conocimientos, muchos de los cuales proceden de la embriología clásica, pero la mayoría, los que se han atesorado en los últimos cuarenta años, proceden de la genética, y la biología celular y molecular. La IT necesita de la integración de todos estos conocimientos para comprender los hechos empíricos conocidos y para proponer estrategias que den solución a los puntos controvertidos o no solventados.

- Del estudio de los acontecimientos más importantes del desarrollo embrionario (proliferación, señalización, morfogénesis, diferenciación celular y tisular, etc), Caplan (Caplan 2003) ha extraído lo que él considera que deben ser los 'prin-

cipios de la ingeniería tisular', que vienen a decir que lo que sabemos del desarrollo embrionario respecto a acción de mensajeros, definición de territorios, creación de bordes y contornos, e interrelación de células y matriz extracelular deben guiar las estrategias de la IT, pero sin perder de vista que estos acontecimientos pueden ser muy diferentes en el individuo adulto, donde debe integrarse el implante creado *ex vivo*.

## LA OSTEOBIOLOGÍA, UNA DISCIPLINA

### INTEGRADORA

Hemos iniciado el tercer milenio y las enfermedades degenerativas de huesos y cartílagos se resisten al control de la Medicina. Probablemente este reto tenga que ver con la variedad de causas fisiológicas que albergan estas patologías y por las diferentes pautas moleculares que obran en la formación y mantenimiento de estos tejidos. Las enfermedades artríticas y la osteoporosis son dos de las causas más comunes de la degeneración de huesos y cartílagos, de gran morbilidad, incapacitantes y motivo de importantes cargas económicas a la sanidad de los países occidentales. Se dice que el 50% de las personas mayores de 60 años sufre problemas artríticos de alguno de los más de cien tipos diferentes que se conocen y que causan lesiones osteocondrales para las que no existe un tratamiento efectivo. Sólo consiguen mitigar los efectos degenerativos del hueso el implante de prótesis o los injertos óseos, autólogos (del propio paciente), heterólogos (de donantes a través del banco de hueso) o sintéticos, estos últimos fabricados a base de diferentes biomateriales, entre los que los derivados de calcio que reproducen más o menos fielmente a la hidroxiapatita natural, ocupan un lugar destacado. Todavía son peores los resultados de este tipo de intervenciones en el cartílago articular, mientras que las posibilidades de tratar la osteoporosis son casi testimoniales. Las limitaciones del autoinjerto, escasez y morbilidad asociada a la región donadora, y los problemas y bajos resultados de los aloinjertos, hacen necesaria la búsqueda de nuevas estrategias terapéuticas en este campo. No debe olvidarse que la extracción de autoinjerto óseo, habitualmente de la cresta ilíaca, supone una agresión quirúrgica de cierta importancia, además de dolorosa, y que la cantidad disponible es muy limitada, lo que hace que para intervenciones extensas, no sea un buena opción.

El sueño del hombre, en lo que a la biología regenerativa se refiere, ha sido regenerar tejidos nuevos a partir de los viejos, es decir imitar lo que algunos animales consiguen de forma natural: la regeneración de la forma y función de tejidos y órganos lesionados. Mientras tanto, la biónica, con el desarrollo de toda clase de artilugios mecánicos o electrónicos diseñados para recuperar funciones perdidas, y los trasplantes de órganos y tejidos a partir de donantes vivos o muertos, cubren el hueco sin dejar de lado el sueño hasta ahora imposible. Pero como dijo Victor Hugo, sin referirse obviamente a la biología regenerativa, 'no hay nada tan poderoso como una idea cuyo momento ha llegado'. La moderna biología, los avances de la biología del desarrollo y sobre todo, lo que se in-

tuye detrás de las CM y la IT, han abierto un camino de esperanza cuyo final sólo alcanzamos a vislumbrar. La vieja idea de conseguir la regeneración de tejidos y órganos por sí mismos se está haciendo realidad, su momento ha llegado.

Las células son los efectores únicos e insustituibles de la esquelotogénesis. Su número y su biología sufren cambios significativos con la edad y la enfermedad, que pueden ser corregidos mediante acción directa, induciendo su proliferación, migración y diferenciación *in situ*, o indirectamente, realizando esos procesos *ex vivo*. La inducción de las células, *in vivo* o *ex vivo*, se favorece y posibilita por la tecnología del ADN recombinante y la ingeniería genética, que permiten diseñar genes y proteínas 'a la carta' capaces de actuar en ambos escenarios, guiando las células hacia el camino deseado. Las especiales características de los tejidos esqueléticos, donde la matriz extracelular alcanza relevancia extraordinaria, hace que la vehiculización de células y moléculas a su través permita la osteoconducción y osteoinducción de la forma y manera deseadas. El desarrollo de los materiales osteoconductores, realizado por los avances que permiten la conquista de magnitudes nanométricas, en conjunción con las posibilidades de la biotecnología, presenta un panorama que augura cambios significativos en la clínica ortopédica del siglo XXI. La medicina basada en estos avances va a revolucionar los modos y maneras clínicas y quirúrgicas. La osteobiología emerge como una rama multidisciplinar donde la biología celular y molecular, la genética y la biotecnología, así como las ciencias de los materiales y la biomecánica se ponen al servicio de la clínica, configurando una nueva medicina regenerativa del aparato locomotor.

## EL ESQUELÉTO ES UN BUEN ESCENARIO PARA LA MEDICINA REGENERATIVA

Frecuentemente se habla de la revolución que están suponiendo en la medicina los conocimientos de genómica, proteómica, transcriptómica o nanotecnología, hasta el punto de preguntarnos si estaremos ante una revolución molecular de la medicina (Hing 2005). No hay duda de que la medicina ha cambiado, está cambiando y se esperan muchas más aplicaciones prácticas de los avances celulares y moleculares que no cesan. La cuestión es si en estos momentos se esperan cambios revolucionarios inmediatos, al menos tan innovadores como lo fueron la llegada de los antibióticos o el desarrollo de los trasplantes de órganos, como para modificar significativamente las perspectivas en el tratamiento de importantes patologías.

La respuesta tiene que ser necesariamente afirmativa. Es lógico pensar que los grandes avances biológicos tienen que poder ser traducidos en soluciones revolucionarias para patologías que hasta ahora han sido inabordables, o en cambios significativos en la manera de abordar patologías que son tratadas hasta ahora, incluso con cierta satisfacción.

Circunscribiéndonos a la tan divulgada medicina regenerativa (Reparative Medicine 2002), y en especial a la que se apli-

ca al aparato locomotor (Tissue Engineering 2003), las perspectivas son muchas, pero puestas en sus justos términos; sin triunfalismo ni crítica negativa injustificada.

En la reparación de los tejidos esqueléticos, y muy especialmente en el hueso, se dan circunstancias especiales, y muy favorables, que probablemente van a hacer que en este campo, los avances de la medicina regenerativa sean especialmente llamativos e inmediatos. No creemos que la aplicación *in situ* de agentes químicos osteoinductores, como las BMPs (Samartzis 2005), sean el avance definitivo que se esperaba; como tampoco es probable que la ingeniería tisular (Principles Tissue Engineering 2000) proporcione tejido óseo producido *ex vivo*, o incluso producido sobre moldes a la medida que puedan restablecer lesiones esqueléticas muy extensas. En el primer caso, porque ninguna BMP en particular es la panacea del proceso osteogénico, ya que probablemente, sean más de una docena de éstas moléculas diferentes las que actúen en el proceso de manera concatenada (Wan & Cao 2005) (Tabla). Las BMPs son mediadores químicos de la familia génica del TGF-beta, muy importantes, que actúan sobre las células, para que éstas, y sólo ellas, realicen la reparación deseada. Es decir, mediadores químicos sin células efectoras, con células insuficientes o incapaces, es tirar recursos importantes en cada acto quirúrgico.

Por otra parte, la formación *ex vivo* de grandes cantidades de tejido óseo, autólogo por demás, listo para ser implantado en defectos óseos extensos, choca con una dificultad, de momento muy importante, cual es la inducción de angiogénesis del tejido antes de ser implantado y su incorporación a la vascularización local del huésped. Se impone, pues, un mejor conocimiento de los factores que controlan la angiogénesis (Gu et al 2004).

Células, factores bioactivos y matriz extracelular (*scaffold*), efectivamente son los actores de la obra osteogénica, pero todos ellos, en un proceso integrado y orquestado en el organismo bajo múltiples influjos hormonales, biomecánicos y fisiológicos en general, sin los cuales difícilmente puede darse, y mucho menos, subsistir de forma integrada. La clave de todo el proceso son las células; ellas son las que producen moléculas que a su vez modulan su propia actividad, o la de sus vecinas más o menos cercanas, las cuales, a su vez, responden y actúan de forma parecida. La matriz extracelular es el intermediario imprescindible para la interconexión y la integración de las células en el tejido; esta parte, importante para la biología de todos los tejidos, es especialmente relevante en los esqueléticos. En ella se retienen específicamente los factores biológicos en estado activo, o supeditados a su activación controlada localmente; en ella residen, a su vez, las enzimas capaces de la destrucción de aquellas moléculas para asegurar su inactivación en tiempo y forma.

Por todo ello, es lógico pensar que en el dominio de la biología de las células está el futuro de la medicina regenerativa en general y de la esquelética en particular. ¿Por qué sino, las personas de más edad reparan peor sus huesos que las más jó-

Tabla. Resumen de factores de crecimiento y BMPs más conocidos, con capacidad osteo y condrogénica

Factores	Nombre genérico	Acción biológica
TGF- $\beta$	Factor de crecimiento	Estimula / inhibe la reparación ósea
IGF	Factor de crecimiento	Incrementa la densidad ósea
FGF	Factor de crecimiento	Actúa en fases finales de linaje osteogénico
PDGF	Factor de crecimiento	Incrementa la osteoinducción de MOD
BMP-2	BMP-2a	Morfogénesis de hueso y cartílago
BMP-3	Osteogenina	Osteogénesis
BMP-3B	GDF-10	Huesos craneofaciales
BMP-4	BMP-2B	Morfogénesis de huesos y cartílagos
BMP-5	-	Morfogénesis de hueso
BMP-6	-	Hipertrofia de cartílago
BMP-7	Prot. osteogénica 1 (OP1)	Diferenciación ósea
BMP-9	GDF-2	Osteogénesis
BMP-12	GDF-7	Condrogénesis
BMP-13	GDF-6	Condrogénesis
BMP-14	GDF-5	Condrogénesis y osteogénesis

BMP: proteína morfogenética de hueso (*Bone morphogenetic protein*); FGF: factor de crecimiento fibroblástico (*Fibroblast growth factor*); GDF: factor de crecimiento y diferenciación (*Growth differentiation factor*); IGF: factor de crecimiento insulínico (*Insulin like growth factor*); PDGF: factor de crecimiento derivado de plaquetas (*Platelet derived growth factor*); TGF- $\beta$ : factor de crecimiento transformante beta (*Transforming growth factor beta*); MOD: matriz ósea desmineralizada.

venas? Es un hecho comprobado que a mayor edad, existe menor número de células reparadoras. Si aceptamos que la médula ósea (MO) es el tejido donde reside un mayor número de CMM, responsables de la regeneración de la mayoría de los tejidos de estirpe mesodérmica, se sabe que en este tejido el número de ellas en el recién nacido es de una por cada diez mil células de MO; mientras que en una persona de 80 años sólo se encuentra una entre doscientas mil (Caplan 1991). Naturalmente, el déficit de células causa una disminución del nivel de mensajeros necesarios para que todo el proceso fluya. Que se sepa, sólo cuando se da una deficiencia genética que afecte a la síntesis, liberación o recepción celular de algún factor hormonal, trófico o regulador, puede decirse que existe una baja función sin déficit de células; en los demás casos la falta de células es la causa principal de la disminución reparativa tisular.

Podemos augurar que los avances en la biología de las CM (Hand Book of SC 2004), y en particular de las CMM (Baksh et al 2004), van a hacer que las aplicaciones clínicas en este campo pasen de la casi ciencia ficción a una realidad palpable.

## ALTERNATIVAS TERAPÉUTICAS

Desde hace algunos años se intenta utilizar MO autóloga incluida en diferentes materiales (*scaffold*) que proporcionan la tridimensionalidad para favorecer la formación de hueso. La utilización de MO se está llevando a cabo en dos líneas diferentes, uso directo o mediando algún tipo de "manipulación" *in vitro*. En el primer caso (Friedenstein et al 1969) los resultados están resultando muy pobres, se cree que por el escaso número de células osteoprogenitoras (madres y sus descendientes) presentes en la médula. Para remediar esta deficiencia es para lo que se están implementando distintos procedimientos que tratan de amplificar el número de células osteo-

génicas en el laboratorio como paso previo a su implantación autóloga en el paciente (Becerra et al 2001; Logeart-Avrangolo et al 2005). Los resultados son esperanzadores, no definitivos, pero con muchas posibilidades de encontrar procedimientos adecuados, sobre todo con los hallazgos recientes que tienen que ver con la plasticidad de las células madre del adulto (Lakshmiathy & Verfaillie 2005), que hacen abrigar esperanzas fundadas sobre este tipo de aplicaciones en cirugía reconstructiva del esqueleto. El uso *in vitro* de distintos factores de crecimiento con actividad osteoinductora en las diferentes etapas del proceso es el fertilizante que abona este campo (Andrades et al 1999). Para los que creen que la terapia celular autóloga, en cualquiera de sus variantes, no solventará definitivamente el problema, se abre paso el uso de CM embrionarias (zur Nieden et al 2005). Los resultados son parecidos a los obtenidos con MO, con los consabidos beneficios (mayor facilidad para obtener alto número de células disponibles para terapia) y perjuicios (formación de teratomas en ratones y rechazo inmunológico, en caso de terapia).

Mientras las CM se abren paso definitivo, la opción 'farmacológica' se ha hecho un tímido hueco en la cirugía osteoreparadora en estos últimos años. El conocimiento básico profundo acumulado en los últimos veinte años sobre la familia génica de los TGF-beta, unido al desarrollo de la tecnología del ADN recombinante, ha propiciado la síntesis de algunas de estas moléculas y su uso directo en cirugía. BMP2 y BMP7 (OP1) han sido aprobadas por las administraciones sanitarias internacionales para uso restringido en humanos. Los resultados acumulados son en parte positivos, pero sujetos a prudencia. Puesto que la acción osteoinductora de las BMPs se realiza sobre las células del huésped, mal podrán resultar positivas en pacientes de edad avanzada, en los que la escasez de células osteoinducibles es un hecho compro-

bado. Y esto, porque suponemos que la naturaleza es sabia y ha previsto que la vida media de estas moléculas sea muy corta. Si no fuese así, sustancias como las BMPs, depositadas de forma casi indiscriminada y puestas a dosis varios órdenes de magnitud por encima de la fisiológica, y a merced de la circulación sistémica, podrían desarrollar cualquiera de sus diversos efectos, no siempre bondadosos, como puede esperarse de moléculas de acción pleiotrópica. A estos temores se pueden añadir cuáles pueden ser las consecuencias del desarrollo de anticuerpos anti-BMP formados en el organismo receptor. Se impone pues, una aceptación prudente del uso directo de moléculas osteoinductoras, a la vez que debe recomendarse un estudio más profundo y un mejor desarrollo de sistemas de liberación controlada, que permitan un perfil de cesión óptimo en cada caso y para cada factor (Richardson et al 2001).

## EL FUTURO DE LA MEDICINA

## REGENERATIVA, UN ASUNTO

## MULTIDISCIPLINAR

El futuro de la medicina regenerativa es amplio y está por hacer. Pero en estos momentos de gran expectación y 'mucho movimiento', es preciso un trabajo multidisciplinar serio, desarrollo de nuevas herramientas metodológicas y mentes tan abiertas como manos expertas. Necesitamos la conjunción del mundo científico y clínico más el industrial y empresarial, no en vano, ya existe una Directiva de la Unión Europea (Directiva 2003/63/CE de la Comisión de 25 de junio de 2003) que considera la terapia celular como un medicamento, y como tal deberá ser aprobado por las administraciones públicas. Por parte de la medicina se necesita la detección de las necesidades y el desarrollo de la práctica clínica adecuada. Al mundo científico se le pide el desarrollo de conocimiento y capacidades, que incluye investigación básica sobre la regulación de las células madre, embrionarias y no embrionarias, caracterización genómica, métodos de análisis rápidos y fiables y avances en inmunología y bioseguridad. Por parte de la industria y la empresa se precisa la concentración de esfuerzos y el desarrollo de compromisos, fomento de la innovación e impulso de tecnologías punteras, tales como estandarización y caracterización de métodos de cultivo de células y tejidos a escala industrial, transporte, almacenaje y criopreservación, así como la implementación de los procedimientos administrativos y los ensayos clínicos a que obligan las normas, algunas de las cuales están todavía en desarrollo en los diferentes estados. El éxito en la consecución de terapias aplicables al paciente es una tarea conjunta. ■

## AGRADECIMIENTOS

Nuestro laboratorio está subvencionado por la Consejería de Salud (Fundación Progreso y Salud, bajo la gestión de IMABIS) y el Plan Andaluz de Investigación de la Junta de Andalucía, así como, por los Ministerios de Sanidad y el Plan Nacional de Investigación Científica y Técnica.

## BIBLIOGRAFÍA

- Akimenko MA, Marí-Beffa M, Becerra J, Géraudie J. Old questions, new tools and some answers to the mystery of fin regeneration. *Dev Dyn* 2003; 226: 190-201.
- Andrades JA, Becerra J, Sorgente N, Han B, Hall FL, Nimni ME A recombinant human TGF- $\beta$ 1 fusion protein bearing a high affinity collagen-binding domain, promotes migration, growth and differentiation of bone marrow mesenchymal cells: an in vitro and in vivo study. *Exp Cell Res* 1999; 250:485-498.
- Baksh D, Song L, Tuan RS. Adult mesenchymal stem cells: characterization, differentiation, and application in cell and gene therapy. *J Cell Mol Med*. 2004; 8(3):301-16.
- Becerra J, Andrades JA, Santamaría JA, Cifuentes M, Guerado E. Regeneración ósea, terapia celular e ingeniería tisular. *Med Clin-Barc* 2001; 116: 23-34.
- Caplan AI. Mesenchymal stem cells. *J Orthop Res* 1991; 9:641-650.
- Caplan AI. Embryonic development and the principles of tissue engineering. In: *Tissue Engineering of Cartilage and Bone*. Wiley, Chichester (Novartis Foundation Symposium 249) 2003, p. 17-33.
- Friedenstein A J, Kuralesova A I, Frolova G F. Heterotopic transplantation of bone marrow. Analysis of precursor cells for osteogenic and hematopoietic tissues. *Transplantation* 1969; 6:230-247.
- Gu F, Amsden B, Neufeld R. Sustained delivery of vascular endothelial growth factor with alginate beads. *J Control Rel* 2004; 96: 463-472.
- Hand Book of Stem Cells. Vol 1, 2. Eds. R Lanza, J Gearhart, B Hogan, D Melton, R Pedersen, J Thomson, M West. Elsevier Acad Press, 2004.
- Hing KA. Bone repair in the twenty-first century: biology, chemistry or engineering? *Philos Transact A Math Phys Eng Sci* 2005; 362 (1825):2821-2850.
- Karsenty G. The complexities of skeletal biology. *Nature* 2003; 423:316-318.
- Lakshminpathy U, Verfaillie C. Stem cell plasticity. *Blood Reviews* 2005; 19:29-38
- Logeart-Avramoglou D, Anagnostou F, Bizios R, Petite H. Engineering bone: challenges and obstacles. *J Cell Mol Med* 2005; 9: 72-84.
- Nature Overview and Insight Review Articles. Número especial dedicado a biología del esqueleto. *Nature* 2003, Vol. 423:316-361.
- Principles of Tissue Engineering. Eds. RP Lanza, R Langer, J Vacanti. Academic Press, Second edition, 2000.
- Reparative Medicine. Growing Tissue and Organs. *Ann New York Acad Sci*, Vol 961:1-393. Ed. JD Sipe, CHA Kelley, LA McNicol, 2002.
- Richardson TP, Peters MC, Ennett AB, Money DJ. Polymeric system for dual growth factor delivery. *Nat. Biotechnol* 2001; 19:1029-1034.
- Samartzis D, Khanna N, Shen FH, An HS. Update on Bone Morphogenetic Proteins and Their Application in Spine Surgery. *J Am Coll Surg* 2005;200:236-248
- Stocum D L. Limb regeneration: re-entering the cell cycle. *Curr Biol* 1999; 9:644-646
- Tissue Engineering of Cartilage and Bone. Wiley, Chichester (Novartis Foundation Symposium 249) 2003.
- Wan M, Cao X. BMP signaling in skeletal development. *Biochem Biophys Res Commun* 2005;328(3):651-657
- zur Nieden NI, Kempka G, Rancourt DE, Ahr HJ. Induction of chondro-, osteo- and adipogenesis in embryonic stem cells by bone morphogenetic protein-2: effect of cofactors on differentiating lineages. *BMC Dev Biol* 2005;5(1):1-15.

# PLACAS DE HONOR DE LA ASOCIACION



De izquierda a derecha, Jesús Martín Tejedor de la AEC, Antonio Regalado y Josefina Álvarez, de la Diputación de Zamora, María Arias de la AEC y Quintín Aldea.

rias y ubicadas en cuatro localidades diferentes: la apicultura ecológica en Tábara, el cultivo ecológico de cereales en Villafáfila, la ganadería ecológica en Bermillo de Sayago y la viticultura ecológica en Villanueva de Campeán. La idea va calando en los productores zamoranos. En estas localidades acuden una media de 70 productores.

Comienza, pues, una importante movilización de la provincia de Zamora que adoptará otras modalidades como el Curso de Huertos Escolares Ecológicos que se dio en el colegio Medalla Milagrosa dirigido a profesores de 16 colegios. Y se celebran jornadas de dos días en Satibañez de Vidriales, y un curso de 100 horas de duración en Morales del Vno. En este curso participan como profesores técnicos de la Diputación de Zamora y de la Junta de Castilla y León. Se organizan viajes de agricultores a la finca del CSIC "La Higuera", Santa Olalla (Toledo), a Amayuelas de Abajo (Palencia) y a Quilós (León) para conocer experiencias hortícolas ecológicas.

## Placa de Honor 2005 concedida a la Diputación de Zamora

La Asociación Española de Científicos tiene como fin propio la ayuda del investigador para facilitar el hecho científico, así como la promoción de todas las ideas y acciones que contribuyan al mejor desarrollo de la ciencia. Entre estas ideas que son fundamentales para la existencia de una ciencia desarrollada y próspera está la de la cultura científica de la Sociedad. Una Sociedad que no sea científicamente culta no encontrará relevante respaldar, ni financiar, un sistema de ciencia tecnología. Por eso nos interesa también fomentar la cultura científica de nuestro país y valoramos cuantas actuaciones se fundan en la utilización de la ciencia como instrumento básico, aunque no constituyan una nueva aportación al conocimiento científico

Por esta razón hemos querido distinguir a la Diputación de Zamora que desde octubre del 2002 se ha constituido en un conspicuo punto de referencia regional y nacional en materia de Agricultura Ecológica. Fue una consecuencia del I Foro para el Desarrollo de la Agricultura Ecológica en la Provincia de Zamora que se celebró en los días 18 y 19 de octubre del 2002. Empezaba a sazonar un primer paso dado en el año 2000 con la reconversión a la producción ecológica de la finca "La Aldehuela".

Al año siguiente se celebraron las Jornadas de Agricultura y Ganadería Ecológica 2003 en los meses de marzo, abril y mayo. Fueron cuatro sesiones especializadas en cuatro mate-

Todavía en el 2003 (en noviembre) se celebra el "II Foro para el Desarrollo de la Agricultura Ecológica en la provincia de Zamora". Tiene la trascendencia de que en dicho Foro se presenta ya el "Plan Estratégico para la Agricultura Ecológica en la Provincia de Zamora". Y en diciembre de este año se imparten clases de horticultura ecológica en las comarcas de Benavente y Los Valles. Desde el Servicio Agropecuario se hace una gran divulgación de la causa ecológica en ferias, en artículos serios de revistas especializadas, en la Prensa de la provincia y en la radio.

Se entra incluso en el terreno de la investigación con proyectos a realizar con la Universidad de Salamanca para obtener tres variedades de cebada y recuperar variedades autóctonas de trigo. Caja Rural financia otros proyectos de investigación. Se evacúan consultas para la producción de vacuno, ovino y pollo y se estudian las posibilidades de operar sobre leche, huevos, miel, setas, castañas, pimientos, vides y cereales.

Pero las cosas no quedan a escala provincial. Me refiero al Proyecto Internacional Rafael o Iniciativa Europea INTERREG III B para unir en comunes intereses a las tierras del Arco Atlántico: Irlanda del Norte, Gales, Suroeste de Inglaterra,

Bretaña, Alentejo, República de Irlanda, Galicia y Diputación Provincial de Zamora. El Proyecto Rafael terminará en 2007 con una "Conferencia Internacional" que se celebrará en Zamora organizada por su Diputación y que conferirá a esta provincia un cierto liderato internacional.

Desde luego, en España es ya un punto de referencia casi único en materia de agricultura y ganadería ecológica, y esto hemos querido resaltar al concederle esta distinción. ■

Jesús Martín Tejedor

### Placa de Honor 2005 concedida a EADS CASA Espacio

Los que piensan sobre España y sobre unas cuantas cosas que están sucediendo entre nosotros suelen exclamar: "¡pero qué está pasando en este país!" Me refiero a cosas buenas..., no estoy hablando de política. De repente nos enteramos de que éramos la octava potencia industrial del mundo o de que pronto entraríamos en el Grupo G 8. Nos sale un campeón mundial de Fórmula 1 o unos tenistas que traen a España la copa Davis. Desde la España imperial de allende los siglos nunca habíamos visto cosas tan satisfactorias y enorgullecedoras. Pues bien, con esa misma perplejidad contemplo yo la existencia en España de empresas como INDRA o SENER, que ya recibieron a su tiempo la placa de honor de esta Asociación, y por supuesto de EADS CASA Espacio que ahora tenemos el honor de distinguir.

Estamos hablando de tecnología del espacio, de satélites, de un complicadísimo aparataje espacial que llena copiosamente los catálogos de venta de EADS CASA Espacio.

Cuando veo esos catálogos mi recuerdo agrídulce vuela inexorablemente hasta aquellos maravillosos y absurdos dibujos de la plumilla de Forges que él llamaba sus "forgendros". Eran graciosos hasta la carcajada, porque difícilmente se podía retorcer con más ingenio aquel pseudolenguaje tecnológico que señalaba una pieza del artefacto con la denominación, por ejemplo de "bulón trifostiador entrefásico" que no podía ser más surrealista. Pero era también una crítica y una burla de nuestra ciencia y de nuestra tecnología evidentemente amarga y descorazonadora. Quizá era por parte del ecológico Forges una forma de admitir a su manera el célebre "que inventen ellos" del no menos célebre Rector. Para mí, ciertamente, era motivo de tristeza.

De izquierda a derecha, Antonio Cuadrado, Director de Programas de EADS CASA Espacio y Miguel Ángel Llorca Palomera.



Miguel Ángel Llorca Palomera, Director Comercial de EADS CASA Espacio.

Pero, como decía, hojear los catálogos de EADS CASA Espacio con sus páginas cubiertas de fotos en color le produce a uno la impresión de estar viendo un comic de ciencia ficción. Minisatélites, antenas, tuberías Vulcain, adaptadores de carga útil, adaptadores entre etapas, plataformas de satélites, Minisat 01, Artemis, Goce, Eurostar 3000LX, Envisat, Miras, Antena Activa IRMA, antenas y reflectores, antenas planas, controles térmicos, redes de distribución de potencia..., son las piezas de los satélites y de los lanzadores que Casa Espacio construye para la Agencia Espacial Europea y para el mercado comercial.

La existencia de EADS CASA Espacio facilita la reversión de retornos del importante capital que España aporta a la Agencia Espacial Europea y que nos permite estar presentes en la misma. EADS CASA Espacio contrata trabajos de la Agencia Espacial Europea que luego subcontrata también con otras empresas especiales españolas.

CASA Espacio se lanzó de lleno al reto del espacio en la década de los sesenta del siglo pasado. En la actualidad es una empresa de 360 empleados obviamente muy cualificados: el 33 %



son ingenieros, el 31 % son técnicos y sólo un 22% son operarios. Está a la altura de la Agencia Espacial Europea con una tecnología punta que le permite pensar en la construcción de un satélite especial de observación de la Tierra, cuya actividad sería muy beneficiosa para diferentes usuarios y para la industria.

Al frente de EADS CASA Espacio su Director General Pedro Méndez Marco se preocupa muy especialmente por fomentar el trabajo en equipo y en enfocar la investigación hacia las nuevas tecnologías con un espíritu de superación y de competitividad que le hace progresar hacia una creciente innovación.

Estamos convencidos de que sueños como el de EADS CASA Espacio van a ser pronto una realidad en España. Porque lo que tienen esta clase de realizaciones es que nos demuestran que somos capaces de lo mejor. ■

Jesús Martín Tejedor

### Placa de Honor 2005 concedida a Isofotón

He aquí una empresa modélica o algo que es mucho más que una empresa, si lo que determina el fin o la esencia de una empresa es la mera obtención de beneficios mediante tal o cual actividad.

Isofotón es mucho más que una empresa. Es un argumento o una prueba o una certificación de que en España es posible la existencia de una tecnología y de una innovación perfectamente integrada en la primera línea mundial del desarrollo.

En efecto, Isofotón está en la primera línea mundial, pero ha nacido en el seno de la investigación tecnológica española. Se creó como empresa en 1981, en Málaga, para convertir en producto vendible una investigación del profesor de la Politécnica de Madrid Antonio Luque. Se trataba de producir células fotovoltaicas a partir de obleas de silicio.

Veinticinco años más tarde Isofotón es una empresa implantada en más de 50 países, a los que exporta el 80% de su producción. Y una de las bases más sólidas de su vida empresarial es la atención a la I+D+I en la que invirtió el año pasado 7 millones y medio de euros. Es un dinero apreciable que le permite estar en punta en el desarrollo tecnológico, y en el aspecto comercial explica por qué es la 9ª empresa en el Ranking mundial de fabricantes del sector, y la 2ª en el ámbito europeo. Así mismo es la única empresa en el mundo que desarrolla las dos tecnologías solares de fabricación: la fotovoltaica y la térmica.

Es una lástima que el conjunto de la sociedad española desconozca no sólo que en nuestro país hay empresas como Isofotón, sino que en España somos capaces de hacer empresas como Isofotón. En ese sentido decíamos más arriba que Isofotón es mucho más que una empresa, porque es un argumento, una

prueba, una certificación. Uno de los principios de la lógica aristotélica y escolástica es que *"ab esse ad posse valet illatio"* que traducido al español y a la circunstancia vendría a decir: si existe la empresa Isofotón, quiere decirse que somos capaces de hacer cosas como Isofotón. De dónde se sigue que este tipo de realizaciones son conformadoras de una nueva conciencia nacional o de una nueva percepción de nosotros mismos y de nuestra posible relación con el mundo. Cosa nada desdeñable, por cierto. Creer que somos capaces es el primer paso para ser capaces. *"Possunt quia posse videntur"* decía Virgilio de los célebres remeros exhaustos: pueden porque les parece que pueden.

Pero hay otro aspecto que me hace considerar a esta empresa como algo más que una empresa: es su proyección en el Tercer Mundo con consecuencias que en cierto modo la homologan con una ONG.

En efecto, el tomar la energía del Sol permite llevar los beneficios de la electricidad a países que están todavía muy lejos de tener una red de pantanos con producción hidroeléctrica. Luz, electricidad, agua potable son recursos que Isofotón apronta para muchos países que están todavía lejos de poseer las infraestructuras básicas. Por ejemplo, en las islas del delta del Saloum, en Senegal, 10.000 viviendas serán electrificadas a través de un proyecto de Isofotón. Pero no se trata sólo de llevar unas instalaciones. Isofotón se encarga también de la formación de técnicos locales y de usuarios finales, en una innegable actividad de promoción.

Por el otro lado, el de los países superdesarrollados, advertimos que Alemania es el principal cliente europeo de Isofotón con "proyectos de alto grado de integración arquitectónica".

La pujanza de Isofotón es observable en el ámbito paisajístico urbano. En el Parque Tecnológico de Andalucía -PTA- (Málaga) acaba de construir una soberbia planta de 25.000 m<sup>2</sup> desde la que atenderá la demanda del mundo entero... ■

Jesús Martín Tejedor



Jesús Martín Tejedor haciendo entrega del galardón a Emiliano Perezagua, Director General de Operaciones de Isofotón.

## Placa de Honor 2005 concedida a Javier Gil Sevillano

Quizá no fui yo el primero que comunicó al doctor Gil Sevillano la noticia de que se le había concedido nuestra placa de honor, aunque, como presidente de esta Asociación fui yo quien tuvo con él lo que pudiéramos llamar el primer contacto oficial. Fue una grata conversación telefónica en la que nuestro hombre se negaba a recibir nuestra modesta distinción a no ser que la hiciéramos extensiva a sus colaboradores y compañeros de trabajo con respecto a los cuales en nada se veía él aventajado.

Me resultó aleccionador y edificante ver el metal de que está hecho este eminente especialista en metales. El estudia las grandes deformaciones de los metales, pero él está hecho de un metal perfecto en generosidad, comunicabilidad y apertura a los demás. Por eso ha sido un maestro de jóvenes investigadores a los que ha entregado generosamente su ciencia y su experiencia. Como ha entregado también a las empresas que lo recababan sus consejos y dictámenes.

Digamos de una vez que Javier Gil Sevillano es vasco, natural de Tolosa, desde hace 58 años. Ingeniero industrial graduado en la dependencia donostiarra de la Universidad de Navarra. Terminada su carrera fue para cuatro años a Lovaina donde hizo la tesis doctoral bajo la dirección del Prof. E. Aernoudt.

Muy pronto Gil Sevillano se convirtió en una referencia internacional en el campo de las grandes deformaciones aplicadas a metales y más en concreto a aceros con estructuras perlíticas.

A su vuelta de Bélgica se incorpora al cuerpo docente de la Escuela de Ingenieros de la Universidad de Navarra y da comienzo a importantes proyectos de investigación en su especialidad metalúrgica. Muy pronto participa en las actividades del recién creado CEIT (Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas de Guipúzcoa). Esta institución orientada hacia las empresas comporta para Gil Sevillano el liderazgo de importantes proyectos de investigación aplicada, aunque cuida mucho también la investigación básica. Esta atención al sistema productivo empresarial hace de Gil Sevillano un científico más actual en nuestro tiempo presente que en el período más temprano de su currículum.

A mediados de los años 90 llegan los nuevos planes de la ingeniería y Gil Sevillano participa en la elaboración del diseño curricular de las Ingenierías de Materiales en España, y se responsabiliza de su implantación en la Escuela de Ingenieros de San Sebastián. Desde entonces armoniza la dirección del Departamento de Materiales de la Escuela de Ingenieros con la del mismo Departamento del CEIT.

Gil Sevillano se subió a la grupa de la Ciencia de Materiales y ha ido a donde ésta ha ido. Siempre sin descuidar sus investigaciones sobre las grandes deformaciones en frío,



Javier Gil Sevillano.

en las que es notabilidad mundial, ha dirigido proyectos sobre mecánica de la fractura, los composites, el comportamiento mecánico de materiales para su utilización en la electrónica, y últimamente sobre las singularidades que el “efecto tamaño” de los nanomateriales introduce en las propiedades mecánicas.

Su producción escrita puede considerarse notable: cerca de 200 trabajos publicados en revistas o en actas de congresos. Ha sido ponente invitado en más de 30 congresos internacionales. Y ha dirigido 16 tesis doctorales. Un vasco que pasea por el mundo el prestigio de España ¿qué más podemos pedirle? ■

Jesús Martín Tejedor

## Placa de Honor 2005 concedida a Manuel Nicolás Fernández Rodríguez

Una identificación del doctor Manuel Nicolás Fernández Rodríguez o una ficha técnica del mismo diría: catedrático de Hematología de la Universidad Autónoma de Madrid y jefe del Servicio de Hematología y Hemoterapia del Hospital Universitario “Puerta de Hierro” de Madrid. Un castizo podría decir: “¡casi naa! Pero lo malo es que yo tengo que hacer una presentación un tanto prosopográfica del personaje y me encuentro en la más dramática peripecia de la condición humana que es tomar decisiones alternativas, en este caso sobre escoger esto o lo otro del *currículum* de nuestro homenajeado. Porque la suya es una biografía y una carrera tan nutrida y esplendorosa que necesariamente tengo que escoger, so pena de tenerles a Vds. oyéndome hasta romper el alba.

Es que este palmeño de 67 años es de los que han ido siempre al copo y me imagino que, siendo natural de una localidad no excesivamente populosa como Santa Cruz de La Palma, tiene ya una calle o una plaza a su nombre. Así que estoy condenado a quedarme corto y a parecerlo a quienes le conocen de cerca, que este es el riesgo de quienes tenemos que

hacer mérito de personas que, en todas partes a donde van, dan el do pecho. Hizo el bachillerato en el Instituto de Enseñanza Media de Santa Cruz de la Palma..., matrícula de honor en todos los cursos, premio extraordinario en Reválida. Terminó medicina en la Complutense de Madrid, con matrícula de honor en casi todas las asignaturas, y obviamente premio extraordinario de licenciatura en 1962,

Su fase de post-grado y doctorado es en la Clínica de la Concepción (tres años), en la Clínica "Puerta de Hierro" (un año), Anderson Cancer Centre de Houston (dos años), y Clínica Mayo de Rochester (un año). Después de estas estancias tan selectivas se doctoró en la Complutense en 1970, pero en realidad era ya un especialista en hematología y hemoterapia que tenía a su cargo desde 1968 la jefatura de este servicio en "Puerta de Hierro". En 1982 ganó la cátedra de Hematología de la Universidad Autónoma de Madrid.

Hematología e Inmunología son los dos frentes en cuya vanguardia encontramos siempre al investigador doctor Manuel Nicolás Fernández. Una síntesis de su ejecutoria en estos dominios tiene cuatro capítulos y medio. El medio es el cambio en la práctica transfusional mediante un nuevo Manual de Procedimiento que introduce una metodología científica y meticulosa y cambia los frascos de vidrio por bolsas de plástico. Digo lo de medio, porque los otros cuatro capítulos pertenecen al ámbito de la invención.

El primero es el haber sido pionero en el trasplante hematopoyético en nuestro país en 1979. El envió a la doctora Pilar Zabala a la Fundación Fred Hutchinson de Seattle para que aprendiera del Nobel D. Thomas la práctica del trasplante que el doctor Fernández impuso en su servicio.

El segundo es el haber sido pionero en España (junto con el Dr. Ortega en Barcelona) en los trasplantes hematopoyéticos de sangre del cordón umbilical.

El tercero es haber ideado el tratamiento de cánceres hematológicos mediante inmunoterapia utilizando anticuerpos (vacunas) y células (trasplante hematopoyético e infusión de leucocitos del donante). Se concibe el trasplante hematopoyético como "terapia celular/inmunoterapia".

El cuarto ha sido idear una nueva estrategia de trasplante hematopoyético con sangre del cordón umbilical, junto con células de otro donante adulto, a la que ha llamado "trasplante dual". Se han documentado mejoras obradas por este procedimiento.

Su importante labor de investigación e invención ha tenido el contrapunto docente de formar a más de 100 internos re-



**Jesús Martín Tejedor haciendo entrega del premio a Manuel Nicolás Fernández Rodríguez.**

sidentes a los que ha trasfundido su doble visión clínica e investigadora. Muchos de estos "mires" suyos hoy ocupan puestos importantes en la Universidad o en las jefaturas de hematología del ámbito nacional.

Ha publicado en primerísimas revistas internacionales más de 150 artículos, y una multitud de capítulos de libros, algunos de ellos verdaderos tratados de medicina. Como ponente oficial, invitado o experto ha acudido a importantes congresos internacionales.

Tendría que hablar ahora del elenco de líneas de investigación desarrolladas, de su participación en importantísimos proyectos de investigación de la Unión Europea y de Israel, de las ayudas conseguidas del Ministerio de Ciencia y Tecnología, del de Educación y Ciencia o del Fondo de Investigaciones Sanitarias, premios, nombramientos como miembro de sociedades científicas, comisiones oficiales... En fin ya he anunciado que tendría que dejar tantas cosas sin decir.

Permítanme con todo expresar mi mayor sentimiento de envidia a don Manuel Nicolás. Es en torno a su laboratorio donde tiene a 12 investigadores, de los cuales 8 son doctores, y dos predoctorales, 7 Técnicos Especialistas Graduados, 35 Diplomados de Enfermería para la atención clínica investigadora, 6 Técnicos Especialistas y 4 administrativos. Total 63 personas y un presupuesto para investigación de 132.800.000 pesetas. En Andalucía suelen decir cuando comen muy bien: "he comido como un inglés". Pues bien, con este laboratorio y estos recursos podemos decir que el doctor Fernández investiga como un yanki. ¡Que lo disfrute con salud! ■

Jesús Martín Tejedor



De izquierda a derecha, Llorca Palomera, Manuel Nicolás Fernández Rodríguez, Josefina Álvarez, Javier Gil Sevillano y José Miguel Bolívar Salcedo.

### Placa de Honor 2005 concedida a José Miguel Bolívar Salcedo

Al doctor Bolívar Salcedo lo he conocido con motivo de este galardón que hoy celebramos, pero tengo que decir que de ahora en adelante le recordaré casi cotidianamente en las primeras horas del día. Exactamente al tomar mi desayuno, que siempre empieza con alguna fruta. Con mucha frecuencia la fruta suele ser una pera, y generalmente me quedo aturdido de la exquisitez de sabores a los que se ha llegado en concreto con las peras. Son sabores-perfume merced a esas correlaciones que se dan entre el sentido del gusto y el del olfato.

Esta relación agradecida con la hortofruticultura se expande y agiganta si se piensa en los incrementos de renta que la exportación de fruta comporta para nuestro país. Esto es sobradamente conocido, pero quizá no se tiene una idea siquiera aproximada de la cantidad de ciencia, tecnología, experimentación e innovación que hay detrás de la producción frutera.

En ese mundo de la hortofruticultura ha discurrido el brillante *currículum* del Dr. Bolívar Salcedo. En el último tercio del siglo XX él ha sido uno de los pilares de los estudios sobre suelo, subdisciplina ésta para la que quisiéramos en nuestros días el esplendor de que gozó en el tiempo que mencionamos.

El comportamiento del suelo a efectos fitogénicos es de las cosas misteriosas o caprichosas que esconde la Naturaleza. Una misma planta y en un mismo terreno puede arraigar espléndidamente o puede fracasar, sin que haya motivos aparentes que lo expliquen. El suelo parece comportarse como una mujer veleidosa que dispensa sus favores no sólo *ad libitum* sino con incongruencia. Pero en realidad no es así. El suelo actúa siempre con causas, con motivos, y es labor delicada del científico llegar a descubrir esas causas y motivos.

Esta fue cabalmente la vocación de nuestro hombre, quien desde 1965. Recién terminada su ingeniería agrícola se dedicó a investigar sobre:

- enfermedades específicas de replantación de frutales
- mantenimiento del suelo en plantaciones frutales
- asfixia radicular de árboles frutales.

Su actitud desde el principio fue de excelencia. Quiso saber lo que había por el exterior e incorporarlo. En una primera estancia se formó en el Institut Agronomique de l'Etat, de Gembloux (Bélgica) bajo la dirección del Prof. Lecrenier. Después estuvo en el Istituto di Coltivazione Arboree, de la Universidad de Florencia especializándose en fruticultura. Otra estancia tuvo en la Station de Pathologie Vegetal de Montfavet (Francia) con el Dr. Messiaen, especialista en patología de frutales. Y finalmente, con un interés muy especial, estuvo



**Antonio Bello, de la AEC, haciendo entrega de la placa a José Miguel Bolívar Salcedo.**

en el Onderzoek Heringplanting, de Wageningen (Holanda) estudiando enfermedades específicas de replantación bajo la dirección del Dr. Hoestra.

En 1967 y 1968 dirigió el curso Superior de Hortofruticultura para postgraduados de Aula Dei, con asistencia también extranjera, y dio impulso a la creación en 1970 del Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza.

En 1970 la carrera del doctor Bolívar experimenta una inflexión que dará a la totalidad de su curriculum una actualidad especial contemplado desde la óptica de nuestro tiempo. Sale de sus clases y de su laboratorio para llevar sus conocimientos al sistema productivo. Pasa a ser director técnico, gerente y consejero delegado de ASCOY, S. A. con 700 hectáreas de regadío para fruticultura y plantas ornamentales. Allí estableció el primer laboratorio comercial de cultivo *in vitro* de

España. Fue administrador y asesor de otras importantes empresas agrarias.

En 1979 se incorporó al INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias) donde ha trabajado hasta su jubilación, excepto los tres años en que estuvo como Jefe del Servicio de Cooperación Internacional en el MAPA. En esta época fue Coordinador del Área de Ciencias Agrarias de la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica con una intensa labor de evaluación y seguimiento de los proyectos de investigación del área.

Hasta el año 2002 estuvo al frente de la delegación española en FAO y en dos ocasiones presidió durante dos años la Comisión Intergubernamental de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura de FAO. En la Unión Europea fue jefe de la delegación española en el Comité del Programa de Recursos Genéticos para la Agricultura y la Alimentación.

Y desde 1997 hasta su jubilación ha sido coordinador de un importante proyecto ecológico nacional: el de Alternativas al uso convencional del bromuro de metilo.

Tiene la Encomienda de la Orden Civil del Mérito Agrícola y la Encomienda de la Orden de Isabel la Católica concedida en el 2002.

José Miguel Bolívar Salcedo, como su maestro Joaquín Herrero Catalina, son figuras fundamentales de la hortofruticultura y de la agricultura españolas. Y sus trabajos sobre el suelo deben constituir una requisitoria exigente para quienes han llevado la atención casi en exclusiva hacia otros menesteres científicos. ■

Jesús Martín Tejedor

## NOTICIAS

### I JORNADA SOBRE CIENCIA Y DEPORTE : CONTEXTOS DE CONVIVENCIA Asociación Española de Científicos

Historicamente, las ciencias y el deporte han venido encontrando espacios diversos de fértil colaboración y proporcionando éxitos por ello. Deporte y ciencias de la salud, ciencias sociales, ingenierías...La convivencia, que no es un don, requiere para su cuidado de tareas que a todos atañen. Aunar ciencia y deporte a través de la reflexión de expertos y actores sociales implicados, con objeto de formular procedimientos multidisciplinares para la mejora de la convivencia entre las personas, en los colectivos, los grupos, las comunidades, la sociedad, con la naturaleza, es lo que ha impulsado la realización de esta jornada. Resulta

oportuno subrayar, no obstante, que imbricadas en el proceso de mejora de las condiciones convivenciales, al que nos venimos refiriendo hemos avizorado un importante número de oportunidades de encuentro entre desarrollos e intereses. Hablamos, por tanto, de una propuesta positiva e integral, en la que, al hilo de sinergias entre ciencia y deporte orientadas a la construcción continua del "vivir juntos", se exploran ámbitos a los que nuestra ciencia sea útil y de los que reciba impulsos, a la par que los deportes optimizan su praxis. ¿Acaso no es eso convivir? Todas las modalidades competitivas tienen un trasfondo científico, subrayó un ponente.

En esta convocatoria, realizada con el patrocinio de la Real Federación Española de Fútbol, han participado entre



A la izquierda, Fernando Garrido, Director del gabinete del Presidente de la RFEF a su llegada a la I Jornada sobre ciencia y deporte.

otros expertos, Jesús Martín Tejedor, Presidente de la AEC. Antonio Bello Miembro de la Junta Directiva de la AEC e investigador del Centro de Ciencias Medioambientales del CSIC, Juan Carlos Olea Cañizares, Miembro de la AEC y Director de la Cátedra de Psicología de la Covivencia del IHCB y Jesús Lizcano Álvarez, Presidente de Transparencia Internacional España y Catedrático de la UAM. Algunos de los temas tratados han sido: ciencia y deporte para la convivencia desde la salud y la educación; economía, deporte y equidad; ciencia, deporte y cohesión social; ciencia, deporte y sustentabilidad... A fin de proporcionar, de manera sintética, conclusiones generales al respecto, las ordenaremos en torno a tres ejes: uno conceptual, otro de procedimientos y un tercero de recursos. En relación a los últimos ha habido unidad de criterio.



Fernando Garrido, inaugurando la Jornada.

La ciencia española se mueve con dificultad y mérito, esperando, mientras, apoyos reiteradamente prometidos a lo largo de nuestro cohetáneo devenir. El informe Pastrana sobre sostenibilidad en España 2005, presentado por uno de los conferenciantes, materializó documentalmente el sentir general. En cuanto a lo conceptual, se ha transitado más explícitamente por el deporte que por la ciencia. Un ejemplo: Constatamos los sentidos de pertenencia y prestigio colectivo ante el éxito, que el deporte como espectáculo vivifica especialmente. Sobre procedimientos, en fin, ciencia y deporte se han articulado, hacia dos objetivos relacionados: Como influir positivamente en las dinámicas de los sistemas sociales y productivos y como hacerlo en la transmisión de actitudes de convivencia entre las personas. En torno a lo primero han emergido la puesta en valor del mundo rural a través de deportes que se desarrollen en dichos ámbitos, la afirmación de la identidad rural a través de deportes tradicionales y a otra escala, los grandes flujos económicos, el desarrollo tecnológico, la construcción de infraestructuras, la globalización.

Vayamos concluyendo esta breve reseña con unas breves puntualizaciones: En cualquier deporte se dan condiciones que suficientemente elaboradas ayudan a una adecuada internalización de valores de convivencia. Cualquiera de los temas aquí expuestos es en sí una propuesta de progreso que demanda una cuidadosa formulación multidisciplinar para su puesta en práctica. Confiamos, humildemente, en que nuestras jornadas coadyuven a dichos propósitos. ■

## FOSTER WHEELER ENERGÍA, S.A.



### EXPERIENCIA EN INGENIERÍA

- ◆ Estudios de Viabilidad.
- ◆ Desarrollo Integral de Proyectos.
- ◆ Ingeniería Básica y de Detalle.
- ◆ Acopios, Expedición e Inspección.
- ◆ Control de proyectos y Estimaciones.
- ◆ Construcción y Montaje. Supervisión.
- ◆ Puesta en servicio y Pruebas. Supervisión.
- ◆ Adiestramiento del Personal de Operación.
- ◆ Supervisión de la Operación.

### GENERADORES DE VAPOR (Isla de Caldera) para:

- ◆ Centrales Térmicas.
- ◆ Aplicaciones Industriales (Refinerías, Industria en General).
- ◆ De Carbón Pulverizado.
- ◆ De Lecho Fluído (Burbujeante, Circulante).
- ◆ De Recuperación de Calor (Cogeneración, Ciclo Combinado).
- ◆ De Biomasa y Residuos.

### SERVICIOS

- ◆ Asistencia Técnica Postventa.
- ◆ Repuestos.
- ◆ Modernización y Optimización de Plantas.
- ◆ Reducción de Emisiones de NOx.
- ◆ Condensadores y Calentadores de Agua de Alimentación.
- ◆ Asesoramiento Técnico.
- ◆ Gestión de Operación y Mantenimiento.

### FOSTER WHEELER ENERGIA, S.A.

OFICINA: C/ GABRIEL GARCÍA MÁRQUEZ, 2. 28230 LAS ROZAS (MADRID), SPAIN  
TALLERES: CTRA. CONSTANTÍ-ALCOVER, Km. 2. 243120 CONSTANTÍ (TARRAGONA), SPAIN  
Tel. +34 913 36 2500, Fax +34 91336 2964/2965 • Tel. +34 977 25 8100, Fax +34 977 25 8116

Foster Wheeler Energía, S.A. Sociedad Unipersonal. Inscrita en el Registro Mercantil de Madrid Tomo 18.210, Libro 0, Secc. 8, Folio 150, Hoja M-315329, Inscrip. 1º, C.I.F. A-83/550.236



[www.inasmet.es/eurofond06](http://www.inasmet.es/eurofond06)

# Ahorro de Materias Primas y Energía para Fundición Férrea

*Congreso Internacional*

Dada la actual coyuntura internacional, los industriales y usuarios del sector de la Fundición en Europa están buscando soluciones a las necesidades de ahorro de materias primas y energía en sus procesos. Las cuestiones estratégicas entorno a los costes de las materias primas en alza frente a los precios de venta definidos a la baja serán debatidas en el Congreso EUROFOND 06, teniendo éste como objetivo la mejora de la competitividad de la industria de Fundición en los mercados internacionales.

## Programa

### *Sesión I: Materias Primas*

Se analizarán la situación de mercados, repercusiones y aspectos técnicos.

### *Sesión II: Energía*

Los temas preferentes a tratar serán las cuestiones como la liberalización de los mercados de la Unión Europea y gestión común de los suministros de energía en el sector de fundición del País Vasco.

### *Sesión III: Reciclabilidad / Eco-diseño*

Se contará con un apartado que centrará sus debates en la regeneración de arenas, así como la recuperación y revalorización de residuos.

## Idiomas

Las conferencias se impartirán en los tres idiomas oficiales del congreso: Castellano, Francés e Inglés. Se dispondrá de servicio de traducción simultánea.



**EUROFOND**

CONGRESO INTERNACIONAL - CONGRES INTERNACIONAL - INTERNATIONAL CONGRESS

Auditorio del Parque Tecnológico  
San Sebastián - Gipuzkoa  
30-31 de marzo de 2006

Con la colaboración de:



Federación Española de  
Asociaciones de Fundidores

Organizan:



inasmet  
tecnalia