

## EDITORIAL

Llevamos años, lustros y hasta décadas quejándonos del estado de la I+D pública y anunciando nuevos males para el futuro, si no se ponían convenientes remedios. Pues bien, tenemos la perversa y lamentable satisfacción de verificar que uno de esos males previstos –quizá el peor de todos– ya se ha hecho presente: la juventud española ya no quiere encarrilar su futuro en la profesión de investigador científico. En efecto, hasta hace unos cuatro o cinco años el porcentaje global nacional de becarios predoctorales que deseaban hacer su tesis era del orden de un 120 % superior a la oferta de los Departamentos universitarios y OPIS del país. Pues bien, hoy han cambiado las tornas y la oferta global de becarios dispuestos a hacer su tesis no supera el 80 % de la demanda de la Universidad española y los OPIS. Bien advertido además, que se trata de un promedio, porque hay áreas disciplinares de importancia capital en las que el porcentaje de peticionarios baja al 30 %. Por si no se entiende bien o dicho en otras palabras, los españoles le están diciendo al Gobierno: “investigador científico no, gracias”. Al atento lector se le reconoce el derecho a toda clase de lamentos y exclamaciones, con una sola excepción, la de la sorpresa. El ministro de Ciencia y Tecnología ya puede ir hablando con el ministro de Defensa para que le instruya sobre el modo de reclutar a extranjeros para nutrir al futuro sistema de Ciencia-Tecnología español. Claro que esto no sólo pasa en España. También en Alemania y en otras naciones adolecen algo de lo mismo, pero hay que reconocer que en España, especialmente durante la gestión del anterior equipo ministerial, se ha tenido una política espléndidamente eficaz para lograr esta desbandada. Los numerosos jóvenes investigadores que han sido despedidos de sus laboratorios, porque no llegaba el dinero de sus contratos, no sólo han dejado un hueco difícilmente reparable, sino que han sido una voz de alarma para los que estaban a tiempo de no caer en la misma trampa.

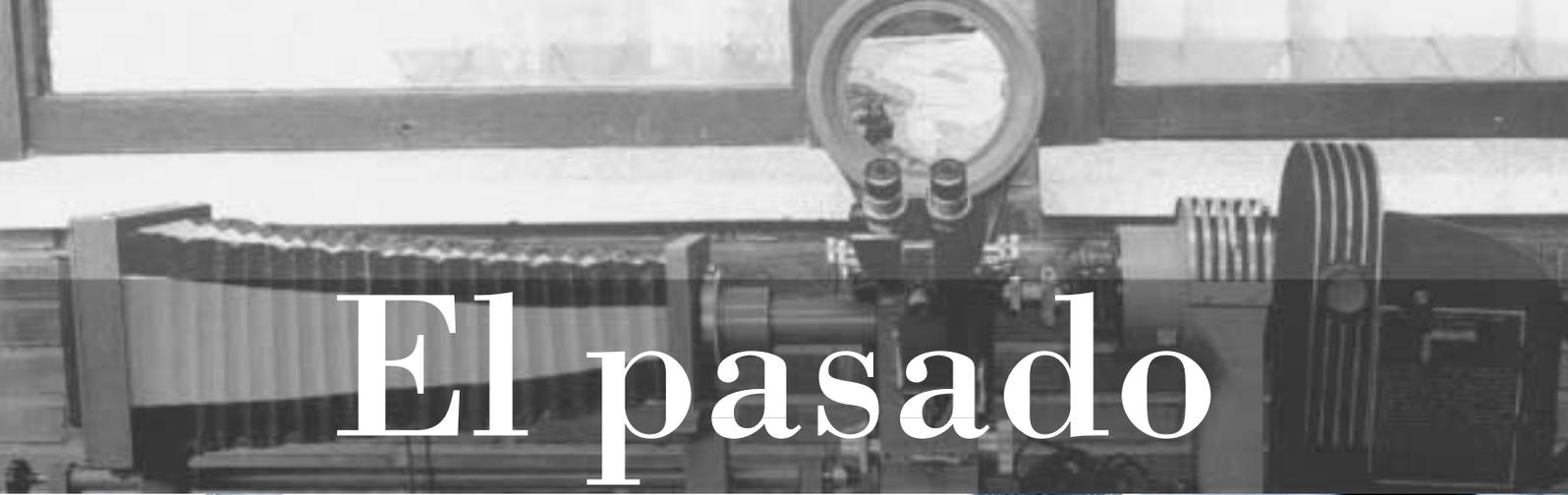
¿Pero qué está pasando en la Ciencia de nuestro país? Habría mucho que hablar sobre el tema, y mucho hemos hablado ya en las páginas de esta nuestra joven revista. Pero hay una línea argumental que es preciso glosar con especial insistencia. Desde hace unos cuantos años la legitimación de la Ciencia y la excitación a los políticos para que aumentaran los recursos de la Ciencia y de la Tecnología ha tenido como *leit motiv* fundamental, por no decir único, la relación entre la I+D

y el aumento de renta y de puestos de trabajo. Se ha insistido hasta la saciedad en la priorización y en la excelencia, bien entendido que tales requisitorias se referían a una repercusión *inmediata* en el sistema productivo y en la pujanza de las empresas.

Es justo reconocer que estos enfoques pragmáticos y economicísticos venían a corregir algunas percepciones de la Ciencia que eran radicalmente superficiales y hasta vanas. Durante mucho tiempo, ciertos responsables del Presupuesto del Estado, cuando se preguntaban para qué servía esto de la Ciencia, pensaban que era un asunto de decencia nacional. Las naciones avanzadas de nuestro entorno valoraban la Ciencia, tenían Academias, distinguían a sus académicos, y nosotros no podíamos ser menos, si queríamos componer la imagen de una nación civilizada. La Ciencia era un asunto de ornato y decencia, como el piano, el bordado y demás asignaturas de adorno que debían mantener los internados de señoritas distinguidas. Claro que Newton y los hombres de la Royal Society o los profesores de Leiden sabían para qué era la Ciencia, pero en una sociedad como la española, mimética y acomplejada con lo extranjero, lo único que se sabía era que esto de la Ciencia pertenecía al ajuar del país.

Afortunadamente la Junta para la Ampliación de Estudios, y posteriormente los hombres que crearon el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, así como muchos de los que dirigieron sus institutos y centros sí sabían para qué era la Ciencia, aunque operaban en un mundo de post-guerra desmantelada y en el que uno de sus apremios más urgentes era proveer de profesores a la Universidad para dotar a la sociedad española de los necesarios facultativos. El resultado fue que durante no pocos años y gracias al Consejo Superior de Investigaciones Científicas la nación contó con un instrumento científico interdisciplinar y crítico que, al influir en la Universidad y ser influido por ella, llegó a constituir la realidad más próxima a una comunidad científica formal que ha habido en la vida contemporánea de este país.

Desde entonces acá han sucedido cosas importantes y buenas... se ha consolidado una carrera funcional de investigador, aunque muy deficientemente retribuida; se ha hecho una Ley de la Ciencia y un Plan Nacional que ha conseguido vin-



# El pasado



# es un prólogo

Para buscar los orígenes de Inasmet hay que remontarse a 1962, cuando un grupo de técnicos y empresarios fundó la Asociación Técnica de Fundidores de Gipuzkoa. Eran otros tiempos, otros recursos, pero lo que no ha cambiado con el tiempo es la ilusión por ser eficaces y dar respuesta a la empresa para que sea más competitiva.

Desde entonces hemos crecido en servicio, recursos, actividad y organización, hemos crecido como empresa. Sin embargo, no queremos hablar del pasado sino de las nuevas tecnologías que estamos desarrollando para que nuestros clientes lideren la innovación en cada uno de los sectores en los que trabajan. Su futuro es el nuestro.



inasmet

Mikeletegi Pasealekua, 2 Parque Tecnológico/Teknologi Parkea - E-20009 DONOSTIA/SAN SEBASTIAN  
Tel.: +34 943 00 37 00 - Fax: +34 943 003800 - [www.inasmet.es](http://www.inasmet.es)

tecnalia  
Corporación Tecnológica

dicar y estabilizar para la actividad investigadora una porción del Presupuesto del Estado francamente sensible, iniciativas positivas de los sucesivos gobiernos del PSOE. Pero también es preciso reconocer que 1986, con la Ley de la Ciencia, es el año en que comienza un desmelenado intervencionismo del Gobierno, un afán planificador y una burocratización gestionada por comisarios y amigos que ha hecho del mundo científico una ceremonia del papeleo, de la farsa, del buscarse la vida a cualquier precio, de producir *papers*, de urdir refritos, y de escapar de todo riesgo creativo, entre otras razones porque la propia Administración castiga el riesgo. A decir verdad, este sistema tan lleno de disfunciones y degeneraciones ha sido llevado por los Gobiernos socialistas con una decorosa coherencia y regularidad en cuanto a convocatorias de proyectos y libramiento puntual de los fondos concedidos.

Pues bien, la llegada al Gobierno del Partido Popular no ha solucionado ninguna de las taras socialistas, no ha impuesto una política propia, ha mantenido en sus puestos a gestores de la etapa anterior que siguen haciendo la misma política diaria que hicieron con el PSOE (por ausencia de ideas y de directrices de sus superiores), pero además ha roto lamentablemente la cadencia de convocatorias y financiaciones que al menos mantenían los anteriores. Lo más abultado que ha hecho el Gobierno del Partido Popular ha sido crear un Ministerio de Ciencia y Tecnología que lleva implícito el germen de una nueva política: el apoyo al mundo empresarial. A eso lo sacrifica todo. Todo.

Por un doble concepto, es equivocado sacrificarlo todo a esa carta. En primer lugar, en el mundo empresarial español se están produciendo realidades pasmosas que serían impensables hace pocos años. Sobre más de 1.500 empresas que hacen auténtica tecnología, hay un puñado de ellas que son punteras en el mundo y en temas tan exquisitos como la aviónica, la electrónica, la computación, la investigación espacial, los diseños interiores de la automoción, la cerámica, los nuevos materiales, etc. Casi todas estas empresas deben su existencia y pujanza a la iniciativa y tesón de personas emprendedoras. Entre todas ellas nos asientan en la esperanza de que la investigación tecnológica española va a salir adelante por sus propios medios. Cosa curiosa: es idea extendida entre estos empresarios que el gran favor que les puede prestar la investigación pública o del Estado es hacer una buena investigación básica.

En segundo lugar, la capacidad que viene demostrando la Administración para ayudar a las empresas es bastante ilusoria. Por ejemplo, ofrecer créditos a las empresas, pero tras unos largos y complicados papeleos que retrasan la entrega de los fondos hasta unas fechas en las que el negocio ha perdido actualidad. Las cosas podrían ser de otra manera. En cuanto a las deducciones fiscales, las nuevas leyes de Modificación del Impuesto de Sociedades y de Fiscalidad de I + D, amén del error de procedimientos burocráticos que hacen más lentos los procedimientos hasta el extremo que casi ninguna empresa uti-

liza estas deducciones, excluyen la investigación en *software* de los beneficios fiscales. Pues bien, el conocido Observatorio de Prospectiva Tecnológica e Industrial señala como *megatendencia* para los próximos doce años la investigación en *software* de diseño y fabricación, y fabricación concurrente. Una empresa española, primera en el mundo para suministros del automóvil, que dedica el 10 % de su facturación a investigación casi exclusiva en *software* ha multiplicado por seis los beneficios en diez años. El *software* es la base de su investigación y de su pujanza.

No es que creamos imposible que el Gobierno ayude a las empresas. Creemos solamente que, hoy por hoy, es muy difícil que la actual Administración española, con sus hábitos de funcionamiento, sea capaz de ayudar a las empresas en la línea que se plantea el Gobierno. Curiosamente, hay en el patrimonio doctrinal del Partido Popular –concretamente, en el texto de la Ley alternativa a la Ley de la Ciencia que planteó en 1986 dicho partido– la propuesta de un instrumento que podría dar la vuelta a esta situación: la creación de la Agencia Nacional de I+D. Se trataría de una entidad inspirada en el dibujo institucional del Banco de España que tendría una doble entidad, a saber, pública y privada. Pública para recibir dinero directamente de Las Cortes a través de los Presupuestos Generales del Estado. Privada para administrar los fondos con criterios empresariales, sin las trabas e imposiciones de la Administración. Pero mucho nos tememos que los actuales dirigentes de la política científica ni siquiera conocen la existencia de ese texto.

En conclusión: es absolutamente apremiante que el Gobierno revise en profundidad las ideas básicas de su política científica. Su obsesión por el mundo empresarial, por los aumentos inmediatos de renta y de puestos de trabajo, su desprecio no verbal pero sí real hacia la ciencia básica, su falta de respeto por una gestión eficaz y profesionalizada de la I + D, ha empezado a producir una catástrofe de incalculables consecuencias en el futuro de España. Es urgente restaurar un panorama en el que la profesión de investigador científico y tecnológico resulte razonablemente aceptable para nuestra juventud. Hay que abrir un horizonte para la investigación en la Universidad, en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, y en los Organismos Públicos de Investigación. Hay que reducir la financiación del Plan Nacional respetando únicamente lo que sean verdaderos proyectos y no simulacros de proyecto, y en cambio dotar de presupuestos ordinarios de investigación a las mencionadas instituciones científicas actualmente incapaces de una actividad propia. Hay que volver a los liderazgos naturales en la dirección de los centros. Hay que ayudar a la creación de una comunidad científica formal, que asuma el protagonismo de la Ciencia y esté presente en la esfera de Gobierno. ¡Por Dios bendito! déjennos trabajar con un poco de horizonte, de paz, de decencia y hasta de riesgo personal en lo que todo el mundo civilizado ha entendido siempre como ciencia, como ciencia buena, por supuesto. Eso sí que lo agradecerían los capitanes de empresa. ■

**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:** Armando González-Posada

**Secretario de Organización:** Enrique Ruiz-Ayúcar

**Secretario de Actas:** Fernando García Carcedo

**Tesorero:** Ismael Buño Borde

**Vocales:** María Arias Delgado, Francisco Ayala Carcedo, Antonio Bello, José Luis Díez, José Luis Enríquez, Sebastián Medina, Felipe Orgaz, Jesús Rincón, Jaime Sánchez-Montero, Alfredo Tiemblo.

**Vocales suplentes:** Jesús Martínez Frías, Rosario Lunar, 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)**

## INDICE

Se enciende una luz: Pedro Morenés	5	El Programa Marco de la Unión Europea y el sistema español de I+D: ¿convergencia o divergencia?	22
La Confederación de Sociedades Científicas Españolas más cerca	6	Hacia la responsabilidad social	24
Visita de la AEC al Secretario de Estado Pedro Morenés	7	El suelo, un medio biológico a proteger	28
La gestión de los residuos radiactivos en España. El Quinto Plan General de Residuos Radiactivos	9	Células Madre Adultas	31
España sin Premios Nobel. Factores explicativos, perspectivas y criterios racionales para una política científica	13	Estado actual de la tecnología de las fibras de carbono	36
Análisis de la gestión de la innovación en la Comunidad Valenciana en cuatro sectores industriales maduros de la economía española	19	AGILE: Un desarrollo español en la vanguardia del grafismo para TV en directo	40
		I Certamen "Arquímedes" de introducción a la generación de conocimiento, 2002	46

# Se enciende una luz: Pedro Morenés

**AUTOR:** JESÚS MARTÍN TEJEDOR

Quizá sea el término “oscuridad” el que mejor resume la situación de la Ciencia y de la Tecnología en España. Oscuridad, en primer lugar, porque hasta los españoles cultos ignoran que hay en España más de 1.500 empresas que generan nuevas tecnologías, y un puñado de ellas son punteras en el mundo, por cierto, en campos tan exquisitos como la electrónica o la investigación espacial. Oscuridad porque no se sabe que los investigadores españoles – aun siendo pocos en relación con nuestra renta y nuestra demografía - tienen muchos de ellos un nivel que les permite comparecer en la comunidad científica internacional en pie de igualdad. Oscuridad porque el científico español carece del prestigio social y del reconocimiento de que goza en las naciones más avanzadas.

Estas son las oscuridades extrínsecas o de percepción en torno al hecho científico, y son consecuencia de un mal cuyo remedio no tiene rápida solución: la falta de cultura científica de la sociedad española. En España se es inculto cuando no se sabe quién es Dante o Velázquez, pero no se es inculto cuando se ignora qué representó Newton en la historia del mundo o quiénes fueron Maxwell o Max Plank. Esto es un mal que va para largo, y lo que se ha venido haciendo en materia de enseñanza, en los dos últimos decenios, en nada ha contribuido a empezar a remediarlo.

A pesar de todo hay una Ciencia en España y hay una cierta organización de la investigación científica especialmente en el ámbito público o estatal. Pero de nuevo aquí nos encontramos con la oscuridad. Los científicos españoles no sabemos a qué modelo de país tenemos que servir. Y no lo sabemos, porque no ya las esferas de Gobierno, de la política, y de la intelectualidad, sino el conjunto de la sociedad española carece de eso a que aludía Charles de Gaulle, cuando comenzó sus Memorias con la frase ya famosa “yo siempre tuve una cierta idea de Francia”. Una cierta idea de España. Esta es la cuestión. Quizá ha sido ésta la última y más penosa pervivencia de las secuelas de la guerra civil: una inhibición respecto a pensar y hablar de España por temor a las disputas en que acaso podríamos enzarzarnos de nuevo si pretendiéramos aquilatar nuestra identidad nacional. A decir verdad, todo esto es ya una cuestión de inercia, porque el punto de evolución histórica y de superación de viejos fantasmas al que hemos llegado hace perfectamente posible que alguna vez nos sentemos a dilucidar, en profundidad y en extensión, qué es lo que debemos hacer con nuestro país.

Mientras llega este momento, la política científica española se ha dedicado a seguir aquella máxima que Chesterton irónicamente formuló: “puesto que no sabemos qué es lo que hay que hacer, hagamos como que lo sabemos y pongámonos a organizar”. Organizar. Desde la Ley de Fomento y Coordinación de la Investigación Científica y Tecnológica del año 1986, la política científica española ha constituido una gran ceremonia de la organización en torno a la realización de los sucesivos Planes Nacionales de I+D, cuya misión fundamental consiste en priorizar áreas y subáreas para dotar de medios dinerarios a los

proyectos propuestos por los investigadores de la comunidad científica. Se formula así un cuadro de prioridades abstractas, que fijan una situación inamovible durante cuatro años, no se compadece con la movilidad - y a veces con la vertiginosidad - del proceso científico, y carece de elementos críticos para opinar sobre acciones relevantes pero mucho más concretas, cuyo discernimiento debería corresponder a órganos más permanentes y representativos.

A esto se añade que los inspiradores y expertos de los Planes Nacionales se seleccionan “ad casum” desde el poder político y sin tener en cuenta a las instituciones que en los países avanzados y en la propia Unión Europea se consideran como los “órganos naturales” y representativos de la Ciencia. Jamás las Reales Academias, las Reales Sociedades Científicas, o las Sociedades Científicas han sido consultadas para la formulación de un Plan Nacional. El hecho cierto es que los Planes Nacionales jamás se han vivido por la comunidad científica como una proyección propia, y hasta ahora tampoco han servido para que los diferentes Gobiernos tuvieran una idea medianamente cabal de para qué diablos sirve esto de la Ciencia. La comunidad científica vive en permanente oscuridad respecto a sus propios destinos, por su total incomunicación con el Gobierno; y los Gobiernos, que deberían tener un trato orgánico con la comunidad científica para saber qué es necesario y conveniente y posible en materia de investigación, siguen en la inopia, solventando con voluntarismo y mera organización el compromiso de planificar la Ciencia cada cuatro años.

Todo lo dicho hasta el presente es una mera introducción para explicar por qué la fecha de 25 de septiembre puede llegar a ser memorable en la historia de la Investigación Científica y Tecnológica española. En la mañana de ese día, el Secretario de Estado de Ciencia y Tecnología, Pedro Morenés, recibió a los presidentes de 34 sociedades científicas, entre las que se encontraban las más importantes por representatividad y relevancia. Fue un diálogo denso, respetuoso y constructivo, que el Sr. Morenés entendió como el comienzo de una interlocución permanente y sistemática entre la comunidad científica y el poder político. Y fue también un episodio que los representantes de una parte importantísima de la investigación española hemos tomado como un sustancial inicio del enderezamiento del sistema Ciencia-Tecnología español. Porque algo así no se había hecho nunca en la historia contemporánea española posterior a la Junta para la Ampliación de Estudios. Es llevar la Ciencia a sus cauces naturales y hacer posible que el conjunto de los órganos “naturales” de la Ciencia, en interacción dialéctica, lleguen a generar un consenso de opinión pública científica en el que sea posible la formulación de un proyecto científico verdaderamente representativo y nacional al servicio de la sociedad a la que deben servir. Un proyecto científico que, si está bien hecho, se acercará mucho a esa “certa idea de España” que echamos en falta. En medio de la oscuridad, se ha encendido una brillante luz, que para nosotros tiene un nombre: Pedro Morenés. Es pronto para hacer pronósticos o ir más adelante en las congratulaciones, pero no nos cabe la menor duda de que esta luz alumbrará el verdadero camino por recorrer. ■

# La Confederación de Sociedades Científicas Españolas más cerca

**AUTOR:** EDUARD SALVADOR  
*Presidente de la Sociedad Española de Astronomía*

Existe la opinión generalizada entre los investigadores españoles de que desde el Gobierno, y no me refiero a ninguno en concreto sino que hablo en términos generales, no se presta la debida atención a la ciencia y tecnología.

El motivo está claro: en política, lo único que cuenta, prácticamente, es la consecución del poder y la permanencia en él. ¿Acaso preocuparse por la ciencia y la tecnología da votos? O dicho más llanamente, ¿de qué sirve una inversión de futuro para el país si no se ganan las siguientes elecciones? Si al menos, como sucede en otros países con mayor tradición científica, la sociedad se interesara por los avances científico-tecnológicos, uno podría esperar sacar algún rédito electoral preocupándose por la ciencia y tecnología y haciendo la propaganda oportuna. Pero la sociedad española es prácticamente insensible a la investigación científica y al trabajo de los investigadores. Y para las mismas empresas el mantener laboratorios de I+D representa una apuesta de futuro excesivamente costosa para la mayoría de ellas que viven del día a día. Sólo las grandes empresas pueden permitírselo y, por desgracia, éstas suelen ser extranjeras. Luego, ¿por qué preocuparse de un tema como ese que sólo puede beneficiar a futuras generaciones? Más vale concentrar todos los esfuerzos en aspectos con mayor impacto social y cuya posible mejora es visible de inmediato.

Lo peor de todo es que no podemos esperar que sea la propia Administración la que intente cambiar esta situación. Por los motivos que comentaba antes, en materia de ciencia y tecnología, los Gobiernos siempre tenderán a hacer el mínimo esfuerzo posible que garantice no ser criticados por la oposición. Así pues, dado que la sociedad es insensible al problema, sólo podemos confiar en nosotros mismos, los investigadores, para intentar cambiar las cosas. De hecho, es nuestro deber hacerlo porque nadie como nosotros es tan consciente de lo que está en juego y, al mismo tiempo, no estamos sujetos al pragmatismo desmedido de los políticos.

Cualquier acción en ese sentido pasa por crear un organismo autónomo, capaz de analizar la situación actual y las perspectivas de futuro en los distintos ámbitos de la ciencia y tecnología, a escala internacional y a escala de nuestro país, considerando donde nos encontramos ahora y, lo que es tanto o más importante, a dónde podemos llegar a largo plazo. Este organismo debiera poder interaccionar con el Gobierno y guiarle en materia de política científica, asesorando a los distintos ministerios implicados y criticándoles cuando se está en desacuerdo con sus actuaciones. Finalmente, también debiera preocuparse en fomentar la ciencia y tecnología en nuestra sociedad, especialmente entre los más jóvenes, a fin de implicarla en su desarrollo.

A estas mismas conclusiones, o muy parecidas, parecen haber llegado muchos investigadores de todas las disciplinas. Al menos eso es lo que se desprende del interés mostrado por gran número de ellos, que, desde sus sociedades científicas respectivas, jalean la creación de un organismo de

ese tipo. Pues bien, como ya se comentó en el pasado número de esta revista, por fin se están dando pasos decididos en esa línea. Recogiendo una idea surgida en un primer contacto que hubo entre representantes de distintas sociedades científicas antes del verano y aprovechando el interés mostrado por el nuevo Secretario de Estado, D. Pedro Morenés, en entablar una comunicación fluida por parte del Ministerio de Ciencia y Tecnología con dichas sociedades, lo cual requiere, por parte de éstas, la creación de una pequeña comisión que actúe como portavoz de las mismas, se ha iniciado el proceso constituyente no de una comisión de ese tipo, sino de algo mucho más importante: de una Confederación de Sociedades Científicas Españolas. Ni que decir tiene que los que trabajamos para que esta idea se haga pronto realidad estamos muy ilusionados con este proyecto. La razón es clara: dicha confederación está llamada a jugar, en un futuro no muy lejano, un papel decisivo en la vertebración de la ciencia y tecnología españolas y, ahora mismo, debiera ya actuar como un revulsivo para que la investigación científico-tecnológica adquiera un mayor protagonismo en España.

Con el objetivo de discutir la viabilidad de esta iniciativa y concretar la forma de llevarla a cabo, tuvo lugar, el pasado 15 de octubre, en la sede central del CSIC en Madrid, una reunión de representantes de sociedades científicas españolas. A esta reunión asistieron 32 de las 35 sociedades que habían sido convocadas y otras dos disculparon su ausencia por imponderables de última hora. Es más, después de la reunión, otras sociedades nos han comunicado su intención de sumarse al proyecto. Teniendo en cuenta la diversidad de disciplinas científicas involucradas y la ideosincrasia típica de los investigadores, caracterizada por su independencia y gran dedicación al trabajo que les lleva a ignorar todo lo que es superfluo y les distrae de la investigación, estas cifras muestran, por sí solas, el éxito rotundo de la convocatoria. Por si fuera poco, el ambiente que reinó en dicha reunión fue, en todo momento, excelente. Hubo interés, voluntad de participación y una actitud constructiva y conciliadora por parte de todos los asistentes, alcanzándose, en cada uno de los puntos tratados, rápidamente el consenso. Todo ello permite creer que el proceso iniciado en esa reunión es irreversible y que la creación de la Confederación de Sociedades Científicas Españolas que todos deseamos está muy cerca.

En esta reunión, se nombró una Comisión Gestora encargada de elaborar un borrador de estatutos, en la que participan las Reales Sociedades de Historia Natural, Física y Química, a las que se ha sumado, recientemente, la de Matemáticas, y las Sociedades de Bioquímica y Biología Molecular, Microbiología y Astronomía, así como la Federación Española de Sociedades de Psicología y la Asociación Española de Científicos. Según el calendario previsto, este borrador debiera estar listo para después de Navidad. Entonces se hará llegar a todas las sociedades interesadas para que lo analicen y presenten posibles enmiendas a la Comisión Gestora. Todo este proceso debiera culminar, en la primavera del 2004, con una asamblea constituyente que apruebe los estatutos y convoque las elecciones de la junta directiva. Si todo funciona como está previsto, a principios del próximo curso académico, la Confederación podría ser ya operativa y sólo quedaría ponerse a trabajar. ■

# Visita de la AEC al Secretario de Estado Pedro Morenés

El lunes 2 de diciembre el Secretario de Estado del Ministerio de Ciencia y Tecnología Pedro Morenés, recibió en su despacho a Jesús Martín Tejedor, presidente de la Asociación Española de Científicos y director de la revista ACTA CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA y a Enrique Ruiz-Ayúcar, secretario de organización de la asociación y editor de la revista. Sentados en mesa redonda, con la atmósfera de respetuosa naturalidad que crea Pedro Morenés, empezamos la conversación:

**AEC.** Creo que el nuevo equipo ministerial tiene ya cosas buenas que contar y será un placer para nosotros el divulgarlas. En los dos últimos números de nuestra revista hicimos una dura crítica del anterior equipo ministerial y, francamente, nos resulta ahora estimulante el acreditar nuestro espíritu constructivo.

**Secretario de Estado.** Se ha referido Vd. al pasado inmediato de este Ministerio, pero hay una cosa que quiero dejar muy clara: yo sigo pensando que la creación y la existencia de este Ministerio ha sido una cosa buena y acertada, y tengo mucho interés en proyectarlo hacia el futuro. Y respecto al pasado sería injusto no tener en cuenta que el poner en marcha un nuevo Ministerio, surgido de la escisión de uno y de la total incorporación de otro, tenía dificultades especiales que no se pueden minusvalorar.

**AEC.** A nosotros nos parece elegante, ético, estético y congruente con una corresponsabilidad de Gobierno el que atribuya Vd. a dificultades objetivas la ejecutoria del anterior equipo ministerial, pero la comunidad científica encontraría más facilidades para creer en la viabilidad y provecho de este nuevo Ministerio si, en las disfunciones graves que se han producido, se reconociera que ha habido fallos de personas que no han sabido mover los papeles o que no han sido capaces de "tenérselas" con el Ministerio de Hacienda. De hecho, el nuevo equipo que Vd. dirige está normalizando sensiblemente los mecanismos de financiación de la Ciencia y de la Tecnología, y es importante apercibirse de ello para que los científicos podamos recuperar la esperanza. Necesitamos mucha esperanza y mucha clarificación del fu-

turo. Y tenemos la impresión de que podemos depositar en Vd. buenas dosis de esperanza.

**Secretario de Estado.** Yo agradezco esa confianza o esperanza y pueden estar seguros de que voy a dedicarme a este nuevo trabajo con entusiasmo y responsabilidad. Pero yo insisto en que hay problemas objetivos en el Ministerio y a mí me preocupa en concreto la existencia en este Departamento de dos culturas en cierto modo antitéticas. Por una parte está la cultura rígida, precisa en fechas de realización, comprometida en resultados concretos con el mundo de la empresa, y evaluable en términos de renta, propia del anterior Ministerio de Industria, y por otra parte está la cultura más flexible del estudio y de la reflexión, del riesgo y de la libertad creadora propia del anterior Ministerio de Educación y Ciencia. La confluencia en un mismo Ministerio de ambos estilos, modos y concepciones se presta a desajustes y disfunciones. Por eso pretendemos diseñar un nuevo órgano administrativo y de gobierno, dentro del Ministerio, que sea capaz de atender a todos de manera adecuada y sin aplicar a unos los módulos que son sólo válidos para otros. Hay que buscar una armonía en la gestión de un proceso que va desde el alumbramiento del conocimiento a la tecnología, desde ésta a la innovación para terminar finalmente en el sistema productivo

**AEC.** Permítame que me alarme un poco cuando se refiere Vd. a la gestión de ese proceso como la tarea propia de su Ministerio, porque me recuerda al discurso del presidente Aznar en Barcelona, el 10 de julio del 2000, cuando dijo que el apremio más urgente de la investigación española era derribar el muro que separa a los laboratorios de centros científicos de la actividad de las empresas.

**Secretario de Estado.** Pues ¿cuál es entonces el apremio más urgente?

**AEC.** El apremio más urgente de la investigación es tener una buena ciencia.

**Secretario de Estado.** Bueno, en eso estamos. Y vemos que es importante aumentar los

recursos. Por supuesto, hay que gastar la totalidad del presupuesto de I+D. Pero no basta con eso. Hay que incrementar los recursos y tenemos que plantear ya un aumento presupuestario de un 7 o un 8%. A pesar de eso, nuestros recursos seguirán siendo limitados, lo que nos impone una necesidad ineludible de priorizar tareas.

**AEC.** Por supuesto que hay que priorizar, pero ¿con arreglo a qué criterios?

**Secretario de Estado.** Obviamente, el instrumento crítico para las priorizaciones es el Plan Nacional y el VIº Programa Marco Europeo.

**AEC.** Del Plan Nacional hay unas cuantas distinciones que hacer, y nosotros las hemos hecho en varios números de nuestra Revista Acta Científica y Tecnológica. En varias ocasiones hemos hecho una crítica frontal del planteamiento del Plan Nacional. Pero frontal no es lo mismo que radical. Quiero decir que el investigar en proyecto y como parte de un programa es un tipo de investigación valiosa y muy característica de nuestro tiempo, lo mismo que el que sea competitiva. Por eso no hacemos una crítica radical. Pero nos oponemos frontalmente a que la única financiación de la I+D se haga a través de los proyectos del Plan Nacional, eliminando toda posibilidad de una financiación ordinaria a través de los Centros de investigación. Eso por una parte. Pero nos oponemos también a lo que hay de falso y esperpéntico en el Plan Nacional. Un gran número de los proyectos no son verdaderos proyectos por razones meramente cuantitativas. ¿Cómo se pueden llamar proyectos a financiaciones de uno, de dos o de tres millones de pesetas? Repugna *in terminis* una cantidad así aplicada al concepto de proyecto. Pero es que además, el 60 o el 70% de los proyectos no son verdaderos proyectos, es decir, no coadunan a tres o más investigadores para acometer desde diferentes ángulos un problema especialmente complejo que excede las capacidades de un solo investigador y afecta a varias disciplinas o subdisciplinas, sino que tres o más investigadores engloban en un rótulo común el trabajo que cada uno de ellos podría hacer por separado si contaran con una financiación ordinaria.

**Secretario de Estado.** Pero el dinero es una cosa muy seria que dan los ciudadanos y yo

tengo una grave responsabilidad de usarlo bien y saber qué se hace con él. Nos encontramos con Universidades que han utilizado los fondos de investigación para tapar agujeros que no tenían cosa que ver con la investigación. Otras veces hemos querido mandar fondos de I+D a unas Universidades que los habían solicitado y nos hemos encontrado con la imposibilidad legal de librarlos porque el Ministerio de Hacienda exigía previamente que las tales Universidades normalizaran los débitos fiscales consiguientes a anteriores dotaciones. Por otra parte, que el dinero se dé a unos jefes de equipo, en régimen de competitividad, también parece importante. Hace dos semanas estaba yo en EE.UU. hablando con un investigador español muy prestigioso y asentado en aquel país y le pregunté qué le parecía la idea de dotar directamente de fondos de I+D a investigadores consagrados y dignos de confianza. “¿Sin competitividad? ¡Jamás!” me respondió. “Eso sería la muerte de la investigación”.

**AEC.** Bueno, eso en EE.UU. se lleva a rajatabla, pero en Europa hay una mayor amplitud y hay una cierta institucionalización de la confianza que puede ser más humana y efectiva. Cuando un científico ha demostrado que es “de raza” se puede esperar que haga un uso del dinero mucho más próximo a las personas y a los temas que el que se deriva de una oficina elevada y de mucho informe y papeleo valorativo. En fin, todo tiene su riesgo. Pero hay otra cosa que me parece preocupante, volviendo al tema de la priorización a través del Plan Nacional. ¿Cómo pueden priorizar los Planes Nacionales si en España no existe un consenso nacional respecto a un dibujo de país o a un proyecto colectivo de vida y de proyección en el mundo? ¿No cree que el primer proyecto que tendría que plantearse nuestra nación en materia de investigación debería ser el “Proyecto España”?

**Secretario de Estado.** ¿¿Para hacerlo aquí?! ¿¿En este Ministerio?! Eso afecta a Educación y Cultura, a Fomento, a Sanidad... a todo.

**AEC.** Sí, para hacerlo aquí, porque salvo una última fase en la que debería entrar la decisión política, el asunto sería lisa y llanamente un tema de investigación.

**Secretario de Estado.** Bueno, trágame, si quiere, un papel sobre esto, y hablaremos. ■

# La gestión de los residuos radiactivos en España. El Quinto Plan General de Residuos Radiactivos

**AUTOR:** JOSÉ MANUEL ESPEJO HERNÁNDEZ  
Jefe Dpto. Planificación de ENRESA

El 31 de julio de 1999 el Consejo de Ministros acordó la aprobación del Quinto Plan General de Residuos Radiactivos (5º PGRR), documento en el que se recogen y revisan las estrategias y principales líneas de actuación técnicas a llevar a cabo en nuestro país en los distintos campos de la gestión de los residuos radiactivos, así como el estudio económico-financiero actualizado del coste de dichas actuaciones.

Con **carácter general**, puede decirse que, aún siendo conscientes de las dificultades existentes para la consecución de algunos de los objetivos planteados, fundamentalmente en temas relacionados con el combustible gastado y los residuos de alta actividad (RAA), España dispone de una notable infraestructura para llevar a cabo una gestión segura y eficaz de los residuos radiactivos, desde los puntos de vista administrativo, técnico y económico-financiero.

Desde el punto de vista administrativo, existe una organización, apoyada en un desarrollo legislativo relativamente amplio, acorde con la evolución de la regulación internacional, que contempla y conjuga adecuadamente las principales responsabilidades de las partes implicadas en el proceso: el Gobierno, a tra-

vés del Ministerio de Economía (MINECO), que define las políticas y otorga los permisos y licencias correspondientes; el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), como único responsable en materia de seguridad nuclear y protección radiológica, que rinde cuentas al Parlamento; ENRESA como empresa responsable de la gestión de los residuos radiactivos y los productores de residuos, entre los que destacan 7 Centrales Nucleares (CC.NN.) con 9 reactores, la Fábrica de Combustible de Juzbado y unas 1.300 Instalaciones Radiactivas (II.RR.) autorizadas.

En el aspecto técnico, son destacables la experiencia acumulada en los últimos años y las tecnologías ya disponibles en distintos campos de la gestión, así como el hecho de recogerse en el PGRR las estrategias y acciones a desarrollar, que son revisadas anualmente por ENRESA y aprobadas periódicamente por el Gobierno.

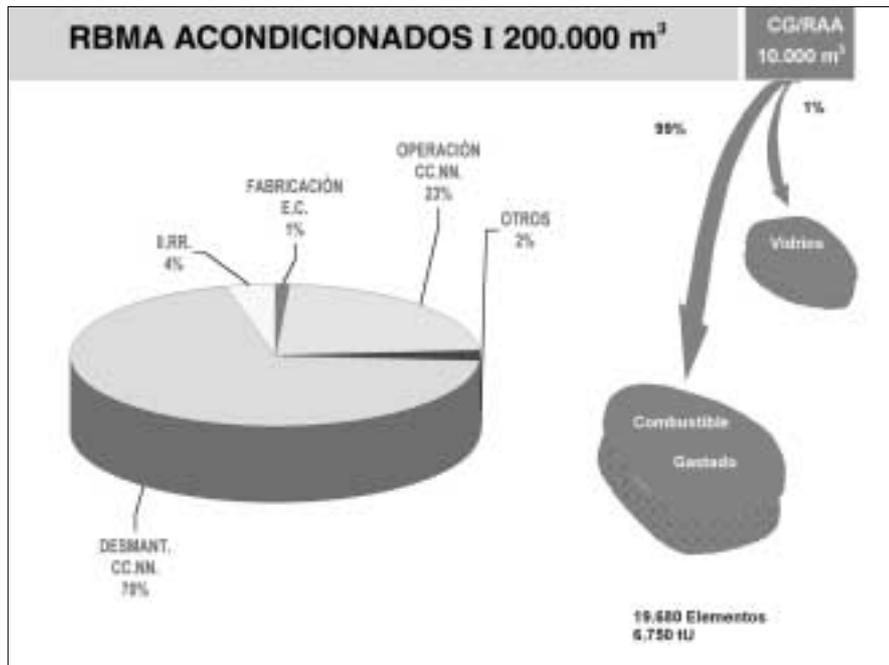
Desde el punto de vista económico-financiero se dispone de un sistema que garantiza la financiación de los costes de la gestión de los residuos radiactivos, cuya base principal radica en la generación de unos fondos por anticipado, durante la vida operativa de las CC.NN., que se recaudan a través de una cuota porcentual sobre el total de la facturación por venta de energía eléctrica.

Se dispone, pues, de un sistema consolidado mediante el cual se ha ido acumulando una gran capaci-

## RESIDUOS RADIATIVOS DE BAJA Y MEDIA ACTIVIDAD (RBMA) Y COMBUSTIBLE GASTADO ALMACENADOS A 31/12/01

INSTALACIÓN	RBMA ACONDICIONADOS		COMBUSTIBLE GASTADO			
	m <sup>3</sup>	GRADO DE OCUPACIÓN (%)	tU	GRADO DE OCUPACIÓN (%)	FECHA SATURACIÓN PREVISTA	
CENTRALES NUCLEARES S LWR	JOSÉ CABRERA	1.292	42	68		
	STA. M <sup>o</sup> DE GAROÑA	906	62	271		
	ALMARAIZ 1	1.606	29	377	50	2021
	ALMARAIZ 2			373	49	2022
	ASCÓ 1	751	39	358	61	2013
	ASCÓ 2			319	55	2014
	COFRENTES	1.575	36	434	60	2014
	VANDELLÓS 2	203	7	269	41	2021
	TRILLO	213	9	266	90	2003
JUZBADO (EE.UU.)		468	63			
CABRIL	21.978	41				
<b>TOTAL</b>	<b>28.992</b>		<b>2.735</b>			

## CANTIDADES TOTALES DE RESIDUOS RADIATIVOS DE BAJA Y MEDIA ACTIVIDAD QUE SE VA A GESTIONAR EN ESPAÑA (\*)



(\*) Supuesta una vida útil de las CC.NN. de 40 años y su posterior desmantelamiento total.

dad de gestión en nuestro país, con la dotación de los recursos necesarios.

La **gestión de los residuos de baja y media actividad (RBMA)** tiene como base fundamental el centro de El Cabril. En torno a él se dispone de un sistema integrado de gestión que incluye la retirada, transporte, tratamiento y acondicionamiento de los residuos, así como una información precisa de su inventario, caracterización radiológica y verificación de la calidad, todo ello compatible con el tipo de almacenamiento utilizado.

De acuerdo con las estimaciones de generación de este tipo de residuos, las actuales instalaciones de El Cabril y los almacenes temporales de los productores, garantizan capacidad suficiente para almacenar todos los residuos de operación procedentes de las CC.NN, cuyo tratamiento y acondicionamiento previos es responsabilidad del productor, y los derivados del desmantelamiento en curso de la C.N. Vandellós I, así como los generados por las II.RR., de los que ENRESA también es responsable de su tratamiento.

La racionalización y posible mejora de los distintos procesos implicados en la gestión de los RBMA y su adecuación a situaciones futuras, así como los proyectos y actividades de I+D asociadas (durabilidad de hormigones, capas de cobertura definitivas, etc.) y el análisis de otros aspectos tales como la reducción de volumen en las CC.NN., sobre el que ya se han obte-

nido resultados muy satisfactorios, serán el eje de las actuaciones fundamentales en este campo en los próximos años. A medio plazo, con vistas básicamente al desmantelamiento futuro de las CC.NN., deberán analizarse también las necesidades de capacidad adicional para este tipo de residuos, que surgirían hacia mediados de la década de los 2010, de acuerdo con las previsiones de retiradas de residuos y capacidad actual de El Cabril.

La **gestión del combustible gastado y residuos de alta actividad (RAA)**, presenta distintas alternativas. En primer lugar, para el combustible gastado, hay que referirse a las posibilidades existentes de su gestión directa como tal (ciclo abierto) o su reproceso para recuperar el material fisionable (U y Pu) y reutilizarlo como nuevo combustible (ciclo cerrado).

En España sólo se ha reprocesado el combustible gastado de C.N. Vandellós I y el producido por José Cabrera y Sta. M<sup>a</sup> de Garoña antes del año 1983. En el caso de Vandellós I, se han utilizado los servicios de COGEMA (Francia), existiendo cláusulas contractuales que incluyen, con acuerdo previo, la devolución de RAA resultantes del reprocesado a partir del año 2010, con elevadas penalizaciones económicas por incumplimiento de tal fecha. Para las otras dos centrales se utilizaron los servicios de BNFL (Reino Unido), contemplándose en los contratos relativos a Sta. M<sup>a</sup> de Garoña la devolución de pequeñas cantidades de materiales fisionables, aunque con fechas aún pendientes de confirmación.

El reproceso en el extranjero es una opción que puede considerarse abierta, aunque con un coste elevado y con el problema añadido del retorno a España de los residuos y otros materiales derivados de dicho tratamiento.

Respecto a la gestión directa del combustible gastado, hay que diferenciar, a su vez, dos aspectos: el almacenamiento temporal y la gestión final a muy largo plazo.

La disponibilidad de sistemas seguros de almacenamiento temporal del combustible gastado en base a distintas técnicas (seco, húmedo), de los cuales existe experiencia en el mundo de instalaciones en funcio-

namiento, permite abordar con tiempo las posibles alternativas de gestión final.

En España se han llevado a cabo actuaciones para aumentar la capacidad de almacenamiento temporal del combustible gastado, como ha sido la operación del cambio de bastidores en todas las piscinas de las centrales nucleares, completada en el año 1998. También se han desarrollado contenedores metálicos aptos para el transporte y almacenamiento en seco del combustible gastado.

No obstante, a pesar de tal aumento de la capacidad de las piscinas, éstas se saturarán en algunas centrales nucleares con anterioridad a la finalización de su vida útil. Este problema se presentaba de forma más inmediata en la C.N. Trillo, por lo que, al objeto de que pudiera continuar su explotación tras dicha saturación, se autorizó la construcción de un almacenamiento temporal para su combustible gastado, ubicado en el propio emplazamiento de la central, en contenedores metálicos del tipo de los anteriormente citados que, para el caso de esta central, ya fueron licenciados y están en fase de fabricación. La fecha de puesta en marcha de esta instalación fue el año 2002, habiéndose cargado y dispuesto en el Almacén los dos primeros contenedores con combustible gastado, durante los meses de julio y agosto.

A medio plazo, y dado que el resto de las centrales empiezan a saturar sus piscinas de forma progresiva a partir del año 2013, se contemplan distintas opciones para el almacenamiento temporal de su combustible gastado. Estas opciones se basan en la construcción de almacenes temporales individualizados (ATI) en las propias centrales, como en el mencionado caso de Trillo, a medida que se vaya produciendo dicha saturación, y en la construcción de uno o más almacenes temporales centralizados (ATC) que den servicio a varias centrales, preferiblemente si éstas se encuentran en emplazamientos próximos, lo que permite operaciones de transporte de combustible gastado más simples.

Asimismo, y con independencia de la gestión del combustible gastado, es preciso dar solución a la gestión de residuos de alta actividad y larga vida de distintas procedencias, tales como el reproceso, desmantelamiento, instalaciones radiactivas, etc., que no son susceptibles de almacenarse en El Cabril, para lo cual es necesario disponer, en todo caso, de un ATC. La fecha objetivo prevista en este Plan para su puesta en marcha es el año 2010.

Respecto a la gestión final del combustible gastado y RAA, puede constatarse en el mundo un cierto retraso

de los programas de almacenamiento geológico profundo (AGP), así como una atención creciente a las nuevas tecnologías como la Separación y Transmutación (ST), mediante las que se podría llegar a conseguir la disminución de las cantidades o inventarios radiológicos de los residuos a almacenar.

No obstante, aunque estas nuevas tecnologías se desarrollen con éxito en el futuro, hoy en día existe cierto consenso en los distintos foros internacionales de que las mismas deben considerarse como soluciones complementarias, y no como una alternativa al AGP, que siempre será necesario para gestionar los residuos de alta actividad remanentes.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores respecto de soluciones definitivas, simultáneamente con la actual disponibilidad de tecnologías seguras de almacenamiento temporal, se considera conveniente en nuestro país posponer cualquier decisión respecto a la gestión final de estos residuos hasta, aproximadamente, el año 2010 y, entretanto, conjugar las dos líneas de progreso citadas, el AGP y la Separación-Transmutación, impulsando el seguimiento y la proporcionada participación en los principales programas internacionales, de forma que, a la luz de los resultados en los desarrollos tecnológicos, se pueda ofrecer al Gobierno en esa fecha la información necesaria para la toma de decisiones y la capacidad básica para llevarlas a cabo.

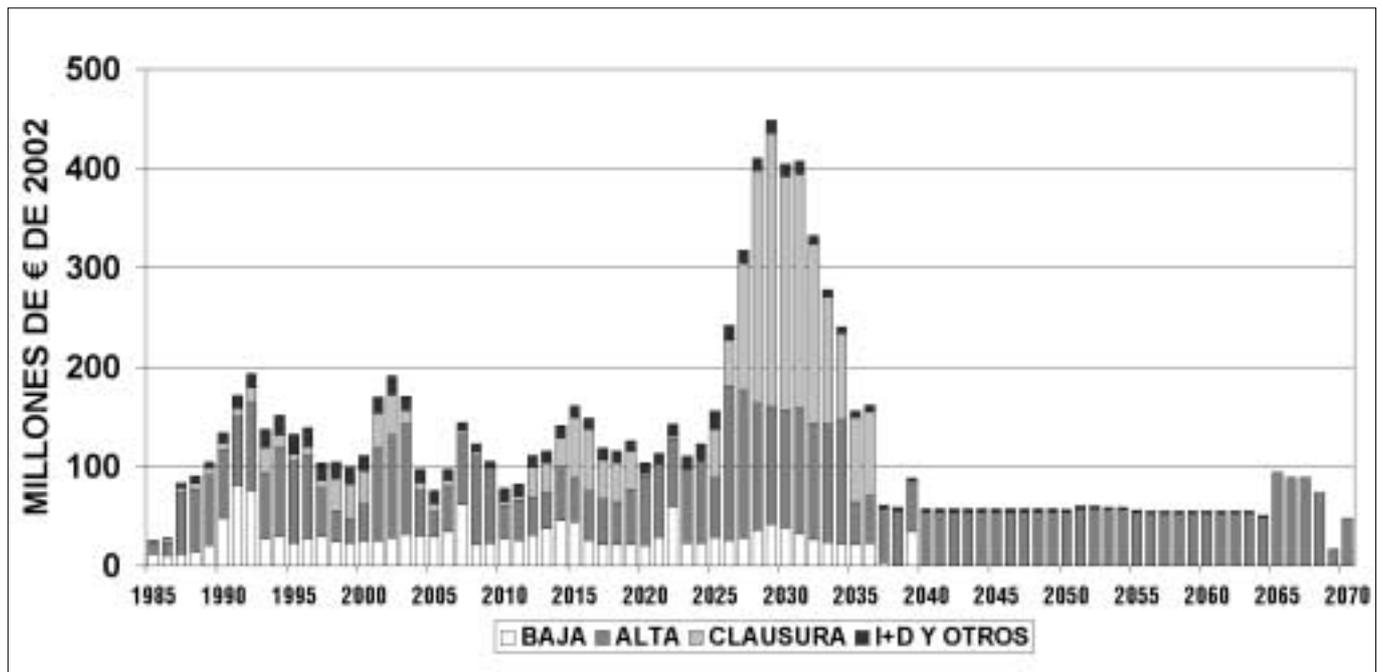
En consecuencia, se ha decidido paralizar las actividades relacionadas con la búsqueda de emplazamientos para un futuro AGP en España, mantener las capacidades tecnológicas desarrolladas hasta la fecha y adecuar las actividades de I+D a los nuevos planteamientos.

Hay que indicar que para cualquier actuación en este ámbito será imprescindible la realización de campañas de comunicación lo más amplias posible, con objeto de facilitar al público cuanta información sea necesaria, dada la gran sensibilidad social ante los temas relacionados con los residuos radiactivos.

En el campo de la **clausura de instalaciones**, España se encuentra en una posición muy destacada dentro del panorama internacional, ya que al desarrollo de proyectos de clausura relativos a fábricas de concentrados de uranio (Andújar y La Haba), ya culminados, y a la rehabilitación de antiguas minas de uranio, en fase de finalización, se une ahora el desmantelamiento en curso de la C.N. Vandellós I.

Los trabajos relativos al proyecto de desmantelamiento de la C.N. Vandellós I (Nivel 2) están progre-

## DISTRIBUCIÓN DE LOS COSTES DE GESTIÓN DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS EN ESPAÑA POR GRANDES CONCEPTOS



sando de forma satisfactoria, manteniéndose la previsión de su conclusión para finales del año 2002. Después vendría un período de espera, a definir, de unos 25 años, para, a continuación, completar el desmantelamiento de las partes remanentes, básicamente la estructura de hormigón o cajón que alberga el reactor (Nivel 3), de forma que el emplazamiento quede libre en su totalidad para cualquier uso posterior, sin ningún tipo de restricción.

Para el resto de las centrales nucleares españolas actualmente en funcionamiento, a efectos de cálculo y planificación, se considera la alternativa de desmantelamiento total (Nivel 3), a iniciar 3 años después de la parada definitiva de los reactores, una vez evacuado el combustible gastado de la piscina y los RBMA de operación.

De acuerdo con la hipótesis de 40 años de vida útil prevista en este Plan para estas centrales, igualmente a efectos de cálculo y planificación, no será necesario acometer su desmantelamiento en un futuro próximo, si se exceptúa la C.N. José Cabrera, cuyo cese de explotación ha sido recientemente anticipado por el MINECO. Entretanto, se realizarán estudios y trabajos de investigación específicos tendentes al mejor conocimiento de estas actividades, siendo de gran interés a este respecto la experiencia adquirida en la C.N. Vandellós I. Asimismo, será necesario avanzar en el establecimiento de los criterios de desclasificación de ciertos materiales residuales con contenido radiactivo para su posterior gestión como residuos convencionales.

En cualquier caso hay que indicar que sólo los países con recursos tecnológicos y capacidad para acometer adecuadamente la gestión de los residuos de baja y media actividad, y la gestión, al menos temporal, de su combustible gastado, están en disposición de abordar con garantías el desmantelamiento de sus centrales nucleares.

Por último, desde el **punto de vista económico-financiero**, y en base al escenario e hipótesis contempladas en el presente PGRR, el coste total de la gestión hasta el año 2070 se eleva a unos 10.000 millones de euros de 2002, siendo los conceptos más significativos los correspondientes a la gestión del combustible gastado y al desmantelamiento de las centrales nucleares. Los costes incurridos hasta finales de 2002 representarían, aproximadamente, un 23% del coste total.

Teniendo en cuenta los costes futuros y el Fondo disponible en la actualidad, las cuotas que habría que aplicar a la facturación por venta de energía eléctrica durante la vida operativa de las CC.NN., serían similares a las actualmente vigentes (valor medio equivalente al 0,8%), considerando una tasa de descuento del 2,5%. Con los ingresos obtenidos a través de estas cuotas y los rendimientos financieros generados por los excedentes del Fondo, se garantiza en cada momento la financiación de los costes de la gestión. No obstante, dichas cuotas son revisadas anualmente para tener en cuenta las posibles variaciones derivadas de nuevas estimaciones de los costes futuros, tasas de descuento y variaciones de demanda y tarifas eléctricas. ■

## PRIMERA PARTE

# España sin Premios Nobel.

## Factores explicativos, perspectivas y criterios racionales para una política científica

**AUTOR:** FRANCISCO J. AYALA-CARCEDO  
 Profesor de Historia de la Ciencia, la Tecnología y el Desarrollo - Universidad Politécnica de Madrid / Investigador Titular- Ministerio de Ciencia y Tecnología / f.ayala@igme.es

De la Academia de Ciencias de Nueva York

### INTRODUCCIÓN

España, décimo país en el mundo por PIB en 1999, ocupa el lugar 21 por Premios Nobel científicos, -uno, en Medicina y Fisiología, Santiago Ramón y Cajal, en 1906, hace casi cien años-, exequo con México, India, Egipto, Checoslovaquia, Finlandia, Portugal, Hungría, Israel e Irlanda. Argentina, tiene tres. Con cerca de un 2 % del PIB mundial, España solo ha conseguido el 0,2 % de los laureados Nobel. Es más, muerto Cela y tras esfumarse de momento la posibilidad de un Nobel de la Paz para el juez Garzón -merecido en mi opinión, y en un tema que entronca con nuestras aportaciones al Derecho Internacional en el XVI-, España carece por completo de Nobel. Una situación bien diferente que la de los países del G-7 al que España aspira, poseedores todos de varios Nobel, de riqueza económica y de riqueza científica en la terminología de May (1997).

Esta realidad- que puede calificarse sin exageración como desoladora y, lo que es casi peor, no ha encendido señal de alarma alguna -contrasta con la existente en el campo literario- cinco Premios Nobel-, o con la de otros campos artísticos en el siglo XX con máximo nivel de excelencia como la pintura (Picasso, Dalí, Miró), la arquitectura (Gaudí) o el cine (tres Oscar: Garci, Colomo y Almodóvar). Otro tanto podría decirse del deporte, tras el fuerte impulso de las Olimpiadas de Barcelona en 1992, precedidas de una fuerte inversión.

Aunque los Nobel científicos sólo cubren la Medicina y Fisiología, la Física, la Química y la Economía, son sin duda el indicador de excelencia científica más valorado. Cuando un país tiene muchos Nobel en relación con su tamaño, va bien; cuando tiene pocos, su salud científica es delicada; cuando no tiene ninguno como España, su pronóstico es grave. Tomemos, pues, este hecho como un aviso y oportunidad para refle-

xionar sobre nuestros problemas en vez de esconder la cabeza bajo el ala, como los avestruces ante el peligro. Puede argüirse que no deberían buscarse primariamente los Nobel, sino la consecución de descubrimientos científicos que se materialicen en invenciones e innovaciones tecnológicas que aporten desarrollo.

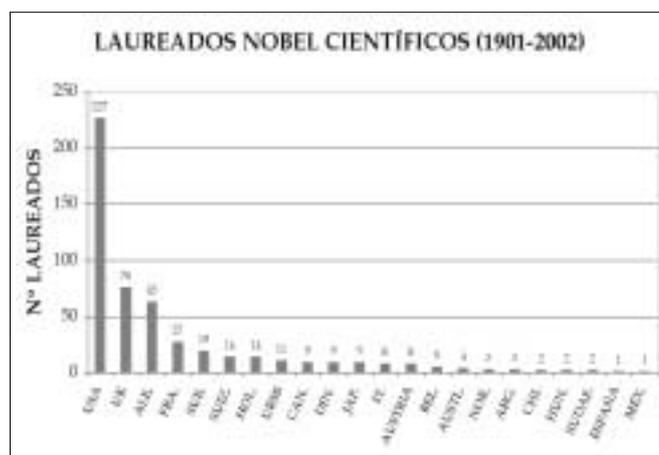


Figura 1.- España, décimo país por PIB del mundo en 1999, ocupa, exequo con otros países, el puesto 21 por número de Nobel científicos.

Esto es cierto. Lo que pasa es que la consecución de ese nivel de excelencia innovadora e inventora pasa hoy necesariamente por la consecución de la excelencia científica, tal y como muestra la correlación que más abajo se muestra entre volumen de inversión en I+D y laureados Nobel. En consecuencia, *el éxito en los Nobel es indisoluble del éxito económico e innovador de un país y puede ser tomado como índice del mismo*, ya que la base radical del crecimiento económico -condición necesaria para el Desarrollo Sostenible- es el crecimiento sostenido de la productividad técnica, imposible de alcanzar sin investigación científica y tecnológica. No es casual, pues, que los países del G-7 sean los que acaparan la mayoría abrumadora de los Nobel.

El objetivo de esta investigación es indagar en los factores explicativos de la indeseable situación de España, que afecta a nuestra imagen internacional, tanto con la finalidad de entender el por qué, como con la de proporcionar criterios que puedan ayudar a su superación, y por

tanto al Desarrollo Sostenible del país. Para ello, se analiza primeramente a escala mundial el papel de los diversos factores en la consecución de laureados Nobel. A continuación, se analiza comparativamente la Unión Europea de los 15 (UE-15), con los EE.UU. de América para pasar, con los criterios obtenidos de la investigación anterior, a analizar el problema español. Se proporcionan por último, en base a los resultados obtenidos, algunos criterios y sugerencias que pueden ayudar a ir superando el problema español y se esbozan los principales elementos que definen las perspectivas más probables.

El problema del desfase español, que viene de largo, originó la denominada “Polémica de la Ciencia Española”, activa al menos desde la publicación en la *Encyclopédie* francesa del XVIII de la voz Espagne hasta varias décadas después del discurso de ingreso en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Echegaray (premio Nobel de Literatura) en 1866, donde éste valoró crudamente nuestra escasa aportación histórica a la Matemática y las Ciencias Naturales, lo que originó una agria polémica con Menéndez y Pelayo. Con objeto de evitar entrar en juicios de valor carentes de soporte, de caer en lo que Bacon denominó *idola tribu*, un problema real cuando de comparaciones nacionales se trata como evidencia la “polémica” citada, se ha optado por analizar cuantitativamente correlaciones entre diversos datos con el número de laureados Nobel, utilizándose posteriormente esos resultados como base de interpretación.

A la hora de atribuir a un determinado país un laureado, se ha optado por un criterio operacional, el de la nacionalidad que tenía en el momento de la concesión. Este criterio, impide considerar a Severo Ochoa -autoexiliado en plena Guerra Civil como el vallisoletano Pío del Río Hortega, de prestigio mundial por el descubrimiento de la microglía en 1919-, como español, ya que estaba nacionalizado norteamericano en 1959, fecha de la concesión del Nobel por su síntesis del ARN, investigación realizada en EE.UU; de hecho, López Piñero y sus colaboradores, en su Diccionario biográfico sobre científicos españoles, no le incluyen.

## FACTORES EXPLICATIVOS A ESCALA

### MUNDIAL: PREMIOS NOBEL

### Y DESARROLLO ECONÓMICO

El proceso de descubrimiento que está en la base de cualquier Nobel científico es una realidad compleja que ha merecido análisis profundos y amplios en los últimos años (Simonton, 1988; Eysenck, 1995). Los vericuetos que sigue el proceso mental que realizan los que acabamos llamando genios, roza a menudo con el azar en sus fa-

ses resolutivas, aunque no en sus factores condicionantes y preparatorios. Los genios científicos, como prueba la Historia de la Ciencia, son personas que viven fundamentalmente entregadas a su trabajo, a veces de forma realmente obsesiva como en el caso de Newton, realizan numerosas publicaciones y frecuentemente llevan vidas sociales débiles o problemáticas (Christianson, 1984; Hoffman, 1987; Simonton, 1988; Eysenck, 1995). Desde hace siglos, a diferencia de lo que ocurría en la invención hasta hace unos cien años (piénsese en Stephenson o Edison, autodidactas), los genios científicos son personas con formación universitaria y el máximo nivel de titulación académica, el doctorado, que pueden dedicarse plenamente a su trabajo y cuentan en general con medios auxiliares -humanos y materiales- que les planteen pocas restricciones para el avance de sus investigaciones. Esto implica inversión en investigación, a menudo de procedencia pública, ya que las empresas invierten sobre todo en el campo de la invención, que acaba siempre protegida por patentes y sometida a restricciones de información a diferencia de los descubrimientos científicos, que se dan a conocer con rapidez a la comunidad investigadora, que hace de inmediato uso de los mismos materializado en forma de citas bibliográficas. El prestigio de un descubrimiento que acaba en un Nobel puede evaluarse de forma objetiva a través de dichas citas.

Partiendo de esta realidad, se ha analizado la correlación estadística entre citas en el Science Citation Index (SCI), que reúne las revistas más prestigiadas a escala mundial, y laureados Nobel a escala de los diferentes países. Como puede verse en la Figura 2, la correlación es muy estrecha: los países con más citas son los que consiguen más laureados. A su vez, las citas es de suponer estén en estrecha relación con las publicaciones de cada país en el SCI. Realizado este análisis, se ha visto sigue una ley lineal con  $r^2 = 0,98$ , lo que confirma la suposición.

Obviamente, la consecución de estas publicaciones en el SCI que alcanzan las más altas cotas de excelencia bibliográfica, representa una inversión del país, ya que a menudo representan el trabajo de todo un año o años de un equipo. Por ello, se ha analizado la correlación entre citas e inversión total de cada país en I+D (la inversión en investigación científica suele ser una fracción de la misma, generalmente alrededor de un tercio) con el resultado que puede verse en la Figura 3. Tal y como era esperable, la correlación es también muy estrecha, de acuerdo con lo señalado por May (1997) para el G-7. Por tanto, a más inversión en I+D, más citas.

En base a lo anterior, resulta también esperable que haya una correlación directa entre inversión en I+D y laureados Nobel. La Figura 4 confirma esta suposición.

Por tanto, la consecución de laureados Nobel está en relación directa y muy estrecha con el esfuerzo inversor del país en I+D, lo que explica a escala mundial la distribución entre países de los laureados.

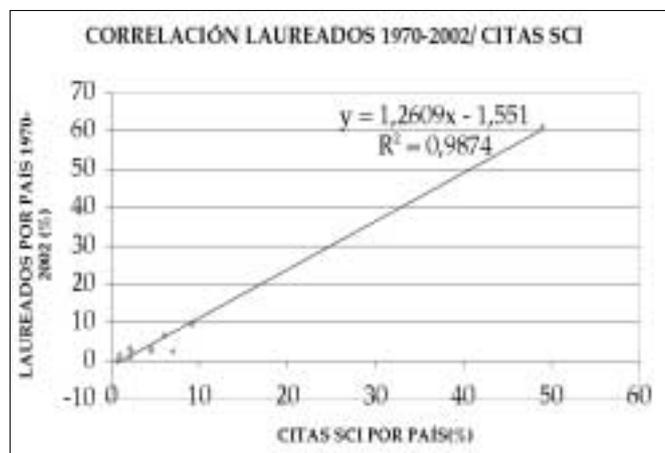


Figura 2.- La concesión de Premios Nobel está fuertemente correlacionada con las citas que reciben las publicaciones de sus investigadores en el Science Citation Index.

La *cadena causal* es la siguiente: gana el Nobel quien, al realizar aportaciones importantes, es muy citado internacionalmente, entra en el recinto de la fama científica. Las probabilidades de que un país consiga esto, están en relación directa con su producción de publicaciones ya que al proporcionar una *base selectiva mayor*, las probabilidades de aportaciones clave son mayores. La producción de publicaciones, a su vez, está directamente relacionada con el esfuerzo inversor en I+D en términos absolutos. En definitiva, aquí, la cantidad, por un proceso selectivo y probabilístico relacionado con el propio proceso de descubrimiento expuesto por Simonton, acaba transformándose en calidad.

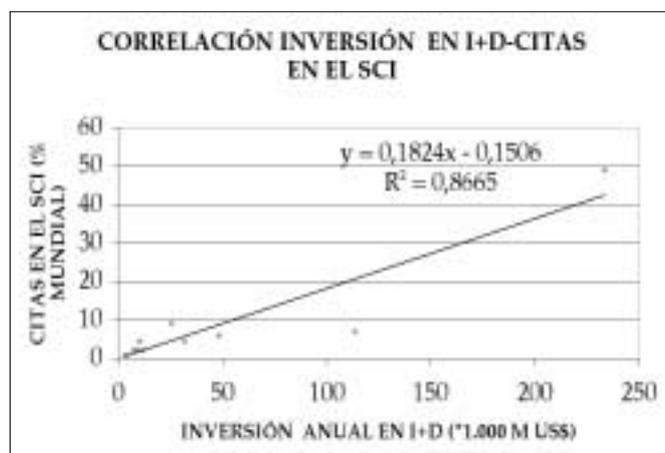


Figura 3.- La consecución de citas, muy estrechamente relacionada con las publicaciones científicas realizadas, al ser consecuencia de la inversión total en I+D por país, está a su vez también estrechamente relacionada con ésta.

La claridad de las correlaciones, que explican la casi totalidad de la varianza observada, deja sin margen a explicaciones biológicas del tipo de supuestas superioridades raciales, a menudo esgrimidas explícita o implícitamente acerca de las denominadas "razas" latinas. Países europeo-atlánticos con limitada inversión como Irlanda o Islandia, no salen mucho mejor parados que los españoles, teniendo menos Nobel que Argentina, potencia económica mundial en 1935-1955, que cuenta con tres.

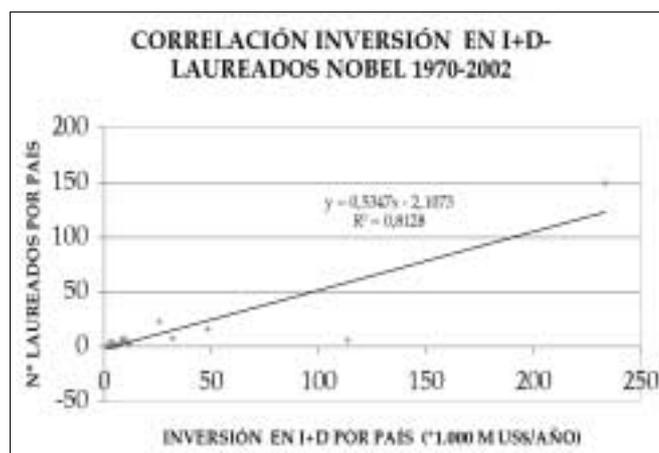


Figura 4.- A consecuencia de las correlaciones anteriores, la consecución de Premios Nobel está estrechamente relacionada con el volumen de inversión del país en I+D. Por tanto, mejorar el volumen de inversión en I+D es condición necesaria para conseguir Premios Nobel.

Hubiera bastado simplemente con recordar el nulo papel en el progreso científico en la Antigüedad de los países europeo-atlánticos, entonces en estado de barbarie y con economías mucho menos prósperas que las mediterráneas, hecho que probablemente, hoy como ayer, bastaba para explicar en lo sustancial el por qué de su falta de aportación. Otro tanto puede decirse de las pseudoexplicaciones psicologistas que han buscado en las peculiaridades de supuestos "caracteres" nacionales el por qué de las diferencias. Han sido las realidades económicas -a menudo estrechamente relacionadas antes de la segunda mitad del siglo XX, cuando la mayor parte de la población vivía de la agricultura, con el factor geográfico, especialmente clima, orografía, recursos y situación geopolítica, tal y como he sostenido acerca del por qué del retraso económico español recientemente (Ayala-Carcedo, 1997) y antes sostuvieron Lucas Mallada o Ramón y Cajal entre otros- y las necesidades que de la economía se derivaban las que explican las diferencias. La sospecha de esta *clave explicativa central, económica*, resultaba muy fuerte en la medida en que los países y bloques supranacionales más potentes en lo económico son los que han acumulado la inmensa mayor parte de los laureados. De hecho ya nuestro único Nobel científico, Cajal, en su discurso de ingreso en la Aca-

demia de Ciencias, dijo en 1897 que "El poderío militar y político y la prosperidad intelectual e industrial suelen ser cosas solidarias, como ramas brotadas del mismo tronco". El curso posterior de los Nobel le ha dado plenamente la razón.

Esta misma realidad se pone de manifiesto cuando se analizan comparativamente los laureados de la UE-15 y EE.UU. a lo largo del siglo XX, tal y como puede verse en la Figura 5. Se ve claramente p.e. como el despegue norteamericano en Nobel se produce -tras un período de crecimiento previo favorecido por la Primera Guerra Mundial (1914-1918)- después de la Segunda Guerra Mundial (1939-1945), que arruinaría a Europa. Realidades económicas, pues, en la base de cualquier explicación racional. Simplemente, en 1999 EE.UU. dedicó a I+D 233 mil millones de dólares frente a algo más de 158 mil la UE-15. Esta "ocupación" norteamericana de los Nobel en la postguerra mundial es una de las claves para entender la *paradoja española* con estos premios, a saber, que Cajal lo consiguió cuando España tenía menor desarrollo, y después, ya país desarrollado, no se ha vuelto a conseguir. La otra estriba en el hecho de que el campo histológico era por entonces un territorio en parte ignoto en el que un trabajo sistemático individual ayudado por medios y técnicas de tinción relativamente simples, como las cajalianas o las de Achúcarro empleadas por del Río Hortega, podía proporcionar resultados relevantes.

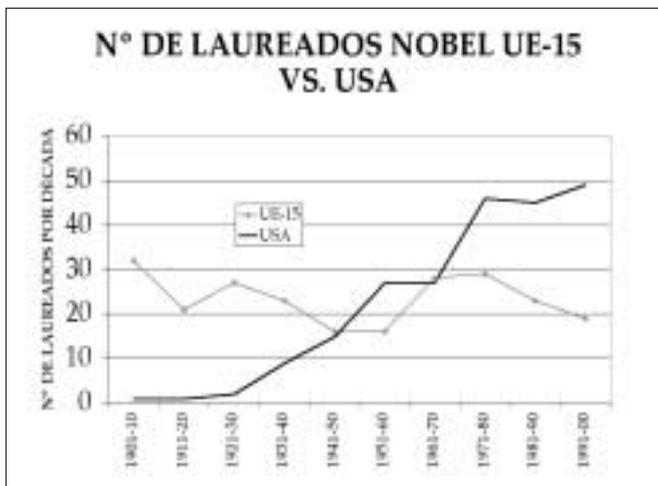


Figura 5.- El fuerte crecimiento y despegue de Premios Nobel en EE.UU. y el declive en la UE-15, especialmente claro en los últimos treinta años, tienen claves fundamentalmente económicas: el retraso europeo por las dos Guerras Mundiales y el mayor crecimiento norteamericano.

Cabe preguntarse acerca del por qué de estos diferentes esfuerzos inversores. Observando que cuanto menor es el PIB / hb de un país, menor es la parte de su PIB que dedica a I+D, se ha procedido al análisis de esta correlación, que puede verse en la Figura 6. Aun-

que sólo explica el 60 % de la varianza observada, resulta suficientemente significativa desde un punto de vista estadístico. La UE-15 tenía en 1999 un PIB / hb medio de 22.160 dólares frente a 31.910 de los EE.UU. Si se calcula, de acuerdo con dicha correlación, el esfuerzo inversor que sería esperable según esos PIB / hb a partir de la correlación estadística obtenida, se deduce que en la UE-15 el esfuerzo inversor debería ser del 1,94 % del PIB, 166,68 mil millones de dólares / año, frente al 3,01 % para EE.UU., 267,25 miles de millones de dólares / año. En realidad, la UE-15 dedica sólo en los países con laureados 157,53 miles de millones, el 95 % de lo esperable, frente al 87 % en EE.UU. Por tanto, *no existe otra razón sustancial para el desfase europeo en laureados Nobel, muy claro en las últimas tres décadas, que el menor grado de desarrollo de la UE-15 que de EE.UU.*

Sólo en la medida en que la UE-15 crezca económicamente más que EE.UU. recuperará cuotas en laureados, algo difícil habida cuenta de la falta de cierre de la brecha con EE.UU., del despegue japonés en publicaciones y citas y el fuerte crecimiento de China, para algunos la principal economía en treinta años.

La correlación de la Figura 6 parece revelar una creciente dependencia del desarrollo económico, a medida que la renta *per capita* aumenta, respecto a la I+D, un proceso exactamente inverso al seguido por España en el período 1990-2000, lo que yo he llamado la década perdida, en que el crecimiento económico ha ido acompañado de un ligero declive del esfuerzo inversor en I+D en términos de PIB, el 0,9 % aproximadamente.

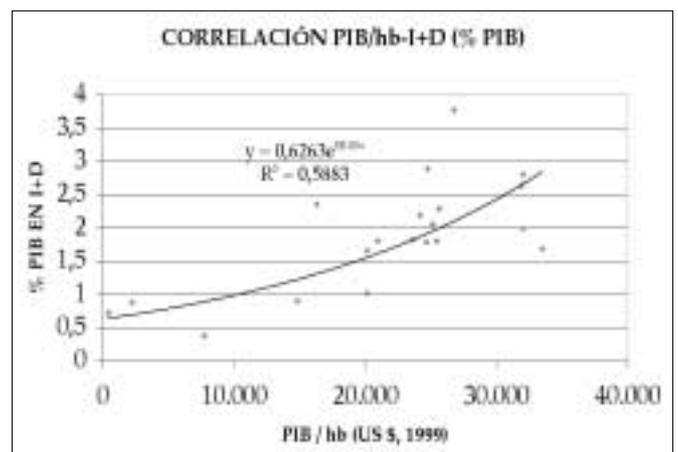


Figura 6.- A medida que crece el PIB per capita, crece el % del PIB invertido en I+D. Según su posición en el gráfico, por encima o por debajo de la línea de regresión, los países se clasifican en altamente inversores -caso de Suecia, Finlandia o Israel-, o poco inversores, caso de España e Italia. Los países altamente inversores, en general obtienen más Premios Nobel y son más competitivos económicamente a escala internacional. Esta correlación, permite el establecimiento racional del esfuerzo inversor esperable para un país.

Lo mismo sucede a escala de países de la UE-15. Los países que más inversiones realizan, Alemania, Francia y Reino Unido, que acumulaban el 67 % del esfuerzo inversor en I+D en 1999, consiguieron el 65 % de los laureados de los últimos treinta años. Ello no obsta, sin embargo, para constatar notables diferencias en cuanto a la *eficiencia* de dichas inversiones a la hora de transformarlas en laureados; así, al Reino Unido, cada laureado le cuesta poco más de un cuarto que a Francia o algo más de un tercio que a Alemania. Quizá la facilidad del lenguaje para el Reino Unido, cuya lengua se identifica con la *lingua franca* científica, traducido en casi el mismo número de publicaciones en el SCI que Alemania y Francia, tenga no poco que ver. Una sospecha que se refuerza al constatar que varios países pequeños-medios de la UE como Holanda, Suecia o Dinamarca, con población universitaria completamente bilingüe desde hace mucho por la mayor necesidad de una *lingua franca*, mucho mayor que en países con idiomas más extendidos, tienen ratios de eficiencia similares al británico. Y también al constatar que antes de 1950, cuando tanto el alemán como el francés eran *linguas francas* científicas, Alemania y Francia tuvieron 38 y 16 laureados respectivamente, frente a 33 y 17 respectivamente tras 1950, ya con el inglés hegemónico, mientras el Reino Unido, que tuvo 30 antes de 1950, consiguió 46 después. Una razón que puede estar también en la base además de la clave económica, central, expuesta más arriba-, de la mayor eficiencia de conversión de inversiones en laureados en el caso de EE.UU. en comparación con la UE-15, sólo ligeramente inferior a la británica y el doble que la alemana. Razón que, de forma opuesta, puede explicar la escasa eficiencia histórica de Japón en este campo, ya que con un esfuerzo inversor en 1999 de 113,5 miles de millones de dólares, casi la mitad del norteamericano, y un PIB / hb ligeramente superior, su nivel de laureados los últimos treinta años sólo es el 4 % del de EE.UU., una brecha que están cerrando con rapidez en lo que se refiere a citas en el SCI después de fijarlo como prioridad nacional.

Por tanto, *la exigencia de dominio del inglés para todo el personal investigador de organismos o universidades, parece una conclusión obligada si quiere accederse a mayores niveles de excelencia internacionalmente reconocida.*

## EL CASO ESPAÑOL: UN PROBLEMA

### DE DESARROLLO RETRASADO

España ha contribuido a lo largo de su historia con el 1,5 % de los autores recogidos en las principales Historias de la Ciencia hasta 1960, siendo mayor su contribución hasta 1800, el 2,2 % y alcanzando su máxima

aportación relativa, el 4 %, en el siglo XVI, el siglo en que España alcanzó su máximo esplendor económico y político en términos comparativos gracias a la explotación de los recursos de la América española y el declive europeo por la Guerra de los Cien Años y la Peste Negra de 1340 (Ayala-Carcedo, 2001). Ya Vernet había constatado en 1975 la escasa presencia de citas a españoles después del XVI.

En lo que respecta a la temática de los Nobel, España ha tenido una aportación digna en el campo de la Medicina y Fisiología (p.e. Servet, Daza Valdés, Ferrán y, por supuesto Cajal) y Química (descubrimiento del platino, volframio y vanadio por españoles antes de 1802), siendo de escasa relevancia y entidad su aportación física y matemática. No es casual que el único Nobel, Ramón y Cajal, fuera el fruto de una escuela histológica y no una flor que crece en el desierto (López Piñero, 1985; Calvo Roy, 1999). La falta de continuidad en el campo de la Química, está sin duda relacionada con el retraso español durante la primera Revolución Industrial -que sólo consiguió el establecimiento de dos islas industriales, Cataluña y País Vasco-, un retraso constatable (Nadal, 1975) a pesar de la oportunidad, perdida por el dominio económico extranjero, que representó para la Química mineral en España la más importante minería metálica europea en el XIX y la primera mitad del XX.

El retraso relativo de los países mediterráneos en el XIX, arrastrado ya desde el XVII con claridad, hunde muchas de sus raíces en un *factor geográfico comparativamente adverso* respecto al de la Europa Atlántica: agricultura de secano menos productiva por la menor pluviometría (España e Italia meridional) o la falta de tierra laborable por la orografía (Italia central); en el carácter periférico respecto al centro de gravedad europeo; en el aislamiento por razones orográficas del interior y la periferia y los elevados costes de transporte (España); por último, en la falta de carbones en la cuenca mediterránea (Italia) (Ayala-Carcedo, 1997).

Tras más de un siglo de lenta preparación, el efecto de arrastre del fuerte desarrollo europeo tras 1945 (turismo, remesas de la emigración, inversión extranjera), hizo que España, en la década de 1960, durante el franquismo, materializara el despegue económico.

Un análisis más fino de los factores que buscamos, especialmente en el siglo XX, debe sin embargo estudiar comparativamente la evolución con Italia, un país con el cual la diferencia de desarrollo e integración europea era pequeña antes de 1930 y que con un PIB en 1999 el doble que el español (su po-

blación es aproximadamente el 50 % superior), ha conseguido tres Nobel científicos tras la Segunda Guerra Mundial mientras España no ha conseguido ninguno. Historiadores económicos como Carreras (1984), han concluido que el pobre balance del período 1936-1950 -el primer franquismo- es "El único que puede explicar satisfactoriamente el atraso industrial de España". En realidad, la influencia del franquismo, alzado mediante una guerra civil que supuso una caída del PIB del 30 %, es más amplia y negativa en términos económicos y científicos. Mientras la Italia democrática de posguerra recibía la ayuda del Plan Marshall y se integraba en la CEE en 1957, España, cuyo régimen dictatorial había ayudado activamente al Eje durante la Segunda Guerra Mundial, quedaba marginada y aislada -sumida en la autarquía económica- del benéfico efecto de la integración europea, que permitió a Italia el despegue económico una década antes. Sólo en 1986, casi treinta años después que Italia, tras una Transición Democrática que al aunar crisis política y económica nos costó diez años de crisis económica frente a cuatro en el resto de Europa tras el choque petrolero de 1973, España ingresaría en la CEE. Esto ha supuesto, gracias a los fondos de cohesión y agrarios, un ingreso neto para España de casi el 1,5 % del PIB, principal factor explicativo del mejor comportamiento económico de España en los últimos quince años frente a la CEE, y no ajeno al fuerte incremento que los presupuestos de I+D experimentaron en el período 1986-1990, en que casi se doblaron en porcentaje del PIB. Aparte del fuerte condicionamiento económico que tal como veíamos arriba tienen las inversiones en I+D, el franquismo tuvo otros tres efectos claramente negativos sobre la investigación científica. El primero fue el voluminoso exilio intelectual que provocó la Guerra Civil, entre cuyos frutos está p.e. el Nobel científico Severo Ochoa, fructificado en EE.UU. El segundo, el aislamiento de la comunidad científica durante unos veinte años y el deficiente dominio del inglés que caracterizó a una parte sustancial de los investigadores durante el franquismo y les aisló de las citas bibliográficas internacionales, cruciales como antes veíamos para la obtención de laureados Nobel. El tercero, la falta de acceso a los fondos europeos para la investigación. No es extraño, pues, que en 1967 España estuviera en el lugar treinta y dos en el ranking científico por número de autores (De Solla Price, 1970). Simplemente, *el franquismo produjo un atraso suplementario del país de unos veinte años en años decisivos*. Su principal aportación -construida sobre la Junta de Ampliación de Estudios y nacida inicialmente de la voluntad de control ideológico de la comunidad científica para hacer "ciencia católica" según Ibáñez Martín, ministro del régimen tras la guerra- fue el Consejo Superior de Investigaciones

Científicas, que, en mi opinión, adecuadamente remozado, debería desempeñar un papel clave en la coordinación del sistema público de I+D.

En consecuencia, tanto por sus efectos económicos como estrictamente científicos, el franquismo es el principal factor diferencial que explica el retraso científico español frente a Italia, en definitiva un problema de desarrollo retrasado. Su efecto es que España carezca de premios Nobel ya que en un contexto evolutivo similar al italiano, aun a pesar de la menor demografía, de acuerdo con las correlaciones expuestas, debería haber contado con uno o dos laureados Nobel tras 1945. A esta causa principal, debería añadirse, como responsabilidad de los gobiernos democráticos y especialmente de los empresarios, lo sucedido en la "década perdida" 1991-2000: el estancamiento del esfuerzo inversor en I+D relativo al PIB, una tendencia que parece haber roto por el momento la creación del Ministerio de Ciencia y Tecnología, ya que en 2001 la inversión ha sido del 0,97 % del PIB frente al 0,85 % de 1990 y el 0,83 % de 1996. No obstante, ese aparente logro macroeconómico, según han denunciado numerosos colectivos de investigadores, parece haber venido más de la inclusión de proyectos tecnológicos militares que de una mayor financiación de la investigación científica o empresarial. Algo que debe señalarse es que una mayor potenciación de la investigación científica debería potenciar también las ciencias humanas, las grandes olvidadas, en cuyo seno ha producido España algunas de sus aportaciones principales a la cultura universal.

Una pregunta sin duda pertinente es el por qué del diferente éxito español en los Nobel científicos y literarios. Podemos enfocar el problema desde los ámbitos productivo y de difusión. En el productivo, y a diferencia de la investigación científica y tecnológica, consumidoras de recursos económicos sustanciales y necesitadas de apoyos directos en forma de personal auxiliar, laboratorios, materiales etc., la Literatura, como otras Artes del tipo de la Pintura o Escultura, son en lo esencial producto del trabajo individual de los creadores, no de un trabajo colectivo con base económica como la investigación; por tanto, más accesibles para cualquier creador de cualquier país. En lo que se refiere a la difusión y ámbito de generación de citas elogiosas entre los especialistas y críticos que puedan acumular masa crítica suficiente para un Nobel, la Literatura tiene su ámbito natural en el idioma, verdadera patria común de cada cultura. En el caso español, el castellano es la segunda lengua por número de hablantes en el hemisferio occidental, tras el inglés; un ámbito favorable para posibilitar Nobel. Como así ha sido. ■

# Análisis de la gestión de la innovación en la Comunidad Valenciana en cuatro sectores industriales maduros de la economía española

**AUTOR:** JOSÉ MARÍA GUIJARRO Y JORGE  
Subdirector del Instituto Tecnológico de Óptica,  
Color e Imagen ( A.I.D.O. )

*cialización; la novedad puede ser radical pero la mayor parte de las veces se limita a una simple mejora de lo existente.*

## INTRODUCCIÓN

El impacto de la modernización no ha sido homogéneo en todos los sectores productivos por una serie de déficits estructurales de las PYMEs industriales que, distribuidos de manera heterogénea entre los distintos sectores industriales españoles, provoca la diferenciación del impacto de la innovación. Estas diferencias podemos agruparlas en seis motivos diferentes :

1. El menor tamaño de las empresas implica la ausencia de un número suficiente con dimensiones críticas que permita aprovechar el impacto de la modernización de una manera homogénea.
2. La crónica falta de formación gerencial, impide afrontar procesos de crecimiento basados en estrategias de innovación.
3. Las resistencias a los cambios inducidos por la modernización de los elementos productivos: tanto por parte del personal, como por parte de los empresarios.
4. La importante difusión de tecnologías de origen foráneo.
5. La deficiente percepción y aprovechamiento, por parte del empresariado, de las ventajas de la colaboración entre las empresas y del uso de los recursos públicos que las distintas administraciones ponen a su disposición para el desarrollo de innovaciones.
6. La creencia de que el crecimiento económico es inducido principalmente por factores exógenos al mercado español.

## Enfoque Técnico

La innovación es un concepto definido en numerosas ocasiones en la literatura. Aunque un sinnúmero de autores han tratado de definir de manera distinta la innovación tecnológica, podemos encontrar como elemento común de la casi totalidad de las definiciones el especial énfasis que la mayor parte de ellos hacen en la introducción con éxito de una novedad técnica en los mercados, de forma que si los nuevos productos o servicios no son aceptados por el mercado no hay innovación.

Nosotros partiremos en este trabajo de la idea de innovación tal y como aparece recogida en la Evaluación final del Programa Europeo SPRINT presentado por la Comisión Europea a finales del mes de noviembre de 1994, por ser un buen punto de partida al definir **innovación** como *el proceso que lleva de la idea de un nuevo producto o proceso hasta conseguir su comer-*

## CACTERÍSTICAS DE LA INVESTIGACIÓN

### Objetivos de Información

La gestión de la Innovación se concreta en una serie de necesidades de información que constituyen el punto de partida de nuestra investigación. Podemos estructurar los objetivos de la misma en torno a los siguientes cuatro puntos:

1. Diferenciar (segmentar) los sectores productivos, áreas geográficas y empresas por las características de su esfuerzo innovador.
2. Establecer indicadores, de la relación entre gestión e innovación, en el marco de las PYME.
3. Determinar las carencias, resistencias u otros problemas que presentan las PYME con respecto a la investigación, introducción y gestión de innovaciones tecnológicas.
4. Facilitar la selección de objetivos y la planificación de acciones específicas de potenciación de la innovación y la I+D, por parte de los organismos intermedios.

### Metodología

**Primera Fase:** Planificación de la Investigación e Investigación sobre Fuentes Secundarias.

La planificación de la investigación abarcó el conjunto de actividades y recursos necesarios para su realización. En esta primera fase se realizó el trabajo de documentación sobre Gestión de la Innovación que serviría de base para el planteamiento del problema y la estrategia de abordaje.

### Segunda Fase:

 Investigación Cuantitativa.

Para el logro de los objetivos expuestos se realizó, una encuesta a seiscientos gerentes y/o directivos de una muestra significativa de PYMEs industriales pertenecientes a sectores significativos de las PYMEs industriales de la Comunidad Valenciana.

a) Verificación preliminar o prueba piloto: realización de una serie de entrevistas reales para evaluar la adecuación del cuestionario y la viabilidad del trabajo de campo.

b) Trabajo de Campo: Preparación de las bases de datos sobre ubicación de empresas candidatas a la encuesta y confección de las hojas de ruta. Realización de las entrevistas según el plan prefijado, resolución de salvedades.

c) Control de Calidad: Verificación de la prueba piloto; inspección del Trabajo de Campo; seguimiento e inspección de las actividades de codificación y tabulación.

d) Codificación y Tabulación: Preparación de los cuestionarios para su tratamiento estadístico.

e) Explotación de Datos: Grabación y tratamiento estadístico de los datos obtenidos; elaboración de tablas comprensivas de los resultados obtenidos.

En el presente estudio he tratado de captar los dos tipos de comportamientos innovadores, el que podríamos llamar estructural al mercado de cada empresa y el comportamiento innovador propio de cada empresa, a través de dos preguntas específicas del cuestionario:

a) En una se ofrece una lista de posibles actividades o acciones, genéricamente encuadradas como acciones o actividades innovadoras para las empresas, y se solicitaba que se señalaran aquellas realizadas por la empresa en los dos últimos años. (Pregunta cerrada de respuesta múltiple sugerida).

b) Otra pregunta del cuestionario solicitaba específicamente una descripción de las innovaciones más destacadas a juicio de la empresa, e introducidas en el mismo periodo. (Pregunta abierta de respuesta múltiple espontánea).

Mientras el 94% de las empresas de la muestra había realizado actividades en alguno de los campos propuestos como innovación en la pregunta sugerida; sólo el 56,4% de estas mismas empresas consideraba que había introducido productos o procesos que significaran innovaciones destacables respecto de lo anteriormente realizado por la empresa.

Para los objetivos del presente estudio se hará más énfasis, al considerarlo mejor medida del esfuerzo innovador, en las innovaciones destacadas espontáneamente por las propias empresas, más que en aquellas otras innovaciones señaladas entre las sugeridas.

## CARACTERÍSTICAS DE LAS EMPRESAS

### INVESTIGADAS

#### Caracterización de la muestra.

La caracterización de la innovación introducida por las empresas investigadas debía relacionarse con las características de éstas, con el fin de establecer tanto su posible segmentación respecto al fenómeno de la innovación, como su representatividad respecto del conjunto de las PYME industriales de los cuatro sectores investigados (Artes Gráficas, Manipulados de Papel y Cartón, Pinturas-Barnices y Bienes de Equipo).

Para la descripción de las empresas se emplearon varias categorías, que explicitan sus dimensiones, marco de competitividad y orientación hacia la innovación tecnológica como la distribución entre las tres provincias de la Comunidad Valenciana (teritorio de análisis), la distribución entre los sectores de actividad económica que son objetivo de la investiga-

ción, la antigüedad de las empresas, la composición del capital social de las empresas, la facturación anual, etc...

## CONSTRUCCIÓN DE UNA TIPOLOGÍA

### DE LA GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN

#### Variables Generadoras de la Tipología

Para el Análisis de Agrupamiento de los datos de la investigación realizada se seleccionaron siete variables continuas, descriptivas de las principales características de la innovación en las empresas industriales, y significativas entre las que formaban parte de la muestra. Las variables seleccionadas, indicando la pregunta en la que aparecen referidas en el cuestionario, son:

**P2B.** Número de Trabajadores con Titulación Universitaria en la plantilla de la empresa.

**P05.** Porcentaje de Facturación del Producto Principal.

**P07.** Porcentaje sobre Facturación de la Exportación. Indicador de la internacionalización.

**P13.** Costes relacionados con las innovaciones introducidas por la empresa, expresados como porcentaje sobre la Facturación anual.

**P30.** Porcentaje de la Facturación atribuible a nuevos productos-Innovaciones.

**P43.** Porcentaje de Capital en poder de los Gestores.

**P44.** Facturación anual 2.000. Es un indicador del tamaño de la empresa.

#### Tipo 1: Pequeñas Empresas Familiares Diversificadas e Innovadoras en Procesos

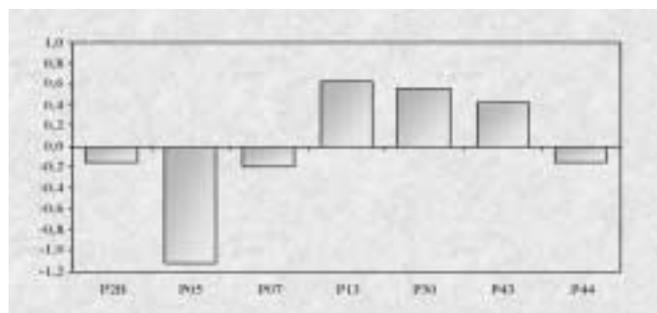
El perfil Tipo 1, reflejado en el Gráfico 1, está compuesto por 142 empresas, un 24,36% de la muestra investigada, pertenecientes, en mayor medida, a los sectores de Artes Gráficas (47,9%) y Bienes de Equipo (36,6%).

#### HISTOGRAMA DEL PERFIL TIPO 1

Gráfico 1

Unidad: Desviaciones sobre la media

Base: Contestan en cada pregunta



#### Tipo 2: Grandes Empresas y Exportadoras, Innovadoras en Producto

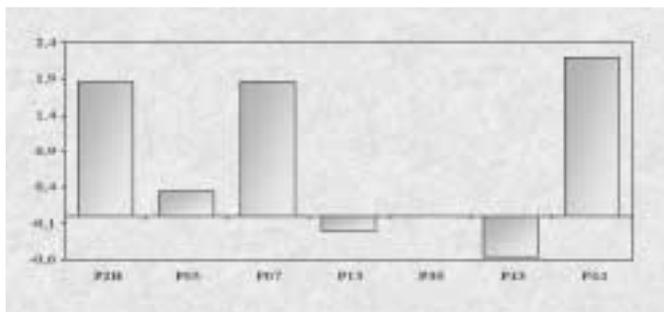
El perfil Tipo 2, reflejado en el Gráfico 2, está compuesto por 55 empresas, un 9,43% de la muestra investigada, pertenecientes, en mayor medida, a los sectores de Bienes de Equipo (43,6%), Pinturas y Barnices (23,6%) y Manipuladores de Papel y Cartón (21,8%); siendo este tipo el que agrupa mayor número de empresas de éste último sector.

**HISTOGRAMA DEL PERFIL 2**

**Gráfico 2**

Unidad: Desviaciones sobre la media

Base: Contestan en cada pregunta



**Tipo 3: Pequeñas Empresas Familiares con muy escasas Innovaciones en Productos o Procesos**

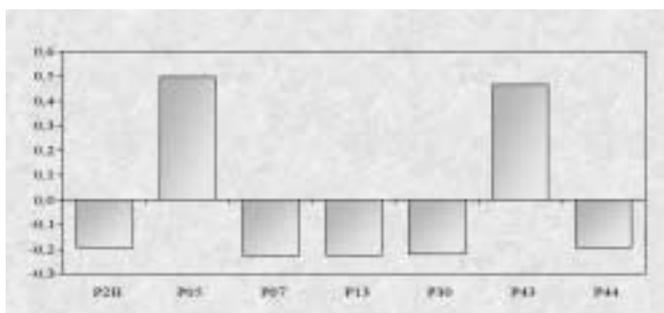
El perfil Tipo 3, reflejado en el Gráfico 3, está compuesto por 298 empresas, un 51,11% de la muestra investigada, pertenecientes, en mayor medida, a los sectores de Bienes de Equipo (55,5%) y Manipuladores de Papel y Cartón (60,6%); siendo el primer tipo el que agrupa mayor número de empresas de éste último sector.

**HISTOGRAMA DEL PERFIL 3**

**Gráfico 3**

Unidad: Desviaciones sobre la media

Base: Contestan en cada pregunta



**Tipo 4: Pequeñas Empresas, Diversificadas y con Gestión Profesionalizada sin Innovación en los Procesos o Productos**

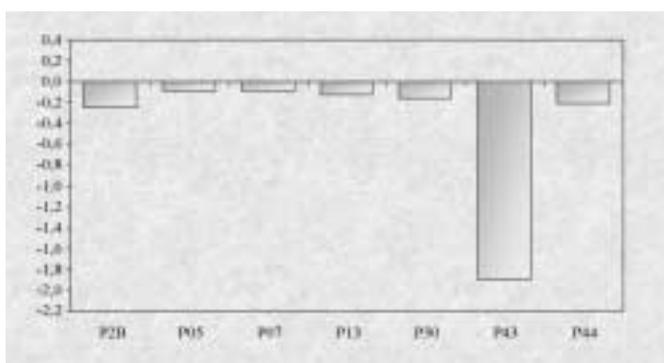
El perfil Tipo 4, reflejado en el Gráfico 4, está compuesto por 88 empresas, un 15,9% de la muestra investigada, pertenecientes, en mayor medida, a los sectores de Artes Gráficas (48,9%) y Bienes de Equipo (38,6%); siendo el primer tipo el que resulta más significativo entre las empresas de éste último sector.

**HISTOGRAMA DEL PERFIL 4**

**Gráfico 4**

Unidad: Desviaciones sobre la media

Base: Contestan en cada pregunta



**CONCLUSIONES**

Del análisis cuantitativo realizado sobre los datos extraídos de la encuesta, obteníamos los siguientes resultados básicos:

1. La decisión de innovar está condicionada positivamente por el nivel de profesionalización en la gestión, la cualificación de su mano de obra y el tamaño de la empresa. La existencia de mecanismos de protección de la innovación (tanto legales como estratégicos) también están directa y significativamente implicados en esa decisión.

2. La presencia de estructuras permanentes de I+D condiciona positivamente la decisión de establecer proyectos de cooperación con organismos intermedios distintos de los centros de investigación, Universidades, fundamentalmente. A su vez, la utilización de métodos de protección estratégicos aparece como una variable explicativa significativa de la decisión de cooperar verticalmente ya que aquellas empresas que protegen estratégicamente sus innovaciones son las que más cooperan verticalmente.

3. Se definen cuatro agrupamientos de los comportamientos de las Pymes:

**Tipo 1:** Pequeñas Empresas Familiares Diversificadas e Innovadoras en Procesos (24,36% de la muestra, pertenecientes, en mayor medida, a los sectores de Artes Gráficas, 47,9%, y Bienes de Equipo, 36,6%).

**Tipo 2:** Grandes Empresas y Exportadoras, Innovadoras en Producto (9,43% de la muestra investigada, pertenecientes, en mayor medida, a los sectores de Bienes de Equipo, 43,6%, Pinturas y Barnices, 23,6% y Manipuladores de Papel y Cartón, 21,8%).

**Tipo 3:** Pequeñas Empresas Familiares con muy escasas Innovaciones en Productos o Procesos (51,11% de la muestra investigada, pertenecientes a los sectores de Bienes de Equipo, 55,5%, y Manipuladores de Papel y Cartón, 60,6%).

**Tipo 4:** Pequeñas Empresas, Diversificadas y con Gestión Profesionalizada sin Innovación en los Procesos o Productos (15,9% de la muestra, pertenecientes, en mayor medida, a los sectores de Artes Gráficas, 48,9%, y Bienes de Equipo, 38,6%).

En base a esta tipología y al análisis del comportamiento innovador a nivel microeconómico, es interesante señalar que las PYME industriales mantienen en general estrategias defensivas, o reactivas, ante la innovación; frente a un comportamiento agresivo, o proactivo, en el ámbito de las grandes empresas o de aquellas otras que se encuentran en los sectores más afectados por las nuevas tecnologías disponibles. Frente a los nuevos procesos, productos, o nuevos tributos que se incorporan a los productos, las PYME industriales tratan de captar un mercado maduro diferenciado por el coste. Así, las formas de acceso a la innovación están muy relacionadas con la creación, por parte de los empresarios/gestores de redes de conocimiento y colaboración personales. Las principales fuentes de información sobre innovaciones son la asistencia personal a ferias, donde es posible experimentar o interaccionar con las innovaciones y sus proponentes; la observación no protocolizada de la competencia, con lo que más que conocimiento se obtienen un "clima", una percepción subjetiva de la situación de competencia; y la lectura de las propuestas comerciales y las revistas especializadas del sector. ■

# El Programa Marco de la Unión Europea y el sistema español de I+D: ¿convergencia o divergencia?

**AUTOR:** RAFAEL RODRÍGUEZ CLEMENTE

*Profesor de Investigación del CSIC, Delegado del CSIC en Bruselas. Oficina Española de Ciencia y Tecnología (SOST), rue Guinard, 15. B-1040 Bruselas. E-mail: raro.csic@sost.be*

La aprobación del Primer Programa Marco de la Unión Europea en 1983 (1), la aprobación de la Ley de la Ciencia en España en 1986 y la entrada de España en las Comunidades Europeas (posteriormente Unión Europea) ese mismo año, marcan los tres hitos más importantes del actual sistema científico español, con el Plan Nacional de Investigación y del Programa Marco como instrumentos de referencia de la actividad científica, dominada con anterioridad a esas fechas por las iniciativas y orientaciones más o menos espontáneas de la comunidad científica (tal vez con la excepción de los objetivos de los Planes de Desarrollo de López Rodó). La casi simultaneidad de ambos hechos no fue casual: existió ciertamente una percepción por parte de los nuevos responsables del Partido Socialista de la necesidad de orientar el esfuerzo investigador como elemento impulsor del desarrollo económico (2), pero con la incorporación de España a la CE, la contribución española a la financiación del PM representaba una cantidad bastante superior a la destinada al Fondo Nacional de Investigación. Se imponía una política de inversiones en capital humano e infraestructuras capaz de elevar el nivel competitivo de los investigadores españoles a la altura de sus colegas de otros países europeos, y hay que reconocer que durante los primeros años del gobierno socialista el sistema científico español recibió una inyección de recursos considerable. Prácticamente, desde sus inicios, las prioridades del Plan Nacional se establecieron teniendo en cuenta las contenidas en el PM. No obstante, y paradójicamente, la gestión del Plan Nacional y la representación de los intereses españoles en los Comités de Programa del PM se hizo por separado, confiando en la coordinación “por arriba” de ambas actividades.

El artículo 163 del Tratado Constitutivo de la Comunidad Europea establece que la Comunidad tiene como objetivo fortalecer las bases científicas y tecnológicas de su industria, favorecer el desarrollo de su competitividad internacional y fomentar todas las acciones de investigación que se consideren necesarias en virtud de otras políticas comunitarias. Es importante hacer notar que la elaboración de la estructura y prioridades de PM es el resultado de un largo proceso de consulta entre la Comisión, los Estados miembros y sus intereses particulares, los intereses industriales y académicos, las perspectivas marcadas por los estudios de pros-

pectiva, las necesidades emergentes de conocimientos (piénsese en el cambio climático o la enfermedad de las vacas locas), etc., en resumidas cuentas, lo podemos definir como un lento proceso de consenso impulsado y dirigido por la Comisión, en el que se pretende recoger las necesidades de las políticas de la UE como un conjunto, y los temas marcados por los actores más convincentes, con “dossiers” más y mejor elaborados, y más capaces de elaborar coaliciones alrededor de sus objetivos.

El PM ha incorporado dos conceptos fundamentales a la práctica de la investigación en España: el trabajo en el marco de consorcios internacionales reglamentados en sus responsabilidades y expectativas, y la práctica de proyectos cuya finalidad es el aumento de la competitividad industrial o el apoyo a políticas comunitarias concretas. Esta consideración utilitaria de la ciencia o, en otros términos, su incorporación real como fuerza productiva europea, ha sido un modelo para planteamientos similares en España. Pero la realidad es que nuestro sistema aún está lejos de funcionar sobre estas bases, como lo demuestra la ausencia de fondos financieros para apoyar la protección de la propiedad intelectual en la casi totalidad de Universidades y Organismos Públicos de Investigación españoles, y ello a pesar del indudable avance en ese sentido que supuso la Ley de la Ciencia y la posibilidad de que la investigación académica produjera beneficios económicos para los investigadores y técnicos de los departamentos y centros de investigación, y para estos mismos.

Los Consejos Europeos de Lisboa, de marzo de 2000, de Santa Maria de Feira, de junio de 2000, y de Estocolmo, de marzo de 2001, representaron una ruptura con los objetivos y métodos tradicionales del PM, al adoptar decisiones para la instauración rápida del Espacio Europeo de la Investigación y la Innovación, en una perspectiva de crecimiento económico sostenido, más empleo y mayor cohesión social, con el objetivo último de convertir para 2010 a la Unión Europea en la economía del conocimiento más competitiva y dinámica del mundo. Basándose en la obligación contemplada en el artículo 6 del Tratado, el Consejo Europeo de Gotemburgo de junio de 2001, aprobó una estrategia de desarrollo sostenible y añadió a la estrategia de Lisboa una tercera dimensión, la del medio ambiente. El VI Programa Marco debería tener un efecto vertebrador en la investigación y el desarrollo tecnológico en Europa, incluidos los Estados miembros, los países candidatos a la adhesión asociados y otros Estados asociados, y contribuir de manera significativa a la creación del Espacio Europeo de la In-

investigación y la innovación (3). Los instrumentos para conseguir estos objetivos serán:

- Concentración e integración de la investigación comunitaria,
- Estructuración del Espacio Europeo de la Investigación,
- Fortalecimiento de las bases del Espacio Europeo de la Investigación.

La realidad de estos años ha mostrado que el PM sigue siendo el referente más importante en la formulación de las prioridades del Plan Nacional, pero la coordinación en la ejecución de las dos políticas sigue siendo una cuestión pendiente a pesar de la convergencia de temas y objetivos. Hay que señalar que hasta la fecha, la participación española en los Programas Marco ha sido una historia de éxito, como lo prueban los datos de participación y liderazgo de proyectos por españoles en los cinco Programas Marco anteriores: se ha pasado de una participación testimonial en el I PM, a participar en 2545 proyectos en el V PM con liderazgo español en el 6.8% de todos los proyectos de dicho programa (4). En este contexto es de destacar, además, la buena adaptación de las PYMES al entorno competitivo europeo en I+D.

En estos momentos, la contribución financiera española al PM es del mismo orden de magnitud que los recursos de financiación de proyectos del Plan Nacional. Podemos afirmar que el sistema español de I+D se financia con los impuestos de los ciudadanos, pero se gestiona desde dos centros: Madrid y Bruselas. No obstante, existe el sentimiento entre los participantes españoles en los Programas Europeos de que el PM es algo ajeno y/o lejano a la comunidad científica, tecnológica o industrial española, un instrumento para obtener financiación competitiva e integrarse en redes europeas, pero no como un foro propio abierto a empresas, universidades y centros de investigación españoles donde se discute el futuro de la industria y la sociedad europea y las soluciones que la investigación puede aportar. Esta percepción debe cambiar ya que es inaceptable que el PM no se perciba como algo propio, tal como ocurre con el Plan Nacional, y no exista coherencia entre el debate, implementación y gestión del Plan Nacional y los otros instrumentos de financiación de la Investigación e Innovación en España, y la participación de los agentes españoles en la toma de decisiones del PM que, recordemos, es fruto de un consenso amplio entre intereses concurrentes y divergentes.

Los nuevos instrumentos creados para implementar el VI PM, Redes de Excelencia y Proyectos Integrados, hacen aumentar el tamaño de los consorcios, concentran la financiación en sólo unos pocos proyectos y redes, ponen el énfasis en la integración europea sobre unos cuantos temas prioritarios de investigación y buscan la durabilidad de las estructuras de integración creadas. Son muy diferentes de los instrumentos empleados en los Programas Marco previos, y necesitan estructuras de gestión y soporte complejas, y compromisos duraderos de los participantes con los temas en los que participan. Por ello, la iniciativa de participación en Proyectos ha

pasado en términos reales de las manos de los investigadores a las de los responsables institucionales, a todas las escalas: nacional, autonómica, Organismos Públicos de Investigación, Universidades, etc., únicos capaces de garantizar un apoyo y financiación duradero. La participación en grandes estructuras (PI) o estructuras duraderas (RdE) no puede depender de iniciativas individuales espontáneas, sino de compromisos a largo plazo de empresas e instituciones. Por otro lado, en aplicación del principio de subsidiaridad, que pretende que las tomas de decisiones se hagan al mejor nivel posible (local, regional, nacional o europeo), la propia concentración temática e instrumental del VI Programa Marco debería hacer reconsiderar los objetivos y prioridades del Plan Nacional para fomentar la participación y el liderazgo en el Programa Marco, cubrir los nichos no contemplados en él, pero importantes para una estrategia nacional y apoyar los temas complementarios, como pueden ser la investigación básica, o las prioridades específicas de nuestro sistema productivo, tradición cultural y especificidad climática o geográfica. Los Programas Regionales de Investigación deberían aplicar una lógica similar a fin de optimizar las sinergias con los otros Programas e instrumentos existentes.

Los nuevos principios introducidos por el Espacio Europeo de la Investigación y el VI Programa Marco implican un cambio de perspectiva radical en la inserción de España en las grandes corrientes de la investigación europea. Se impone una clara definición de prioridades en temas considerados estratégicos, con una buena coordinación entre políticas gestionadas por los Gobiernos central y autonómicos, intereses industriales y el mundo académico. Es imprescindible la creación de estructuras de gestión ágiles y adaptadas al entorno competitivo europeo para poder apoyar las indudables capacidades de liderazgo que las empresas e investigadores españoles han mostrado a lo largo de cinco Programas Marco previos. La falta de consideración de estos argumentos podría implicar una seria divergencia entre el sistema español de I+D+i (Investigación, Desarrollo e Innovación) y el rumbo de integración europeo marcado por el EEI. Asimismo es imprescindible aplicar recursos en proporción al desafío que representa la creación de la Sociedad del Conocimiento y los otros objetivos marcados en el Consejo Europeo de Lisboa. La ambición de estos objetivos hace que, tal vez, el horizonte de una financiación para la I+D+i en Europa del 3% del PIB, marcado en el Consejo de Barcelona, sea insuficiente, y en España todavía no hemos logrado llegar a una inversión total en I+D+i, pública y privada, del 1%. ■

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) L. Guzzetti, "A brief history of European Union research policy", European Commission, DG XII, 1995
- (2) L. Sanz, "Estado, ciencia y tecnología en España: 1939-1997", Alianza Editorial, Madrid, 1997
- (3) CORDIS Database, <http://www.cordis.lu>
- (3) CDTI, <http://www.cdti.es>

# Hacia la responsabilidad social

**AUTOR:** ALBERTO URTIAGA DE VIVAR FRONTELO  
*Presidente de FORÉTICA*

A caballo entre los años setenta y ochenta, se inicia una reacción social en los Estados Unidos de América, que rechaza el proceder de determinadas multinacionales, en cuanto al trato que dan en el trabajo a empleados de otros países, con respecto a los propios de EE.UU. Así, se inicia un clima de exigencia ciudadana que resulta en perjuicio de las ventas de esas compañías, a las que cuesta muchos millones de dólares campañas y hechos que recuperen su imagen ante sus compradores y sus propios empleados, que habían perdido la confianza.

A partir de entonces, cada vez se va más al negocio serio, a largo plazo, en vez de al beneficio puro y duro a corto. Para ello, las compañías después de limpiarse la cara, acuden a establecer Códigos de Ética, también llamados de Conducta Empresarial, basados en los documentos al uso, como son la Declaración de Derechos Humanos de la ONU, la Declaración Tripartita de Principios de la OIT, o las Declaraciones y Pautas de Conducta de la OCDE en materia de inversiones internacionales multinacionales.

Como consecuencia, empiezan a surgir Grupos, Asociaciones, Consejos, etc., que establecen listados de elementos a cumplir, como impedir el trabajo infantil, respeto a la condición femenina, derecho asociativo de los trabajadores, etc., que además establecen, en algunos casos, sistemas de auditoría, como es el caso bien conocido de la norma SA 8000, orientada a certificar empresas que trabajan con países del tercer mundo, en el sentido de que respetan dichos requisitos. Característica fundamental de este movimiento es su voluntariedad.

Por otro lado, dentro del ámbito de la Calidad, la Comisión de la Unión Europea, puso en marcha entre las décadas de los ochenta y los noventa, un ambicioso plan orientado a potenciar la calidad y la seguridad industrial del producto, en búsqueda de la defensa de la ciudadanía.

Se establecieron cauces para armonizar las normas técnicas y reglamentos, tanto en su elaboración como en su uso, cauces que desembocaron en el nuevo enfoque y enfoque global, que culminaron en la decisión de módulos. Todo un sistema de armonización introduciendo nuevas filosofías, que desde el punto de vista técnico están cumpliendo su función, pero desde el punto de vista social se apreciaba una despreocupación por parte de las autoridades, respecto a poner orden en dicho ámbito.

Hay que tener en cuenta las mentalidades desde el punto de vista del ciudadano. Mientras en los Estados Unidos pri-

ma la privacidad, en la vieja Europa estamos acostumbrados a que el impulso para la gestión sea público. Dependemos demasiado de los gobiernos, da igual del nivel que sean. Esta puede ser una causa, por la que en Europa llevemos un retraso de veinte años, para plantear estas exigencias a las empresas, con respecto a USA.

En ambas áreas geopolíticas, han iniciado movimientos en este aspecto diversos grupos universitarios, que como tantas otras veces no han dado resultados tangibles, fuera de pequeños círculos sin trascendencia social, aunque científicamente dignos de todo elogio y admiración. Seguimos sin encontrar el eslabón que engarce a la empresa y a la Universidad, en el amplio sentido que deseamos.

Ante el sentimiento que tiene la sociedad a nivel universal, de la falta de respeto hacia los derechos y libertades de las personas, por parte de las organizaciones de todo tipo, ya sean particulares o gubernamentales, salvo raras y definidas excepciones, se han iniciado recientemente varias acciones, de las que vamos a enumerar las más sobresalientes.

En el marco de la Unión Europea, los presidentes de la Comisión, el del Parlamento Europeo y el del Consejo de la UE, aprobaron el 7 de diciembre en Niza, la **CARTA DE LOS DERECHOS FUNDAMENTALES DE LA UNIÓN EUROPEA**. (2000/C 364/01).

Esta Carta, recoge en un único texto, por primera vez en la historia de la Unión Europea, el conjunto de los derechos civiles, políticos, económicos y sociales de los ciudadanos europeos y de todas las personas que viven en el territorio de la Unión.

Estos derechos se agrupan en seis grandes capítulos:

**DIGNIDAD, LIBERTAD, IGUALDAD, SOLIDARIDAD, CIUDADANÍA Y JUSTICIA.**

Cada uno de ellos, viene desglosado en el documento y a título de ejemplo, reproducimos los primeros cinco artículos, que se refieren a la DIGNIDAD :

#### **Artículo 1.- Dignidad humana**

La dignidad humana es inviolable. Será respetada y protegida.

#### **Artículo 2.- Derecho a la vida**

1. Toda persona tiene derecho a la vida.
2. Nadie podrá ser condenado a la pena de muerte ni ejecutado.

#### **Artículo 3.- Derecho a la integridad de la persona**

1. Toda persona tiene derecho a su integridad física y psíquica.
2. En el marco de la medicina y la biología se respetarán

en particular: ó el consentimiento libre e informado de la persona de que se trate, de acuerdo con las modalidades establecidas en la ley, ó la prohibición de las prácticas eugenésicas, y en particular las que tienen por finalidad la selección de las personas, la prohibición de que el cuerpo humano o partes del mismo en cuanto tales se conviertan en objeto de lucro, ó la prohibición de la clonación reproductora de seres humanos.

#### **Artículo 4.- prohibición de la tortura y de las penas o los tratos inhumanos o degradantes**

Nadie podrá ser sometido a tortura ni a penas o tratos inhumanos o degradantes.

#### **Artículo 5.- prohibición de la esclavitud y del trabajo forzado**

1. Nadie podrá ser sometido a esclavitud o servidumbre.
2. Nadie podrá ser constreñido a realizar un trabajo forzado u obligatorio.
3. Se prohíbe la trata de seres humanos.

En el ámbito internacional, Kofi Annan, Secretario General de Naciones Unidas, propuso un documento en Davos el 31 de Enero de 1999 ante el Foro Económico Mundial. Este documento, puesto en práctica oficialmente en la sede de las Naciones Unidas en Julio de 2000 y al que ya se han adherido más de 160 empresas y organizaciones españolas entre ellas FORETICA, contiene nueve principios respecto a los derechos humanos, al trabajo y al medio ambiente, y fue llamado el Pacto Mundial (más información en [www.unglobalcompact.org](http://www.unglobalcompact.org)).

Comienza tratando del liderazgo empresarial en la economía mundial. Sobre él y entre otras afirmaciones, Kofi Annan afirma: *“Optemos por el poder de los mercados con la autoridad de los ideales universales. Optemos por conciliar las fuerzas creativas del espíritu de la empresa privada con las necesidades de los desfavorecidos y de las generaciones futuras”*.

Cuando aborda el tema de la oportunidad, el Secretario General Kofi Annan, dice: *“ El Pacto Mundial, en el que participan ya cientos de empresas, se está convirtiendo rápidamente en el primer foro internacional destinado a examinar las cuestiones críticas relacionadas con la globalización. El objetivo de este Pacto es que la adopción de valores y principios compartidos den un rostro humano al mercado mundial.”*

Más adelante comenta: *“ El Pacto Mundial se creó para ayudar a las organizaciones a definir sus estrategias y modalidades de acción de forma que todas las personas, y no sólo unos pocos afortunados, puedan beneficiarse de las ventajas de la globalización.*

*El pacto mundial no es sólo un instrumento de regulación, un código de conducta con fuerza jurídica obligatoria ni un foro para la formulación de normas y prácticas de gestión. Tampoco es un refugio que permita a las empresas suscribirlo sin demostrar un interés y unos resultados reales. Se trata de una iniciativa de carácter vo-*

*luntario destinada a servir de marco general para fomentar la responsabilidad cívica mediante el liderazgo empresarial comprometido y creativo.”*

Al describir los nueve principios del Pacto Mundial, Kofi Annan ha pedido al mundo del negocio *“que adopten, apoyen y promulguen, en su ámbito de influencia, un conjunto de valores fundamentales en los campos de los derechos humanos, las normas laborales y el medio ambiente. Eso significa que una empresa debe propiciar cambios positivos en los sectores pertinentes a sus operaciones comerciales. Los principios son los siguientes:*

##### *Derechos humanos*

1. *Las empresas deben apoyar y respetar la protección de los derechos humanos proclamados a nivel nacional; y*
2. *Evitar verse involucradas en abusos de los derechos humanos.*

##### *Normas laborales*

3. *Las empresas deben respetar la libertad de asociación y el reconocimiento efectivo del derecho a la negociación colectiva.*
4. *La eliminación de todas las formas de trabajo forzoso y obligatorio.*
5. *La abolición efectiva del trabajo infantil.*
6. *La eliminación de la discriminación respecto del empleo y la ocupación.*

##### *Medio ambiente*

7. *Las empresas deben apoyar la aplicación de un criterio de precaución respecto de los problemas ambientales.*
8. *Adoptar iniciativas para promover una mayor responsabilidad ambiental.*
9. *Alentar el desarrollo y la difusión de tecnologías inocuas para el medio ambiente.”*

Como puede apreciarse, los requisitos planteados son muy generales y se corresponden con la finalidad de ambos documentos, ya que se trata de trasladar a países y regiones muy dispares, unos principios básicos para avanzar en el terreno de la responsabilidad social, para lo que determinadas sociedades están más preparadas que otras.

En el caso concreto español, tenemos que arrancar de un movimiento que se inició en Cataluña a principios de 1999, dentro del ámbito de la Calidad y que se hizo patente en octubre del mismo año, con motivo del Congreso de Empresas de Calidad, celebrado en Barcelona, en el cual se convocó una sesión para exponer soluciones a estos planteamientos. Una de las propuestas, presentada por el autor de este artículo, se basaba en aplicar la metodología de la Calidad o del Medio Ambiente para desarrollar una normativa implantable en las organizaciones que a la vez que fuera evaluable.

A la vista de la buena aceptación que esta propuesta tuvo por parte de los asistentes, se creó un grupo de trabajo que estudió la viabilidad y puesta en práctica del proyecto.

El grupo comprobó la posibilidad de trabajar en esta línea y se decidió crear FORETICA, con el fin de elaborar un sistema documental que planteara la metodología y sus reglas de actuación.

Los esquemas que representan dicha metodología se pueden observar en los gráficos adjuntos. El gráfico número uno, esquematiza las actividades de FORETICA, cuyo objetivo primario es fomentar la gestión ética en las organizaciones. El número dos, representa el esquema armonizado, para llegar a la evaluación de lo implantado.

Los procesos que se llevan a cabo para evaluar la implantación de la gestión ética en cualquier organización se denomina "armonizado" porque le aceptan todas las organizaciones miembros de FORETICA que participan en la implantación y en su evaluación, las cuales además firman un Compromiso de Respeto entre ellas, con el fin de asegurar la gestión ética ante las organizaciones que deseen la evaluación, manteniendo un compromiso ético con respecto al propio sistema. A mediados del pasado mes de octubre, se ha realizado la concesión del primer certificado de Gestión Ética, aplicando la metodología expuesta. La empresa que lo ha obtenido es Forum Calidad, S.R.L.

El documento central que desarrolla los criterios de evaluación, se titula Norma de Empresa SGE21, y se aplica el calificativo "de empresa", ya que FORETICA desea dejar claro, de acuerdo con la terminología de ISO, que no es una norma elaborada por un organismo normalizador, si bien se ha llevado a cabo siguiendo exactamente las mismas pautas.

Para finalizar, conviene informar acerca de la más reciente actualidad en este campo.

Tras la aparición en el 2001 del Libro Verde de la Comisión de la UE, titulado "Fomentar un marco Europeo para la Responsabilidad Social de las Empresas", FORETICA realizó en España una encuesta, en la que participaron 398 empresas, sobre la Situación de la Responsabilidad social Empresarial en España. El Informe FORETICA 2002 con los resultados de dicho estudio, que puede obtenerse en [www.foretica.es](http://www.foretica.es), junto a estudios similares en otros países europeos, sirvió de base para generar el debate que ha conducido a la presentación, en Julio de 2002, de la "Comunicación de la Comisión Europea relativa a la Responsabilidad Social de las Empresas: una contribución empresarial al Desarrollo Sostenible".

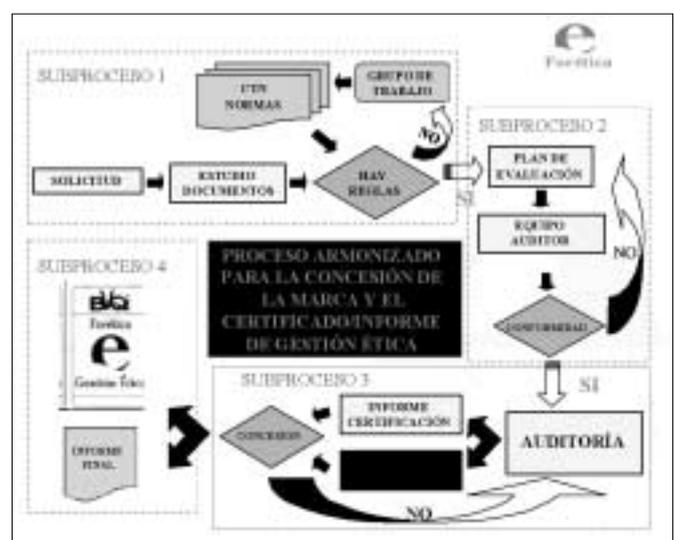
En la Comunicación de la Comisión, disponible asimismo en [www.foretica.es](http://www.foretica.es), se detalla la estrategia europea para los próximos años. En ella se destaca la importancia de fomentar la investigación en este campo y la necesidad de impulsar instrumentos efectivos, transparentes, creíbles y verificables por tercera parte para la implanta-

ción y demostración de la Responsabilidad Social de las empresas.

Respecto al fomento de la investigación, FORETICA organizó en 2002 el I Premio MSD para la Investigación en el campo de la Ética Empresarial patrocinado por Merck, Sharp, Dohme de España S.A., MSD. Este Premio, cuyo Jurado fue presidido en dicha primera edición por D. Federico Mayor Zaragoza, tiene carácter bienal y trata de animar la labor de quienes desde las Universidades, escuelas de negocio o empresas pueden aportar aspectos novedosos y aplicables a la gestión de la empresa.

Por último, respecto a la existencia de instrumentos que permitan la implantación de la Responsabilidad Social de las Empresas y su demostración por tercera parte, el Sistema de Gestión Ética propuesto por FORETICA está demostrando, tal como exige la Comisión europea, su transparencia y viabilidad, tanto en empresa grande como pequeña, como demuestran las certificaciones obtenidas por Novartis Farmacéutica S.A. o Forum Calidad S.R.L., tras las auditorías en las que ya han intervenido las certificadoras TÜV Internacional (figura 3) y BVQI y SGS.

En las figuras aparecen las marcas concedidas.



## Master para Profesionales

### Executive MBA

Madrid y Sevilla. Presencial y On Line



### Master Executive en Gestión de Calidad en los Servicios

Madrid. Presencial y On Line

### Executive MBA Internacional

On Line

### Master en Dirección Financiera y Control de Gestión

Madrid

### Executive MBA-Gestión de Empresas de Ocio

Madrid. Presencial y On Line

### Master en Dirección de Marketing y Gestión Comercial

Madrid y Sevilla

### Master en Dirección Estratégica de Recursos Humanos

Madrid. Presencial y On Line

### Master Profesional en Ingeniería y Gestión Medio Ambiental

Madrid y Sevilla. Presencial y On Line

### Master Executive en e-Business (modular)

Madrid

## Master para Recién Titulados

### INFORMACIÓN E INSCRIPCIONES:

Gregorio del Amo, 6  
(Ciudad Universitaria).  
28040 Madrid.  
Tel.: 91 349 56 15.  
Fax: 91 554 23 94.  
informacion@eoi.es

Albert Einstein, s/n.  
Isla de la Cartuja.  
41092 Sevilla.  
Tel.: 95 446 33 77.  
Fax: 95 446 31 55.

### Gestión de Empresa

#### MBA

(850 horas). Madrid y Sevilla

#### MBA Industria y Tecnología

(850 horas). Madrid

#### MBA Internacional

(850 horas). Madrid y Sevilla

#### Master en Gestión de Calidad

(860 horas). Madrid

### Medio Ambiente y Prevención

#### Master en Ingeniería y Gestión Medioambiental

(1.100 horas). Madrid y Sevilla

#### Master en Ingeniería y Gestión del Medio Ambiente Industrial

(400 horas). Valencia

#### Master en Ingeniería Medioambiental y Gestión del Agua

(1.100 horas). Madrid

#### Master en Prevención de Riesgos Laborales

(700 horas). Madrid

#### Master en Organización Jurídica, Económica y Social del Medio Ambiente

(720 horas). Madrid

#### Master en Energías Renovables y Mercado Energético

(520 horas). Madrid

#### Master en Gestión de Infraestructura y Servicios Medioambientales

(500 horas). Madrid

### e-Business

#### MBA e-Business (Part Time)

(600 horas). Madrid

#### Master en Sistemas de Información E.R.P.

(850 horas). Madrid

GESTIÓN DE PRÁCTICAS EN EMPRESAS

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

# El suelo, un medio biológico a proteger

**AUTORES:** GÉRARD KILBERTUS  
*École Nationale Supérieure des Sciences  
et des Technologies de Bois. Épinal. Francia.*

MARÍA EVA GARCÍA VENTOSA  
*Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas  
Avenida Gregorio del Amo, 8. 28040 Madrid*

## RESUMEN

Un ecosistema, en términos generales, quedaría representado por una interrelación de diversos sistemas: a) sistema atmosférico, b) sistema vegetal y animal, c) sistema terrestre. Siendo todos y cada uno de ellos importantes e indispensables, para el buen desarrollo del conjunto del ecosistema. Pero desde el punto de vista de preservar el medio ambiente, el interés se centra generalmente, en las partes más visibles de la biosfera, en particular los seres vivos, las especies amenazadas y eventualmente los residuos que se encuentran a nivel del suelo. Existe, sin embargo, otro biotopo prácticamente ignorado, el suelo, donde se desarrolla la microflora que degrada la materia orgánica y que libera el  $\text{CO}_2$  necesario para la supervivencia del ciclo biológico del ecosistema.

## INTRODUCCIÓN

Los ecologistas, en el sentido común del término, generalmente sólo se preocupan de las partes visibles de la biosfera, en particular de los árboles y de la fotosíntesis (1), de las especies amenazadas y eventualmente de los residuos a nivel del suelo (2,3,4). Existe, sin embargo, otro biotopo, prácticamente ignorado: el suelo. Es frecuente que la gente desconozca que cuando tiene un gramo de tierra en el hueco de la mano, tiene entre un millón y mil millones de seres vivos en esa mano. Una muestra de suelo contiene a menudo insectos ápteros o arácnidos, pero sobre todo filamentos de hongos y de bacterias. Las técnicas para efectuar la cuenta (por suspensión – dilución) generalmente ponen de manifiesto más de un millón de gérmenes por gramo de tierra arable (5). Y son la riqueza y la complejidad de esta fina capa cultivable las que condicionan la vida sobre la tierra, del mismo modo que la fotosíntesis.

## FUNCIÓN DE LA FAUNA

## DEL SUELO EN LA DEGRADACIÓN

## DE LA MATERIA ORGÁNICA

Si se considera el ciclo de la materia orgánica (6) (figura 1), el árbol transforma el  $\text{CO}_2$  atmosférico, vía fotosíntesis en sus cloroplastos, en polímeros carbonados cada vez más complejos, necesarios para el desarrollo de sus diferentes órganos. Por este hecho, no hay ninguna necesidad de materias orgánicas y muy bien puede desarrollarse el árbol en un medio puramente mineral. Sin

embargo, en ausencia de los descomponedores (bacterias y hongos) la cubierta vegetal que cae anualmente (hojas, ramas, etc.) se acumularía en la superficie del suelo. Este es el caso en los pinares, donde la presencia de coníferas conlleva una acidez que frena o inhibe la actividad microbiana y provoca el amontonamiento de acículas de varios centímetros.

Pero, en condiciones normales, estas cubiertas vegetales desaparecen más o menos rápidamente bajo la acción combinada de la pedofauna y la microflora telúrica (5,7,8). Las materias orgánicas van a incorporarse al suelo. Los insectos (colémbolos) y los arácnidos (ácaros) (figura 2) van a fragmen-

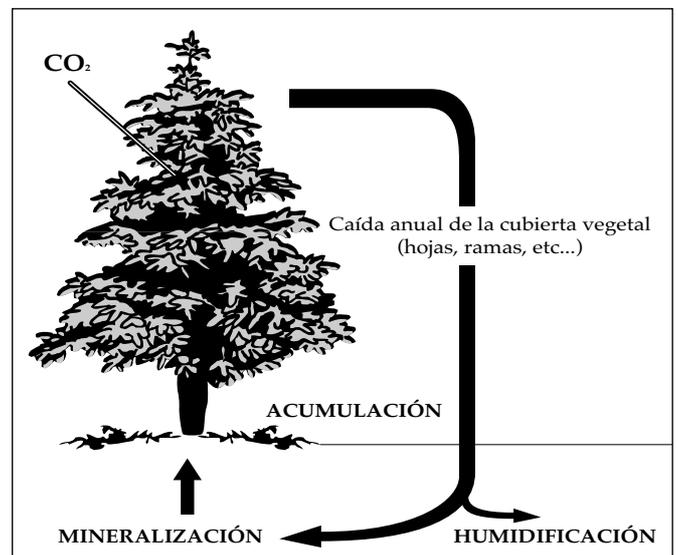


Figura 1: Ciclo de la materia orgánica

tar los restos orgánicos y por ello van a aumentar las superficies de ataque para los microorganismos. Pero también van a actuar de manera indirecta seleccionando sus alimentos (elección trófica). Esto no es forzosamente un inconveniente para los gérmenes. En el tubo digestivo del animal, una parte se digiere, pero otra se expulsa con las heces, pudiendo colonizar nuevos substratos. El colémbolo o el ácaro diseminarán así los hongos y las bacterias a grandes distancias (guardando las proporciones: 1 m) y se concentrará en la superficie la materia orgánica fresca (diseminación activa). También pueden transportar los gérmenes de manera accidental en la superficie de su cuerpo (diseminación pasiva) (9).

## PLANTAS Y MICROFLORA: ORGANISMOS

## COMPLEMENTARIOS. MINERALIZACIÓN

## DE LA MATERIA ORGÁNICA

Los residuos orgánicos no consumidos van a ser degradados por la microflora. Son los hongos, en primer lugar, los

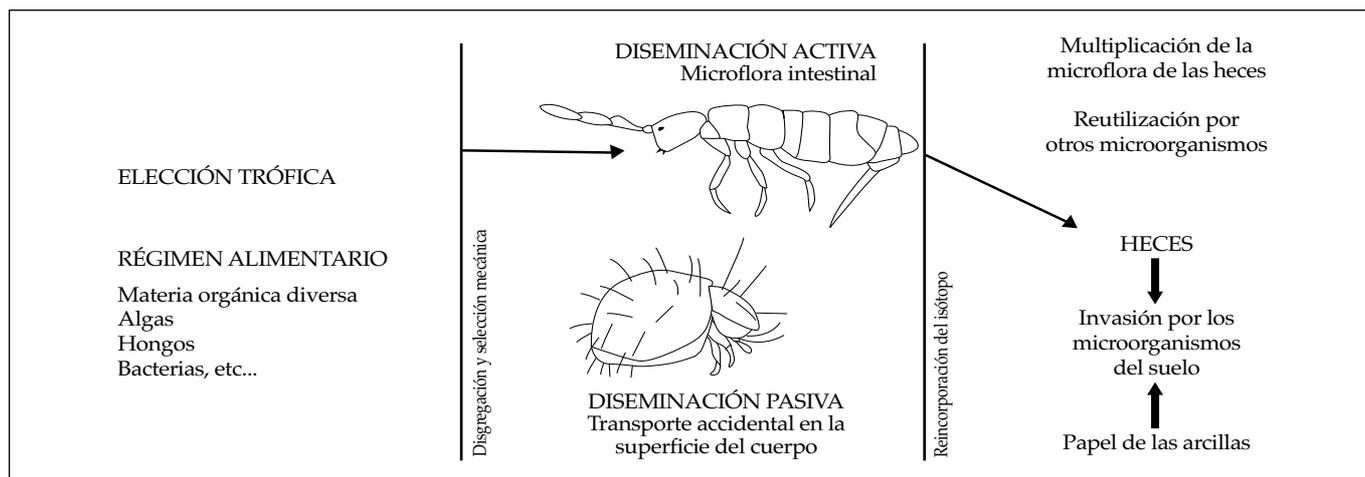


Figura 2: Papel de los animales en la disgregación de la materia orgánica

que van a atacar a la materia orgánica fresca, y en el siguiente orden (9) (figura 3):

1. Hongos: glucófilos (SH): utilización de las sustancias hidrosolubles  
celulolíticos (C): metabolismo de la celulosa  
lignolíticos (L): degradación de la lignina
2. Bacterias: transformación de los residuos fúngicos y de los productos no consumidos por las hifas.

Esta es la fase de mineralización, donde las degradaciones ocurren simultáneamente. Aunque el fenómeno no es perceptible al principio, da la impresión de que se trata de una sucesión (elementos hidrosolubles fácilmente asimilables, celulosa, lignina).

Durante esta fase llamada de mineralización (6), el microorganismo utiliza la totalidad del carbono como fuente de energía con fines tróficos y para reproducirse. El gas carbónico resultante de la respiración del germen será expulsado a la atmósfera y podrá ser de nuevo utilizado por los vegetales. Una cantidad importante de materia mineral, no utilizada por los gérmenes será puesta a disposición de la planta. Como se puede constatar, estos dos tipos de organismos son complementarios, uno fabrica materias carbonadas, otro libera minerales.

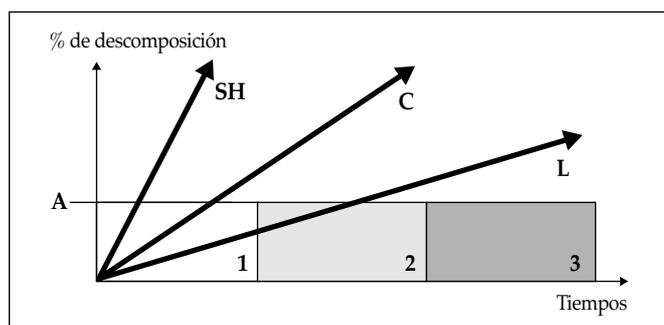


Figura 3: Principales estados de la descomposición de una hoja  
1-SH: glucolisis 2-C: celulolisis 3-L: ligninólisis  
1: periodo durante el cual el fenómeno es difícilmente observable

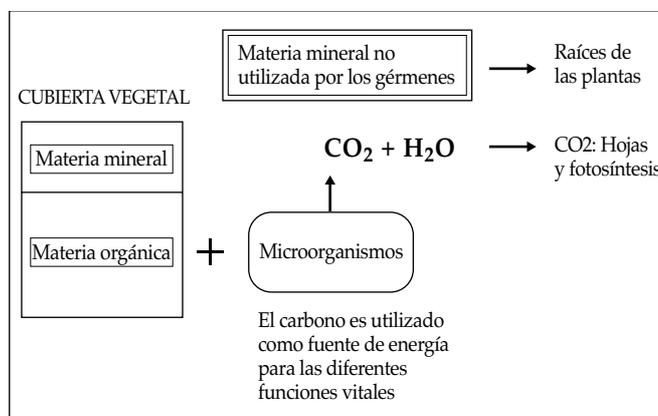


Figura 4: Esquema simplificado de la utilización de un resto orgánico por un microorganismo.

### SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE LOS MICROORGANISMOS ANTE DESEQUILIBRIOS AMBIENTALES

Se puede constatar que una mejora puramente orgánica de los suelos agrícolas, conducirá a las bacterias a consumir todo el carbono disponible. Como consecuencia se producirá a la larga una rarefacción, e incluso una desaparición de los microorganismos. Podría suponerse, en este último caso, que el suelo esté esterilizado y que incluso un aporte de materias carbonadas ya no conlleve una mineralización. Sin embargo, la naturaleza ha previsto este caso y ha creado sistemas de protección (10).

En el caso de los hongos se trata de clamidosporas o de esclerotes. La clamidospora es una célula cuya pared se ha engrosado y cuyo contenido es rico en reservas, estando además en estado latente. El esclerote es una esfera cuyo envoltorio externo está constituido de hifas muertas de pared gruesa, y el centro de filamentos vivos ricos en reservas y también en estado latente. Las bacterias (Gram+) forman endosporas. Estos elementos son susceptibles de sobrevivir muchos años en condiciones desfavorables.

Las bacterias Gram- están desprovistas de tales mecanismos de resistencia, pero forman agregados biológicos que juegan un papel análogo. Cuando las condiciones llegan a ser desfavorables, la actividad celular, en particular las divisiones, se hacen más lentas. Numerosos procariotas exudan entonces en su superficie polisacáridos que se adhieren a láminas de arcilla. Estas formaciones tienen un diámetro que varía de 10 a 1000 mm y pueden contener varios miles de gérmenes.

Los polisacáridos tienen varias funciones:

- La superficie de las bacterias y la de las arcillas tienen cargas eléctricas negativas (11), mientras que los azúcares son neutros. En ausencia de estos polisacáridos los filosilicatos y los microorganismos volverán a crecer. Tienen por tanto un papel aislante.
- Ya que los azúcares tienen tendencia a retener agua, se evita una evaporación importante en periodos secos.
- Constituyen reservas. En efecto, en ausencia de alimentos, se constatan zonas de rotura alrededor de las bacterias, pudiendo éstas últimas tomar entonces el carbono necesario para el mantenimiento de las funciones vitales esenciales.
- Son claramente estructuras que permiten la supervivencia de las bacterias. Se forman cuando las condiciones ambientales llegan a ser desfavorables, pero desaparecen cuando las condiciones pedológicas vuelven a ser adecuadas.

En el espacio interagregado las condiciones son drásticas. Las condiciones de humedad y de aireación varían muy rápidamente. Ahora bien, es este microhabitat el que es colonizado por las bacterias Gram+, que poseen la facultad de producir endosporas. Las esporas, tanto de los hongos (clamidiasporas y esclerotos) como de los actinomicetos, son muy resistentes a la desecación.

Por el contrario, el agregado mismo no es recorrido más que por finas canículas de alrededor 2 mm de diámetro, que sólo permiten una circulación lenta de aire y de agua. Aparecerán rápidamente condiciones de anaerobiosis. En este medio tan estable viven o sobreviven las bacterias Gram-. Estos gérmenes son sensibles a las modificaciones ambientales, pero pueden, gracias a la protección conferida por los agregados, permanecer vivos en suelos secos durante más de un año.

La composición química y física de los agregados es variable. Unos podrán formarse alrededor de citina, desarrollándose en su seno los llamados citinolíticos. Otros agregados encerrarán residuos de lignina permitiendo el crecimiento de los ligninolíticos. Por ello el suelo debe ser considerado un medio muy heterogéneo, constituido de un mosaico de microhabitats cuya composición biológica varía cualitativa y cuantitativamente en función del tiempo, y de la fuente trófica disponible. Los microorganismos que colonizan estos microhabitats difieren igualmente tanto por su morfología, como por su ecología.

## CONCLUSIÓN

### La presencia y diversidad de la flora microbiana en el suelo es beneficiosa para el equilibrio biológico del ecosistema

Las poblaciones microbianas de los suelos están muy diversificadas, lo que representa una clara ventaja; la materia orgánica bajo cualquier forma, introducida natural o artificialmente, podrá mineralizarse y ser puesta de nuevo a disposición de la planta. Las mutaciones permiten una metabolización progresiva, a lo largo de muchos años, de sustancias nuevas. Pero este equilibrio es muy frágil pudiéndose romper de manera definitiva cuando se presenten modificaciones extremas. Tanto los suelos del Sahel con un cultivo intensivo de cacahuetes, como los suelos europeos colmatados por los abonos químicos corroboran este desequilibrio.

El público se ha concienciado de que el medio, tanto biótico como abiótico, debe ser protegido, pero desgraciadamente el interés se centra únicamente en la presencia de productos tóxicos, nocivos para el ser humano. Por ello este modesto artículo ha sido realizado para sensibilizar a la sociedad sobre este medio tan desconocido, ya que aún estamos a tiempo de tomar medidas adecuadas. ■

## REFERENCIAS

1. Lehninger (1988). Principios de Bioquímica. Ed. Omega (645-679)
2. Kilbertus G. (1985). Microbiologie du sol en Guyana française. Université de Nancy I, pp 58
3. Kilbertus G., Reisinger O., Mourey A., Cancela da Fonseca J.A. (1975). Biodégradation et humidification. Ed. Pierron, Sarreguemines, pp 496
4. Bruckert S., Kilbertus G. (1980). Fractionnement et analyse des complexes organo-minéraux de sols bruns et de chernozem. Plant and Soil, 57, 271-195
5. Kilbertus G., Schawartz R., Alberti G. (1982). La répartition quantitative des microorganismes dans les sols de forêts (chênes, pins). Indices d'activité microbiologique. Rev. Ecol. Biol. Sol. 19 (4), 513-523
6. Urbano P (1992). Tratado de fitotecnia general. Ed. Mundi Prensa (363-409)
7. Kilbertus G., Reisinger O. (1975). Dégradation du matériel végétal. Activité in vitro et in situ de quelques microorganismes. Rev. Ecol. Biol. Sol. 12, 363-374
8. Arpin P., Kilbertus G., Ponge J.F., Vannier G., Verdier B. (1985). Réaction des populations animales et microbiennes sur sol à la privation des apports annuels de litière: exemple d'une rendzime forestière. Bull. Ecol. Biol. Sol. 16, 95-115
9. Olah G., Reidsinger O., Kilbertus G. (1978). Biodrégation et humidification – Atlas ultrastructural. Vuibert, France, pp 328
10. Kilbertus G., Schwartz R. (1981). Les bactéries du sol. Université de Nancy I, pp 185
11. Meléndez Fuster (1984). Geología. Ed. Paraninfo (266-275)

## MEDICINA Y SALUD

# Células Madre Adultas

**AUTORES:** CARLOS CLAVEL, MIGUEL BARAJAS,  
FELIPE PROSPER  
Servicio de Hematología y Área de Terapia Celular  
Clínica Universitaria. Universidad de Navarra

### INTRODUCCIÓN

Aunque los primeros estudios con células madre datan de la década de los setenta, los avances realizados en los últimos años han despertado el interés no sólo de la comunidad científica sino de la sociedad en general. Las implicaciones éticas en el uso de las células madre embrionarias y las nuevas evidencias científicas que demuestran un mayor potencial de las células madre adultas que el inicialmente esperado, han reavivado aún más el debate sobre sus posibles aplicaciones terapéuticas.

Una célula madre es aquella que es capaz de dividirse indefinidamente y diferenciarse a distintos tipos de células especializadas. Las células madre se pueden clasificar según su potencial de diferenciación: en células totipotenciales que son capaces de producir tejido embrionario y extraembrionario; las células pluripotenciales que tienen la habilidad de diferenciarse a tejidos procedentes de cualquiera de las tres capas embrionarias y, por último, las células multipotenciales, que son capaces de diferenciarse a distintos tipos celulares procedentes de la misma capa embrionaria (Weissman et al., 2001).

Tradicionalmente se ha considerado a las células madre embrionarias como células pluripotenciales, a diferencia de las células madre adultas que se han caracterizado sólo como multipotenciales. Sin embargo, trabajos publicados recientemente sugieren que existen células madre adultas pluripotenciales. Es importante destacar que para que una célula madre sea pluripotencial tiene que cumplir las siguientes condiciones: en primer lugar, una única célula debe ser capaz de diferenciarse a células especializadas procedentes de cualquier capa embrionaria; en segundo lugar, demostrar la funcionalidad *in vitro* e *in vivo* de las células a las que se han diferenciado y, finalmente, que se produzca un asentamiento claro y persistente de estas células en el tejido diana, tanto en presencia como en ausencia de daño. En estos momentos no existe ningún estudio que cumpla todos estos criterios de forma estricta, aunque algunos trabajos indican de manera bastante evidente la posible existencia de células madre adultas pluripotenciales (Jiang et al., 2002).

Las células madre adultas se han identificado en la mayoría de los tejidos, incluyendo hematopoyético, neuronal, epidérmico, gastrointestinal, músculo esquelético, músculo cardíaco, hígado, páncreas y pulmón. En un principio se pensó que las células madre adultas estaban predeterminadas a diferenciarse a un tipo celular procedente de su misma hoja embrionaria. Sin embargo, esta idea ha sido rebatida por varios grupos de investigación cuyos estudios sugieren que las células madre adultas son capaces de diferenciarse funcionalmente a células especializadas procedentes de capas embrionarias distintas a las de su propio origen. Incluso, algunos de estos grupos han sido capaces de probar la pluripotencialidad de células madre adultas procedentes de la médula ósea o del cerebro. Estos avances han hecho cambiar la idea tradicional que se tenía de las células madre adultas, dándoles mayor potencial terapéutico del que se pensaba. No obstante, estos avances han sido puestos en tela de juicio por algunos científicos, basándose en la observación de que algunas células madre adultas son capaces de fusionarse *in vitro* con células madre embrionarias y por la imposibilidad de reproducir alguno de los experimentos anteriormente citados.

### CÉLULAS MADRE DE LA MÉDULA ÓSEA

Se han descrito diferentes tipos de células madre en la médula ósea: Hematopoyéticas (HSC), Mesenquimales (MSC), las llamadas "Side Population Cells" (SP) y recientemente el grupo de la Dra. Verfaillie ha publicado un artículo en el que se demuestra la existencia de una población celular llamada MAPC (Multipotent Adult Progenitor Cell).

### CELULAS MADRE HEMATOPOYÉTICAS

Las HSC han sido identificadas tanto *in vitro* como *in vivo* por varios laboratorios. Algunos trabajos han puesto de manifiesto que las HSC además de su potencial hematopoyético pueden contribuir a la angiogénesis y a las vasculogénesis. Experimentos *in vitro* e *in vivo* ponen de manifiesto que las células que expresan el marcador de superficie CD34, no sólo son HSC sino también progenitoras endoteliales (EPC).

Recientemente se han publicado trabajos en los que las HSC han sido diferenciadas a músculo cardíaco. El grupo de Orlic y Anversa (Orlic et al., 2001) han demostrado en un modelo de infarto de miocardio murino (de ratón) que una inyección de células mononucleadas de la médula ósea Lin<sup>-</sup> y c-kit<sup>+</sup> (fenotipo de marcadores de

superficie típico de HSC) en el corazón dañado, resultó en la colonización de estas células en más de la mitad del área infartada. Estas posibles HSC adquirieron un fenotipo característico de células de miocardio y contribuyeron a la mejora y supervivencia de los animales. Aunque la fracción de las células mononucleadas de la médula ósea Lin<sup>-</sup> y c-kit<sup>+</sup> es muy rica en HSC, algunos grupos afirman que estos resultados son insuficientes para asegurar que las células responsables de la regeneración cardíaca son HSC.

Otros grupos, basándose en que las células ovales expresan marcadores de superficie tradicionalmente asociados a HSC (c-kit, flt-3, Thy-1 y CD34), han sugerido que éstas podrían diferenciarse a células ovales y hepatocitos. Hay grupos, como el de Lagasse y col., que han demostrado que células Lin<sup>-</sup>, c-kit<sup>+</sup>, Thy-1, y Sca-1 son capaces de regenerar un hígado murino en un modelo de daño hepático fulminante (Lagasse et al., 2000). Sin embargo, este estudio no ha sido incapaz de demostrar que esta regeneración se deba a una única célula HSC.

El potencial de las HSC para adquirir características de neuronas adultas así como células de la glia ha sido descrito recientemente *in vitro* e *in vivo* en modelos murinos. Sin embargo algunos grupos discuten estos resultados ya que, al igual que en los casos anteriormente citados, las células utilizadas fueron poblaciones de la médula ósea que aunque tenían características de HSC era insuficiente para probar que la diferenciación a neurona es debida exclusivamente a las HSC.

### CELULAS MADRE MESENQUIMALES

La médula ósea también contiene células madre mesenquimales o MSC. En los últimos años se han descrito distintos marcadores de superficie que han sido utilizados para identificar y aislar estas MSC, tales como SH2, SH3, CD29, CD44, CD71, CD90 y CD106 (Deans and Moseley, 2000). Las MSC no expresan antígenos de superficie típicos de las HSC, como CD34, CD45 o CD14. Experimentos recientes han demostrado *in vitro* que las MSC son capaces de diferenciarse a tejidos mesodérmicos funcionales, como osteoblastos, condroblastos, adipocitos y mioblastos esqueléticos.

Varios grupos afirman haber conseguido diferenciar MSC a células derivadas del neuroectodermo. En estos trabajos, las MSC se diferenciaron *in vitro* a células que expresaban marcadores neuronales, sin embargo los autores no llegan a demostrar que estas células adquieran características funcionales similares a neuronas o células de la glia. A pesar de su probada multipotencialidad mesodérmica y de su habilidad para diferenciarse a neuroectodermo, las MSC no diferencian a tejido derivado del endodermo y, por lo tanto, no se pueden considerar células madre pluripotenciales. Las MSC constituyen un

modelo muy útil en aplicaciones clínicas para un número de enfermedades, tanto en terapia regenerativa como en terapia génica.

### SIDE POPULATION CELLS

Las llamadas "side population cells (SP)" han sido aisladas de la médula ósea usando técnicas de citometría de flujo (FACS). Se sabe que las SP son capaces de diferenciar a HSC en humanos, roedores y otras especies. Además algunos estudios describen que las SP podrían dar lugar a otros tipos de células especializadas e integrarse en distintos tejidos *in vivo*. Por ejemplo, el grupo de Jackson et al. demostró en 1999 que las SP podían diferenciar a células con características de músculo cardíaco y endotelio en un modelo murino de infarto de miocardio.

### MULTIPOTENT ADUL STEM CELLS (MAPC)

Esta población celular de la médula ósea ha sido descrita recientemente por el grupo de la Dra. Verfaillie (Jiang et al., 2002). Su descubrimiento ha suscitado la atención del mundo científico ya que se han descrito como auténticas células pluripotenciales con una capacidad diferenciadora muy similar a las células madre embrionarias. Las MAPC han sido aisladas tanto de médula humana como murina. Estas MAPC son capaces de proliferar *in vitro* más de 120 divisiones celulares sin un aparente envejecimiento ya que mantienen unos niveles altos de telomerasa durante todo el tiempo de cultivo. Se ha descrito que las MAPC no expresan CD34, CD44, MHC I, MHC II, CD45 y c-kit; expresan niveles bajos de Flk-1, Sca-1 y Thy-1, y altos de CD13, SSEA-1 (ratón/rata) y SSEA-4 (humano). Al igual que las células madre embrionarias, en las MAPC se detecta la activación de los factores de transcripción Oct-4 y Rex-1, factores que son necesarios para mantener la célula en un estado proliferativo e indiferenciado. Además se han realizado experimentos de clonaje que prueban que es una única célula la que es capaz de diferenciarse a tejidos procedentes de cualquiera de las tres capas embrionarias (endodermo, mesodermo o ectodermo). *In vitro*, las MAPC pueden ser inducidas a diferenciar tejidos derivados del mesodermo como hueso, cartílago, adipocitos, músculo esquelético, estroma hematopoyético o endotelio. Pero de momento no han sido capaces de diferenciar tejido hematopoyético maduro o cardiomiocitos. Estas células también han sido capaces de diferenciar hepatocitos y funcionar como tales, ya que son capaces de producir urea, albúmina, inducir el citocromo p450 con fenobarbital y almacenar glucógeno. La diferenciación de las MAPC a tejidos derivados del ectodermo como neuronas, astrocitos y oligodendrocitos también ha sido demostrada *in vitro*.

Las MAPC contribuyeron notablemente a la neoangiogénesis y diferenciaron a endotelio funcional. Uno de los experimentos que mejor ha demostrado la pluri-

potencialidad de las MAPC fue la inyección de tan sólo 1 a 12 MAPC (procedentes de ratones transgénicos ROSA26 que expresan el gen reportero LacZ) en un blastocito de ratón. La contribución de estas MAPC en estos animales quiméricos se observó en prácticamente todos los tejidos: cerebro, retina, pulmón, músculo esquelético, hígado, intestino, riñón, bazo, medula ósea, sangre y piel.

Aunque el proceso de aislamiento de las MAPC todavía es largo y laborioso, y aún no se han publicado experimentos que prueben que no existen fusiones celulares, estos experimentos con MAPC son los que más se han aproximado a la demostración de la existencia de células madre pluripotenciales, mostrando su potencialidad no sólo en el campo terapéutico, sino como un arma de aprendizaje para poder comprender mejor los procesos que inducen a las células madre a diferenciarse.

### CÉLULAS MADRE NEURONALES

Uno de los mejores experimentos donde se prueba la existencia de células madre adultas y su potencial diferenciador fue el publicado por el grupo de Clarke y col. (Clarke et al., 2000). Este grupo inyectó células madre neuronales o neuroesferas procedentes de un ratón transgénico para el gen reportero LacZ en embrión de ratón. Aproximadamente el 25% de los embriones presentaban quimerismo no solo en el tejido neuronal, sino también en tejidos del mesodermo y del endodermo. Cuando estas mismas neuroesferas fueron inyectadas dentro de un blastocito de ratón, la contribución se extendió al sistema nervioso central, corazón, hígado, intestino y otros tejidos. Debido a que los animales no fueron evaluados después del nacimiento, no se pudo realizar una valoración objetiva de la funcionalidad de las células donadas.

### CÉLULAS MADRE MUSCULARES

El grupo de Qu-Petersen y col. (Qu-Petersen et al., 2002) ha sido capaz de aislar diferentes poblaciones de células madre musculares murinas basándose en su capacidad de adhesión y proliferación. Estas células fueron mantenidas en cultivo durante más de sesenta divisiones celulares sin anormalidades cromosómicas. Las células fueron capaces de diferenciarse *in vitro* e *in vivo* a endotelio, músculo, y células del linaje neuronal. Una vez más la crítica que los investigadores hacen es la ausencia de experimentos clonales que prueben que es una única célula y no una población heterogénea la causante del potencial diferenciador.

### CÉLULAS MADRE EN LA PIEL

De la epidermis humana y murina se han aislado células madre con capacidad de diferenciarse a células es-

pecializadas procedentes de dos capas embrionarias distintas. Estas células se mantuvieron en cultivo durante más de doce meses sin diferenciarse y se les pudo inducir la diferenciación *in vitro* a neuroectodermo (neuronas y células de la glia) o a linajes mesodérmicos (adipocitos y músculo liso). Su potencial de diferenciación a tejidos derivados del ectodermo y mesodermo fue probado a un nivel clonal. Pero, no existen evidencias de una multipotencialidad *in vivo* y tampoco que los tejidos diferenciados fuesen funcionales. Además el porcentaje de las células con características morfológicas neuronales o mesodérmicas fue menor al 10%.

### CONCLUSIÓN

Gracias a los estudios realizados a lo largo de los últimos años se ha conseguido cambiar la idea que se tenía de las células madre adultas. Antes se pensaba que las células madre adultas estaban predestinadas a un tipo celular especializado procedente de su misma capa embrionaria. Hemos revisado en este artículo algunos de los estudios que sugieren que las células madre adultas tienen un potencial mucho mayor del que se pensaba y que algunos casos muy concretos son capaces de mostrar pluripotencialidad, algo que hasta hace muy poco era territorio exclusivo de las células madre embrionarias. El nuevo campo de las células madre adultas conlleva implicaciones biológicas, clínicas y éticas de gran consideración. Las exigencias en los estudios tanto con células madre adultas como embrionarias son cada vez mayores, y contribuyen día a día a unificar más los criterios científicos, que sin duda están ayudando al rápido avance en este campo y a poner cada vez menos límites a la potencialidad de las células madre, contribuyendo a las enormes expectativas por parte de pacientes con enfermedades consideradas incurables.

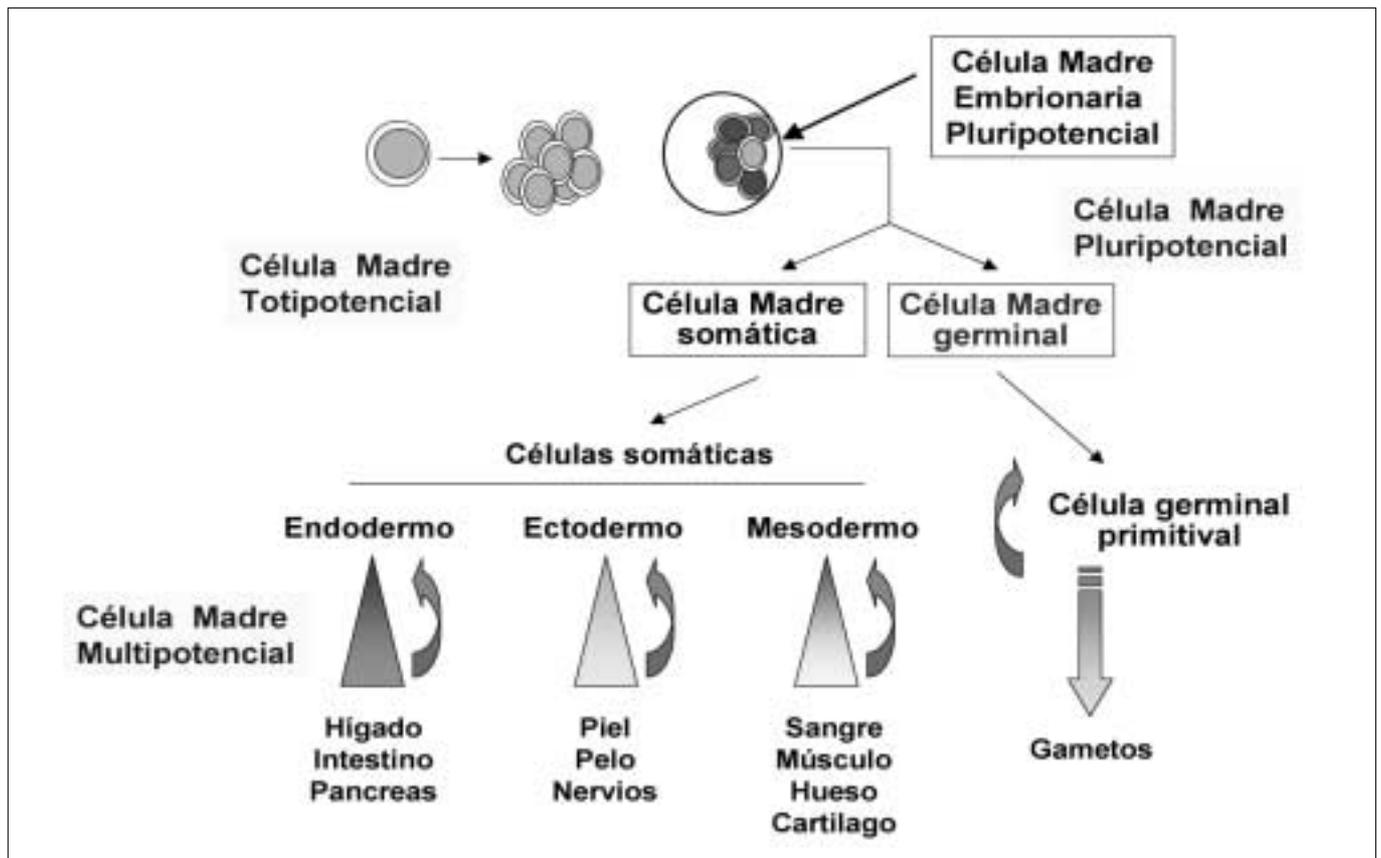
### GLOSARIO DE TERMINOS Y CONCEPTOS

#### ¿Qué es una célula madre?

Una célula madre es un tipo especial de célula que posee la capacidad de replicarse y dar lugar a diversos tipos de células especializadas. La mayoría de las células del organismo adulto, como las células del corazón o de la piel, son células especializadas en desempeñar una determinada función. Una célula madre no está especializada y permanece en ese estado hasta que recibe una señal que la hace especializarse. Lo que la hace única es la capacidad de proliferar dando lugar a células idénticas, unido a la capacidad de especialización o dicho de otra forma de diferenciación hacia células especializadas.

#### ¿Qué tipos de células madre existen?

Desde el punto de vista de su capacidad para generar tipos de tejidos existen diferentes tipos de célu-



las madre: células madre totipotenciales: la misma célula es capaz de generar cualquier célula del organismo, tanto somáticas como germinales; células madre pluripotenciales: una célula es capaz de generar diferentes tejidos o células pertenecientes a diferentes tejidos; célula madre multipotencial: aunque estas células pueden diferenciarse a distintos tipos celulares su capacidad es menor y en principio sólo son capaces de generar tejidos derivados de la misma lámina embrionaria.

#### ¿Dónde se encuentran las células madre?

Las células madre se encuentran en tejidos adultos y en los embriones, independientemente de su estadio. Por ello se habla de células madre del adulto y células madre embrionarias. Aunque poseen propiedades en común, existen también algunas diferencias significativas.

#### ¿Qué es una célula madre del adulto?

Una célula madre del adulto es una célula no especializada, es decir no diferenciada, que se encuentra en un tejido (especializado) y que posee la capacidad de dar lugar a células especializadas del tejido en el que se encuentra. Las células madre son capaces de auto-regenerarse y de dar lugar a células idénticas. Hasta el momento se han encontrado células madre en la médula ósea, sangre, córnea y retina, cerebro, músculo, hígado, piel, páncreas, tracto gastrointestinal y pulpa dental del individuo adulto.

#### ¿Qué es una célula madre embrionaria?

Una célula madre embrionaria proviene de un grupo de células –denominado masa celular interna– de un estadio temprano del embrión (se trata de la fase de blastocisto). Estas células no son embriones, sin embargo para aislarlas es necesario destruir al embrión. Poseen la capacidad de auto-regenerarse y de diferenciarse en muchos tipos celulares, una propiedad que se conoce como versatilidad celular.

#### ¿Cuáles son las fuentes para obtener células madre embrionarias?

Existen tres fuentes para la obtención de células madre embrionarias:

1) La utilización de embriones sobrantes de la fecundación *in vitro*, congelados en los centros de reproducción asistida; 2) Su creación expresa de nuevos embriones *in vitro* a partir de donantes de gametos (bancos de espermatozoides y óvulos), con objeto de utilizarlos para el aislamiento de células madre; 3) y la clonación de un nuevo embrión a partir de una célula adulta cualquiera. En los tres casos los embriones humanos han de ser destruidos para obtener las células madre que luego se cultivan en el laboratorio.

#### ¿Cuáles son las aplicaciones terapéuticas de las células madre?

Las células madre pueden servir en el futuro como materia prima para reemplazar muchas células perdidas en enfermedades degenerativas. Por ejemplo, en-

fermedad de Parkinson, diabetes, enfermedad cardíaca crónica, fallo renal y hepático y cáncer. Algunas de estas dolencias pueden tratarse mediante trasplantes de órganos, pero existe un limitado número de donantes lo que hace necesario desarrollar nuevas estrategias. Especialmente, el uso de estas células para generar tejidos de reemplazo en enfermedades neurodegenerativas las hace especialmente atractivas para el tratamiento de daños en la médula espinal, Alzheimer y esclerosis múltiple. Además podrían utilizarse para restaurar la función inmune en pacientes inmunodeprimidos y servir de vehículos para dirigir tratamientos contra células cancerosas, bien modificándolas o destruyéndolas.

### ¿Cuáles son las diferencias entre las células madre del adulto y las células madre embrionarias?

Además del origen, las células madre embrionarias son pluripotentes, es decir tienen en teoría la capacidad de diferenciarse en cualquiera de los más de 200 tipos celulares distintos. En el caso de las células madre de adultos aunque existen al menos tres grupos que han demostrado la pluripotencialidad, estos trabajos deben ser confirmados antes de que este concepto sea aceptado. Recientes trabajos señalan la capacidad de diferenciación hacia muchos tipos celulares distintos a los que se encuentran en el órgano que las alberga y por tanto una versatilidad celular equivalente a la de las células embrionarias.

Las células madre embrionarias tienen una capacidad de auto-regenerarse casi ilimitada y pueden replicarse con mucha facilidad en cultivo. Uno de los problemas del uso de células madre embrionarias es la frecuente aparición de tumores (teratomas) tras la implantación en animales. Las células madre del adulto poseen quizás una menor capacidad de replicarse, pero no se conoce la formación de teratomas *in vivo* a partir de ellas.

Las células madre del adulto están en baja frecuencia lo que representa un problema para su uso en terapias humanas, aunque el número total de células obtenido en un protocolo de extracción y aislamiento suele ser mucho mayor que el número de células madre derivadas de un embrión.

La aplicación de las células madre embrionarias clínicamente se asocia a un problema adicional: la existencia de diferencias en los antígenos de histocompatibilidad entre donante (embrión a partir del cual se han obtenido las células) y receptor (paciente). Es decir son incompatibles y sujetas a rechazo. Por el contrario las células madre adultas pueden aplicarse de forma autóloga (es decir células del paciente para sí mismo) y por lo tanto sin riesgo de rechazo.

### ¿Qué es la fusión celular y que implicaciones tiene de cara a la demostración de la existencia de células madre adultas?

La fusión celular es un fenómeno biológico por el que dos células son capaces de unirse (fusionarse) con la consiguiente transferencia de su material genético. Este fenómeno ya había sido descrito hace más de veinte años. De forma reciente se ha demostrado que las células embrionarias humanas son capaces de fusionarse con células humanas adultas, produciendo un tipo de células que expresan de forma simultánea marcadores de células adultas y características de células embrionarias. Este fenómeno de fusión se produce con una frecuencia de 1:1.000.000 y genera unas células con dotación tetraploide (doble contenido de cromosomas) y con una desventaja proliferativa.

Este fenómeno de fusión podría justificar hallazgos etiquetados como pluripotencialidad de células madre adultas, sin embargo nunca podría justificar aquellos estudios en los que se demuestra la existencia de pluripotencialidad no sólo morfológicamente sino también de forma funcional. ■

### REFERENCIAS

- Clarke, D. L., Johansson, C. B., Wilbertz, J., Veress, B., Nilsson, E., Karlstrom, H., Lendahl, U., and Frisen, J. (2000). Generalized potential of adult neural stem cells. *Science* 288, 1660-3.
- Deans, R. J., and Moseley, A. B. (2000). Mesenchymal stem cells: biology and potential clinical uses. *Exp Hematol* 28, 875-84.
- Jiang, Y., Jahagirdar, B. N., Reinhardt, R. L., Schwartz, R. E., Keene, C. D., Ortiz-Gonzalez, X. R., Reyes, M., Lenvik, T., Lund, T., Blackstad, M., Du, J., Aldrich, S., Lisberg, A., Low, W. C., Largaespada, D. A., and Verfaillie, C. M. (2002). Pluripotency of mesenchymal stem cells derived from adult marrow. *Nature*.
- Lagasse, E., Connors, H., Al-Dhalimy, M., Reitsma, M., Dohse, M., Osborne, L., Wang, X., Finegold, M., Weissman, I. L., and Grompe, M. (2000). Purified hematopoietic stem cells can differentiate into hepatocytes in vivo. *Nat Med* 6, 1229-34.
- Orlic, D., Kajstura, J., Chimenti, S., Jakoniuk, I., Anderson, S. M., Li, B., Pickel, J., McKay, R., Nadal-Ginard, B., Bodine, D. M., Leri, A., and Anversa, P. (2001). Bone marrow cells regenerate infarcted myocardium. *Nature* 410, 701-5.
- Qu-Petersen, Z., Deasy, B., Jankowski, R., Ikezawa, M., Cummins, J., Pruchnic, R., Mytinger, J., Cao, B., Gates, C., Wernig, A., and Huard, J. (2002). Identification of a novel population of muscle stem cells in mice: potential for muscle regeneration. *J Cell Biol* 157, 851-64.
- Weissman, I. L., Anderson, D. J., and Gage, F. (2001). Stem and progenitor cells: origins, phenotypes, lineage commitments, and transdifferentiations. *Annu Rev Cell Dev Biol* 17, 387-403.

# Estado actual de la tecnología de las fibras de carbono

**AUTOR:** ANTONIO MADROÑERO DE LA CAL  
*Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas  
Avenida de Gregorio del Amo, 8. 28040 Madrid*

Entendemos actualmente por fibra de carbono a por lo menos tres familias de materiales con morfología fibrilar y constituidos por una única fase de carbono de alta pureza, y de ahí el nombre de “fibras de carbono”, ya que definir las por su estructura sería complicado por presentar estos materiales una amplia gama de arquitecturas internas, tales como en “ribbon”, estructura radial, capas concéntricas, etc. Dicho término comprende un abanico de materiales tan amplio como pueda serlo el del “acero”, “vidrio”, “plástico”, o cualquier otro. Esto nos obliga a un tomar un cierto criterio o hilo conductor en su descripción. Por ello, en la presente exposición preferimos seguir el orden cronológico de lo que ha sido el desarrollo de estas familias de materiales.

Como mínimo hay que admitir tres familias, las fibras de carbono convencionales, las microfibras obtenidas a partir de los hidrocarburos gaseosos (llamadas VGCF o vapour grown carbon fibres), y los nanotubos de carbono. Desde el punto de vista de la ingeniería de aplicaciones, las tres familias corresponden a aplicaciones primordialmente mecánicas (las convencionales), a aplicaciones preferentemente eléctricas (las VGCF) y a aplicaciones mayoritariamente electrónicas (las nanofibras).

Así como el desarrollo de las aleaciones ligeras y ultraligeras vino determinado por las necesidades que la construcción aeronáutica impuso, las fibras de carbono convencionales fueron una consecuencia directa de los desarrollos de ingenios aeroespaciales que comenzó en los años sesenta. Había que rebasar la relación resistencia/peso de las mejores aleaciones, y la única vía eran los composites.

Se sabía que los “whiskers” cerámicos alcanzaban la máxima robustez que la teoría del sólido permitía, es decir, eran el techo de los materiales, en cuanto a propiedades mecánicas se refiere. Pero sus mínimas dimensiones no permitían incorporarlos como reforzantes a las piezas estructurales con la deseable orientación para que la pieza aprovechara toda la potencialidad del reforzante.

Al mismo tiempo, la única fibra larga disponible que si permitía por ello una correcta orientación, era la fibra de vidrio, que tenía muy poca rigidez y muy alta densidad.

Por eso fue una fue un destello luz que se oportunamente se encendió, el trabajo del Prof. Shindo en la Universidad de Oaxaca, en Japón. Consistía en algo tan simple como pirolizar en atmósfera inerte a unas mechas de hilo textil, las cuales debían permanecer sometidas a tensión mecánica mientras sufrían el tratamiento térmico.

El resultado del tratamiento era el eliminar como volátiles todos los radicales orgánicos, dejando como residuo una mecha de filamentos, de unos 8 mm de grueso que estaban constituidos por un grafito con alto grado de textura grafitica, consecuencia de que el proceso de hilado al que se había sometido al polímero para fabricar el textil sintético, había alineado unidireccionalmente a las cadenas de macromoléculas, dotando al hilo de una marcada textura polimérica.

Según se lleve la marcha del proceso de fabricación, que comprende una serie de etapas, no todas imprescindibles, se puede modular la estructura del producto final, y por tanto, sus propiedades. Ello permite hablar de diversos tipos de fibra que se conocen como de alta resistencia, de módulo intermedio, de alto módulo y de ultra-alto módulo.

Embebiendo estas fibras carbonosas/grafíticas en una matriz polimérica, se consiguieron las piezas rígidas y ligeras, que constituyen la mayor parte de las actuales aeronaves, y por supuesto, de las estructuras aeroespaciales y de misiles para el Ministerio de Defensa.

La difusión de la fibra de carbono hacia otros segmentos del mercado, fue muy lenta debido al alto precio de la fibra de carbono, que durante muchos años se ha mantenido entre 120.000 y 15.000 pta/kg, según calidades. El empleo de la fibra de carbono en, por ejemplo, la construcción civil, parecía una quimera por simple cuestión de precio.

El gran problema que hubo que resolver fue el de la adecuación de la superficie de las fibras de carbono

ya fabricadas y dispuestas a ser mezcladas con la matriz para formar las piezas en composite, de forma que tuviese lugar una sólida integración con el material de la matriz, constituida siempre por materiales tan dispares como los polímeros o las aleaciones metálicas.

Fue esto sin duda la más valiosa aportación científica a la Ciencia de los Materiales de finales del siglo XX. Se aprendió controlar la energía de superficie de las fibras, y a fijar sobre ellas, a voluntad, un amplio espectro de radicales o iones, que les dotaban de la reactividad química deseable para la fabricación de composites de calidad. Subproductos de estos avances fueron la posibilidad de preparación de catalizadores sobre fibras de carbono, y la consecución de las ACF (activated carbon fibres). Son éstas últimas unas fibras de absorción selectiva de gases o líquidos, gracias a las cuales pueden hacerse, por mencionar un caso muy típico, filtros con fieltros de fibras porosas a cuyo paso una corriente de hidrógeno impuro se ve limpio de impurezas tales como, por ejemplo, gas sulfídrico. En aplicaciones de este tipo las fibras han sobrepasado las prestaciones de los tradicionales de los carbones activos pulverulentos.

La reciente historia de estas fibras acaba de demostrar lo imprecisas que son siempre las adivinaciones de futuro en el campo de la tecnología de los materiales. En estos momentos, el gran mercado en expansión de estas fibras convencionales, es, precisamente, la construcción civil.

La iniciativa fue en este caso europea. Y se inició a partir de cuando un terremoto dejó a punto de ruina a un monumento tan emblemático como es la basílica de San Francisco de Asís, en Italia. Con mechas de fibra de carbono fue posible la estabilización del maltrecho edificio, ahorrándose una demolición y reconstrucción piedra a piedra.

La posibilidad quedó con ello demostrada, y en estos momentos es comercial la aplicación de refuerzos externos de fibra de carbono adosadas a vigas y pilastras de puente en una sola noche. Hoy hay ya fibras de carbono convencionales a unas 18 €/kg, y este segmento de mercado ha llegado a ser el más prometedor para este tipo de fibras.

Muy diferente fue la historia de las microfibras de carbono tipo VGCF, desarrolladas entre los laboratorios de la General Motors en los EE.UU., la Universidad de Orleáns en Francia y la Universidad de Shinshu en Japón, admitiendo dos ti-

pos diferentes de fabricación, sobre lecho fijo, y con semilla flotante. Ambos tipos tienen en común en generarse a partir de una mezcla de hidrocarburos gaseosos e hidrógeno, gracias a la acción catalizadora de minúsculas partículas de metales de transición (Fe, Ni, Co), que actúan de "semillas", ya que la reacción hidrocarburo→carbono+hidrógeno, se verifica solamente sobre cada partícula catalítica, sobre la que se forma un depósito carbonoso con una morfología de un microfilamento de estructura en planos cilíndricos concéntricos, similar a una cebolleta.

En el caso de fabricación con la técnica del lecho fijo, los catalizadores se colocan sobre una bandeja fija, que se ve sumergida en una corriente de hidrocarburo mezclado con hidrógeno, de forma que sobre la bandeja crecen microfibras a modo de césped, pues sobre cada microsemilla, se forma un microfilamento.

En el caso de semilla flotante, se dispone un reactor tubular vertical, por cuya cima se inyectan los catalizadores, y en cuyo interior existe una atmósfera de hidrocarburo e hidrógeno. Las semillas van cayendo al fondo del reactor, y durante el tránsito captan carbono dando lugar a un depósito con aspecto de harina negra, que al microscopio muestran ser una amasijo de microfibrillas de material carbonoso.

Las aplicaciones de estas fibras VGCF pueden ser en la ingeniería mecánica, pudiendo ser empleadas, por ejemplo, en el refuerzo de termoplásticos que alcanzan así una excelente capacidad como material antifricción. Tienen un diámetro de 1-3  $\mu\text{m}$ .

Pero más destacable que sus características mecánicas es su alta conductividad eléctrica, que puede incluso llegar a aventajar al mismo cobre. Por ello su campo de aplicación más destacado es la fabricación de plásticos antiestáticos, morteros cementícos para apantallamiento electromagnético de edificios y habitaciones, y aditivo del cemento para aminoración de su tendencia a facilitar la corrosión de insertos metálicos.

Las aplicaciones ya consolidadas hasta el momento son la fabricación de electrodos para pequeñas pilas recargables de litio ión, y la fabricación de supercapacitores o condensadores eléctricos de algunos faradios de capacidad.

Vamos, finalmente, a describir brevemente a la tercera de las familias, a los nanotubos o nanofibras.

Harry Kroto había descubierto, y ello le valió el premio Nobel de Química en 1996, a los llamados fullerenos. Son arquitecturas compuestas por decenas de átomos de carbono que constituyen una estructura poliédrica. Se fabrican haciendo saltar un arco eléctrico entre dos electrodos y soplando con argón en el arco, de forma que se expulsan de él a los agregados carbonosos que con corta vida existen en el plasma.

Si el arco se hace saltar entre dos electrodos impregnados de partículas catalizadoras como las usadas para generar VGCF, el producto es una mezcla de hollín semiamorfo muy fino, de fullerenos y de nanotubos de carbono. El método de fabricación fue desarrollado por Catherine Journet y Patrick Bernier en la universidad de Montpellier, Francia. Los nanotubos son un perfecto cilindro hueco formado por un único plano enrollado sobre sí mismo, y rematado en sus extremos por dos semiesferas, que equivalen a un fullereno. Fueron descubiertos en 1991 por Sumio Iijima del laboratorio NEC en Tsukuba, en Japón.

Los nanotubos que se ajustan a esta descripción reciben el nombre de "single walled nanotubes" y tienen un diámetro típico de 1,34 nm. Existen también tipos de nanotubos constituidos por una serie de tubos dentro de otros de mayor grosor, siendo conocidos como MWCN "multi-walled carbon nanotubes"

El proceso de fabricación admite múltiples variantes, como por ejemplo la ablación de un sustrato de grafito por efecto de un intenso impulso de radiación láser, y la fabricación por plasma. Consiste esto en someter a un sustrato sembrado de catalizadores, a una atmósfera de hidrógeno con algún hidrocarburo en el seno de un plasma frío. Se produce el crecimiento de los nanotubos de un modo similar a cuando describíamos anteriormente la formación de VGCF sobre sustrato fijo.

El problema de la fabricación de nanotubos es que el consumo energético de su proceso de fabricación es de tal importancia, que su precio es altísimo (entre 1000 y 2000 \$/kg). Además, gran parte del producto del reactor debe ser eliminado en posterior combustión, a fin de eliminar el contenido de hollín, con lo que la producción es reducida. No obstante, este tema del costo puede verse resuelto en breve, es más hay muy recientes publicaciones científicas de EE.UU. y de Inglaterra que hablan de recientes y definitivos éxitos en la puesta a punto de procesos para producción masiva de nanotubos.

Desde el punto de vista de la Ciencia de los Materiales, los nanotubos de carbono son la joya del siglo XXI por sus singulares propiedades electrónicas. Se previó teóricamente y se ha comprobado posteriormente, que con la sola variación de su diámetro, un nanotubo puede ser conductor tipo metálico balístico o semiconductor. Puede, incluso, presentar coeficiente de variación de la resistividad eléctrica negativo.

Ello hace que piezas de polímero con este tipo de refuerzo, sean "composites inteligentes" o "smart materials" o sea, un auténtico sensor toda la pieza. Sus deformaciones mecánicas se traducen en una brusca variación de la resistencia eléctrica.

Por otra parte, se trata del primer semiconductor conseguido sin adición de impurezas controladas, y por ello, de coste mucho menor. Existen en la literatura científica descripciones de diodos Schottky, de transistores y de transistores de efecto campo, fabricados con nanotubos. Su producción industrial depende sólo de la resolución de problemas como la realización en serie de los contactos eléctricos, que es justamente una de las asignaturas pendientes de la llamada nanotecnología.

Esto justifica que entre los que emplean sus esfuerzos en desarrollar la nueva microelectrónica del Siglo XXI, se acepte que entre los potenciales sucesores del silicio, el mejor colocado sea el nanotubo de carbono.

En otro segmento industrial, tan alejado de la electrónica, como es la utilización del hidrógeno como combustible para el transporte terrestre, también hay una posibilidad para los nanotubos, una posibilidad que supondría un consumo masivo, por cierto. Se trata de que los nanotubos parecen ser, una vez que su superficie ha sido tratada adecuadamente, un excelente medio para almacenar hidrógeno por absorción. El que esta posibilidad llegue a ser una producción depende de que puedan resolverse temas secundarios, pero imprescindibles, como es el poder evitar que las impurezas que siempre acompañan al hidrógeno de calidad industrial no vayan ocupando los poros destinados a recoger el hidrógeno, haciendo así inviable las sucesivas recargas de los depósitos.

Ni en sueños hubiera podido prever Thomas Alva Edison al poner a punto la fabricación de bombillas eléctricas, que lo que en realidad estaba haciendo era sentar las bases de la tecnología de los más interesantes materiales para el siglo que acaba de comenzar. ■

FRITTA VILA-REAL



FRITTA ONDA

F R I T T A  
D O B L E  
D I M E N S I O N  
C E R A M I C A

Siempre comprometidos con el desarrollo tecnológico para dar el mejor servicio, trabajamos por una cerámica que alcance día a día una nueva dimensión.

Ahora, con nuestras nuevas instalaciones en ONDA, hacemos un doble esfuerzo para que nuestros clientes adquieran la dimensión que por su capacidad y competitividad merecen.

*Fritta* 

MAS DIMENSION CERAMICA  
EN ESMALTE Y COLOR  
WWW.FRITTA.COM Tel. 964 520437 Fax 964 530709 VILA-REAL

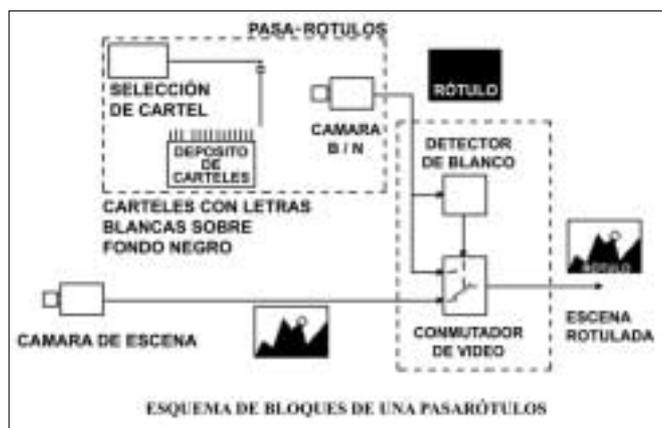
# AGILE: Un desarrollo español en la vanguardia del grafismo para TV en directo

**AUTOR:** DEMETRIO TOLA  
MSL-Diseño Digital  
Conde de Vilches, 16. 28028 Madrid. dtola@mssl.es

## INTRODUCCIÓN

En TV **rotular** significa, básicamente, *superponer un texto sobre las imágenes de vídeo*. Con esta acción se mejora la comunicación con el telespectador ya que la información audiovisual es complementada con *la escritura*. Prácticamente desde el principio además de letras se incluyeron otros elementos gráficos que mejoraban la legibilidad del texto y/o lo hacían más estético.

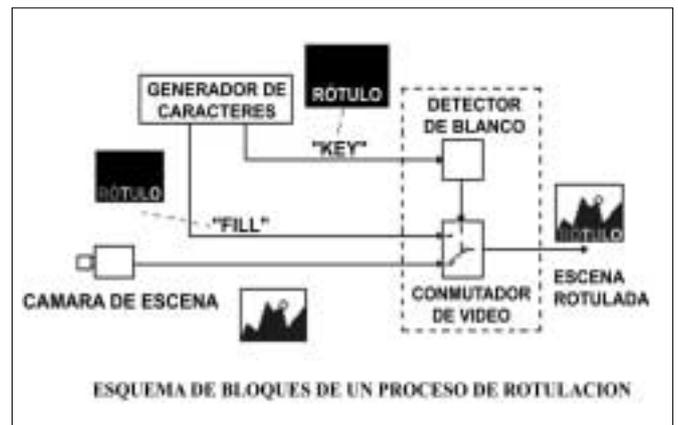
La rotulación nace con la misma televisión, utilizándose inicialmente técnicas de dibujo y pintura para crear **cartones** que eran colocados adecuadamente delante de la escena a rotular para que la cámara captase todo a la vez (imagen de fondo y rótulo -cartel- en primer plano). El proceso de rotulación experimenta su primera automatización en los años 60 con la aparición de los **Pasarótulos**. Estas máquinas basaban su funcionamiento en: una cámara de blanco y negro fija, un artificio electro-mecánico (que era capaz de seleccionar un cartel, entre los existentes en el depósito de carteles, y ponerlo delante de la cámara) y un conmutador de vídeo controlado por la luminancia de la cámara de B/N ("Keyer" de luminancia):



Con el desarrollo de la tecnología electrónica y de la TV en color fue posible: *rellenar de color las letras captadas en B/N* (se sustituye la entrada 2 del conmutador del vídeo por un generador electrónico de color), *añadir sombras a las letras* (para mejorar su legibilidad y estética) y *realizar rotulaciones más sofisticadas*, sustituyendo la cámara de B/N por una de color, controlando el conmutador de vídeo, mediante el color de la imagen de fondo.

Los primeros rótulos generados electrónicamente aparecen en la década de los 70 asociados al auge de la electróni-

ca digital. Estos **Tituladores** producían letras en base a retículas de pixels de baja resolución (ej. 9x7), con separación fija entre letras y generaban dos señales: **relleno de letra** (Fill) que se conectaba a la entrada 2 del conmutador de vídeo, y **"hay letra"** (Key) que controlaba el conmutador (no es preciso el discriminador de nivel de luminancia o de color que controlaba el conmutador de vídeo).



Durante la segunda parte de los 80 se desarrollan las técnicas de: *múltiples formas y tamaños de fuentes*, *antialias*, *interespaaciado proporcional entre caracteres* (kerning), y *transparencias* mediante las cuales se mejora la apariencia y legibilidad de los rótulos. Merece la pena resaltar el concepto de **antialias** que implementa la consideración de que un píxel de TV no tiene por qué contener información de fondo o de letra (función realizada por el conmutador) sino que puede contener un poco de la imagen de fondo y un poco de la letra (*píxeles frontera*). Es necesario pues sustituir el conmutador de vídeo por un circuito más complejo capaz de combinar la señal de fondo con la señal de primer plano (rótulo) en función de otra señal ("key") que define, para cada píxel, el porcentaje en que el píxel tiene información de rótulo (el resto será información de la señal de fondo). Esta combinación de señales se hace mediante :

Mezcla No Aditiva:

$$\text{Resultado} = \text{Fill} * \text{Key} + (1 - \text{Key}) * \text{Fondo}$$

Mezcla Aditiva:

$$\text{Resultado} = \text{Fill} * \text{Key} + (1 - \text{Key}) * \text{Fondo}$$

Este proceso se realiza independientemente para cada color elemental (R,V y A). El modo de mezcla depende de la forma en que se haya generado la señal de "Fill" en el Generador de Caracteres.

El aumento de capacidad de proceso y almacenamiento experimentado por los ordenadores en la última década ha potenciado las técnicas de síntesis de imágenes a partir de mo-

delos matemáticos de los objetos que en ellas aparecen y de la posición y características de las fuentes de luz de la escena. Estas técnicas se han aplicado también a la síntesis de rótulos, permitiendo la *generación de letras tridimensionales con posibilidad de dinamismo* (el tamaño, la posición, el color, etc., del rótulo puede cambiar a lo largo del tiempo). Es conveniente resaltar que el proceso que se llevaba a cabo implicaba la generación y almacenamiento, cuadro a cuadro, de todas las posibles imágenes del rótulo y su posterior reproducción en el momento de insertar el rótulo sobre la imagen de fondo (“Rendering” OFF-LINE). Aun hoy día es necesario la utilización de ordenadores de muy alta gama (tipo SGI Onyx con uno o más procesadores) para poder generar ONLINE (sin necesidad de almacenamiento intermedio) imágenes de buena calidad (calidad “broadcast”).

Las posibilidades de rotulación también se han visto aumentadas significativamente debido a gran capacidad de proceso y almacenamiento de los ordenadores, siendo posible: generar gráficos estadísticos, presentar animaciones cuadro a cuadro (“Cell animations”), etc.

En los últimos 3-4 años han aparecido las **técnicas de rotulación virtual**, mediante las cuales es posible generar rótulos con la misma perspectiva de la cámara que está captando la señal de fondo, de modo que el rótulo aparece ante el tele-espectador como si se hubiese pintado realmente sobre el fondo (rótulos virtuales).

## DINAMISMO Y LEGIBILIDAD

Hay formas dinámicas de presentar el contenido de los rótulos que se han utilizado desde hace mucho tiempo, básicamente: “roll” (movimiento de abajo arriba del texto), “crawl” (desplazamiento de derecha a izquierda de una línea de texto), presentación letra a letra (“reveal”): simula la aparición del texto como si se estuviera escribiendo en ese momento). Sólo durante los últimos tiempos se han utilizado formas más sofisticadas y complejas de presentación dinámica de rótulos, la mayor parte de las veces mediante técnicas OFF-LINE ya que es necesario ordenadores muy potentes. Sólo en contadas ocasiones se están realizando rotulaciones dinámicas complejas en televisión en directo.

La utilización de dinamismo innovador en la rotulación ha creado una cierta controversia ya que hay algunos realizadores de TV que consideran que los rótulos “manchan” sus imágenes, aceptándolos durante el menor tiempo posible como un mal menor ya que reconocen que son necesarios para completar el mensaje. Por otro lado hay una tendencia más progresiva que parte de que los rótulos son necesarios y que el dinamismo en ellos puede ayudar a:

- **Mejorar la legibilidad de los mismos:** el mensaje llega al usuario en la forma en que el creador del mensaje considera

adecuada, de modo que “fuerza” al espectador a leerlo en un determinado orden, cosa que no sucede así cuando toda la información se le presenta al mismo tiempo.

- **Aumentar el espectáculo:** un dinamismo adecuado puede hacer más entretenido el programa. No olvidemos que para las nuevas generaciones el dinamismo es algo natural en sus vidas (Generaciones Gameboy-Playstation) y consideran que el estilo estático es algo “rancio” y “casoso”.

Evidentemente el problema es saber emplear la proporción y el estilo de dinamismo adecuado en cada momento, problema no resuelto aún ya que la tecnología no ha permitido el uso de esta técnica en la TV en directo (la situación es diferente en los programas grabados ya que la información que presentan los rótulos es más limitada y la situación está controlada). Podríamos decir que la situación es parecida a la que se planteó cuando los generadores de caracteres (máquinas de rotular) superaron la limitación de tener un número muy limitado de fuentes (formas y tamaños de letras) y colores; en ese momento muchos grafistas abusaron de estas nuevas posibilidades y crearon mensajes “horrorosos”. Pues bien de la misma forma que hoy días no se concibe un rótulo sin “toques” de color, aunque esté ampliamente reconocido que los rótulos más legibles y elegantes son los de blanco y negro, en un futuro inmediato no se diseñará ningún rótulo sin un toque de dinamismo.

## POR QUÉ NACE AGILE

La compañía MSL ha desarrollado toda su actividad, desde 1986, en el ámbito de *Servicios de Computación para Eventos Deportivos*, y en este entorno la TV juega un papel muy importante. En 1996 creó un **grupo de trabajo para definir los requisitos que debería reunir el generador de rótulos del siguiente decenio**, recogiendo las inquietudes de algunos de los “broadcasters” más relevantes a los que estaba sirviendo rotulaciones (BBC, CBC, TVE, etc.) y siendo consciente de la importancia de la televisión en su actividad. Este grupo de trabajo exploró el mercado durante más de nueve meses y llegó a la conclusión de que **ninguna de las máquinas existentes en el mercado satisfacía sus requerimientos**. Ante esta situación y tras no conseguir que ninguna de las compañías fabricantes de este tipo de equipamiento diseñase una máquina que se acercase a la que se había identificado como la adecuada, **decide diseñarla con sus propios recursos**, ya que cuenta con profesionales con amplísima experiencia para abordar esta tarea (S. Marcos y D. Tola procedentes de PESA Electrónica, fabricante español de generadores de caracteres desde 1981, equipos empleados en el Mundial de Fútbol del 82 y en la Olimpiada de Barcelona. Además de haber conseguido cifras de ventas de más de 2000 unidades en el mercado Europeo). De esta forma surge el proyecto AGILE (*Animated Graphics Interface for Live Events*).

## REQUISITOS BÁSICOS DE DISEÑO

MSL estableció como requisitos básicos para el rotulador del siguiente decenio (AGILE) los siguientes:

- Presentación dinámica de mensajes. Tendrá que ser posible manipular en el espacio tridimensional cada elemento que compone el mensaje, pudiendo variar esta manipulación de un campo de TV a otro.

- Características de elementos a emplear en los mensajes. Los mensajes estarán compuestos por distintos tipos de elementos:

- *Texto.* Se emplearán fuentes del entorno general de computación (Truetype o Postscript, preferiblemente las primeras por economía y disponibilidad), a las que se aplicará un algoritmo propietario de antialias (redering) de alta precisión para conseguir la mejor calidad de texto posible. Este algoritmo contemplará los efectos más comunes que se aplican al texto: sombra, borde, borde con sombra, etc.

Otras consideraciones relacionadas con el manejo de la tipografía han sido: utilización de códigos unicode (para poder escribir en cualquier lenguaje), poder corregir errores de kerning de la fuente original, poder seleccionar el conjunto de caracteres con los que vamos a trabajar , etc.

- *Gráficos.* Se elegirá un formato raster del entorno PC que incluya información del canal Alfa (cada píxel contendrá información de su color - R,G, B - y de su opacidad - Alfa - ).

- *Animaciones de celdas.* Será posible el manejo dinámico de secuencias de ficheros gráficos, cada uno de ellos representa un fotograma de una secuencia de animación (tipo dibujos animados). Deseable que un formato dé salida natural de los programas que generan las animaciones y más aún si puede unificarse con el formato de gráficos normales.

- *Relojes.* La máquina gestionará autónomamente un reloj de tiempo real y varios timers con resolución de centésimas de segundo. El formato de las fuentes que se emplearán en estos relojes será totalmente configurable de la misma forma que el texto normal.

También se implementará un mecanismo para sincronizarse con relojes externos.

- *Formas de presentación clásica de los generadores de caracteres.* Tendrá que poder realizar todas las formas clásicas de presentación utilizadas por los generadores de caracteres (roll, crawl, reveal, etc.) pero además con precisión subpixel (el movimiento del objeto no tendrá que ser de un número entero de pixels).

- Plataforma de control Windows. En el rack de electrónica sólo se incluirá la circuitería directamente relacionada

con el manejo de vídeo, dejando el control del sistema en manos de un PC estándar. La comunicación entre ambos equipos se llevará a cabo a través de una red Ethernet. De esta forma es posible controlar una máquina desde cualquier PC que esté en red y posible beneficiarse de los rápidos progresos que se están produciendo continuamente en el mundo PC (los progresos en el mundo de *gráficos con salida profesional* evoluciona muchísimo más lentamente).

- Salidas simultáneas Digitales y Analógicas. Desde mediados de los 90 estamos viviendo una transición del mundo de la TV analógica a la TV digital y esta transición aún durará más de un quinquenio. Por tanto tendrá que ser posible la conexión de la máquina a cualquier equipamiento de TV cualquiera que sea su tecnología.

- Sistema de TV configurable por Software. Mediante una opción de configuración se determinará si la máquina trabajará en PAL / 625 líneas o en NTSC / 525 líneas ya que MSL da servicio en todo el mundo.

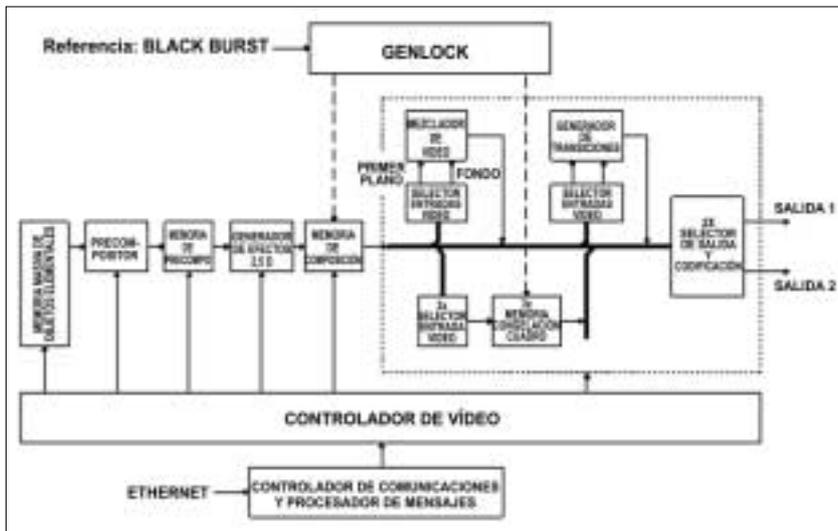
- Calidad "broadcast". La calidad de las señales generadas, estabilidad de funcionamiento y fiabilidad del equipo tienen que estar al nivel de exigencia de las televisiones más prestigiosas del mundo.

- Volumen y peso limitados. Hay que tratar de que el equipo pueda llevarse como equipaje de mano en un avión ya que frecuentemente los técnicos de MSL tiene que hacer una retransmisión de un partido único en un lugar remoto (por ejemplo en Rusia) y la mejor forma de garantizar el éxito de la operación es llevar el equipo en mano para evitar que éste se dañe debido al trato que sufren los equipajes en las bodegas de los aviones.

- Coste. Hay eventos en los que MSL está sirviendo más de 70 señales de TV casi simultáneamente, por tanto no es viable económicamente la utilización de tecnologías caras en sí mismas (como pudieran ser las basadas en ordenadores de uso científico por su alta capacidad de computación).

## ARQUITECTURA DE HARDWARE

La clave de diseño de la arquitectura de AGILE es la utilización de efectos 2,5D (efectos 3D aplicados a elementos 2D). Esta restricción se establece tras llegar a la conclusión de que la manipulación 3D exige una capacidad de proceso y movimiento de datos que, aún hoy día, no están al alcance más que de máquinas de alta gama (y fuera del objetivo económico del diseño). Además esta limitación no es especialmente importante con respecto al elemento principal de los mensajes (el texto) ya que éste es básicamente plano (2D). En consecuencia con lo anterior se diseñó una arquitectura donde cada entidad que se presente en pantalla será la manipulación en el espacio tridimensional de una ventana a un objeto bidimensional (*la ventana puede visualizar a todo el objeto, será posible variar el tamaño*



y la posición de la ventana de origen de un campo de TV a otro, puede haber más de una ventana a un mismo objeto, etc.).

La arquitectura de diseño de Agile está reflejada en el siguiente esquema de bloques:

■ **Memoria Masiva de Objetos Elementales.** Esta memoria contiene la información de cada objeto básico que puede aparecer en cualquier rótulo (cada letra de cada tipo de fuente y de cada tamaño, cada gráfico, cada celda de una secuencia de animación, etc.). Esta memoria se suele cargar antes de comenzar una sesión de rotulación, aunque también es posible almacenar nuevos elementos en ella entre un rótulo y otro. El tamaño normal suele ser de 196 MBytes, pudiendo llegarse a 768 MBytes. Se han utilizado módulos de memorias dinámicas de PC por razones económicas, lo que ha supuesto notables retos de diseño al tener que compatibilizar un flujo de salida de 66,92 MBytes/segundo (mientras se está precomponiendo un objeto) con el refresco de las mismas y la consideración de los diferentes tipos de objetos en ellas almacenados (objetos con información de 32 bits/píxel – Rojo, Verde, Azul y Alfa - y objeto con sólo 8 bits por píxel – las letras sólo llevan Alfa - ).

■ **Precompositor (Bit-Blitter).** Es una de las partes más complejas del diseño de AGILE. Tiene por misión **componer cada objeto elemental**, que toma de la *Memoria Masiva de Objetos Elementales*, sobre los objetos ya compuestos en la *Memoria de Precomposición*.

Para realizar esta tarea tiene que realizar, para cada píxel del rectángulo en que está enmarcado el nuevo objeto a componer, de las siguientes operaciones :

- Leer la información del píxel del objeto que se va a componer (1 lectura de 32 bits).
- Leer la información del píxel de la *Memoria de Precomposición* sobre el que se va a componer (1 lectura de 32 bits).
- Generar la información del píxel resultado de la composición (4 restas, 4 multiplicaciones y 4 sumas).
- Almacenar la información resultante en la *Memoria de Precomposición* (1 escritura de 32 bits).

Así pues para cada píxel se realizan aproximadamente el equivalente a **384 millones de operaciones por segundo** a escala de byte ya que este proceso trabaja a 16 MHz.

■ **Memoria de Precomposición.** Contiene los objetos compuestos por el Precompositor. Tiene una profundidad de 32 bits, una arquitectura XY (en esta memoria los objetos se componen de forma similar a como aparecen en pantalla, mientras que en la Memoria Masiva de Objetos Elementales la información está almacenada linealmente) y un tamaño dependiente del espacio que requieran los objetos que pueden aparecer en un rótulo (1K x 1K suele ser suficiente, aunque es posible trabajar con 2K x 2K).

Otras características que se van a resaltar son el tiempo de acceso (20 nS) y su estructura circular en sentido horizontal y vertical (después de leer el último píxel/línea se pasa al primero/a) para realizar fácilmente efectos de Crawl y Roll.

■ **Generador de Efectos 2,5D.** Éste es otro de los elementos clave de AGILE. Tiene como misión realizar la transformación en 3D de la *ventana 2D* a un objeto de la *Memoria de Precomposición* y componer el objeto resultante sobre los objetos ya compuestos en la *Memoria de Composición*.

Para realizar esta tarea tiene que realizar, para cada píxel del rectángulo resultante de la transformación en 3D de la *ventana 2D*, las siguientes operaciones :

- Leer la información del píxel de la *Memoria de Composición* sobre el que se va a componer (1 lectura de 32 bits).
- Hallar cual es la dirección, con decimales, del píxel teórico, en la Memoria de Precomposición, correspondientes al píxel de destino en la *Memoria de Composición* a partir de la trans-

formada inversa de la transformación 3D que se desea aplicar (30 sumas, 62 multiplicaciones; estas operaciones son de 24 bits).

- Leer los cuatro pixeles reales que rodean al píxel teórico (4 lecturas de 32 bits).
- Interpolar los cuatro pixeles reales leídos para hallar el píxel teórico (Interpolación bilineal: 14 sumas, 16 restas, 48 multiplicaciones).
- Generar la información del píxel resultado de la composición del píxel teórico sobre el píxel que existía en la *Memoria de Composición* (4 restas, 4 multiplicaciones y 4 sumas).
- Almacenar la información resultante en la *Memoria de Composición* (1 escritura de 32 bits).

Así pues para cada píxel se realizan aproximadamente el equivalente a  $6,464 * 10^9$  operaciones por segundo a escala de byte (reloj a 16 MHz).

■ **Memoria de Composición (MC).** Está formada por dos memorias de campo independientes, de modo que mientras se presenta la información de un campo (lectura de una de las dos memorias) se está generando la imagen que se va a mostrar en el campo siguiente (escribiendo en la otra memoria). Por supuesto que es posible detener el proceso anterior congelando una imagen completa. También es interesante resaltar que la operación de lectura puede ir seguida de una operación de escritura para que una vez mostrada la imagen de un campo el proceso de generación de una nueva imagen en esta memoria la encuentre ya borrada.

■ **Genlock.** Esta circuitería sirve para realizar la lectura de la memoria de campo activa y de las memorias de congelación de cuadro (que se describen a continuación) sincronamente con la señal de referencia, a fin de que las señales que generamos puedan mezclarse con otras fuentes de señal también síncronas con la señal de referencia.

■ **Memorias de Congelación de Cuadro (MCC).** En estas tres memorias puede congelarse la imagen que viene de la memoria de composición o la imagen resultado de componer la imagen de la memoria de composición sobre la imagen de fondo de cualquiera de las otras dos memorias. En general una de estas memorias se utiliza para congelar la imagen de fondo de cada mensaje y las otras dos para congelar la imagen final de cada mensaje dinámico, liberando así los recursos de generación de vídeo (desde la memoria de composición para atrás) para poder generar un nuevo mensaje.

■ **Procesador de salidas.** Este módulo realiza básicamente las siguientes funciones:

- *Mezclador de vídeo:* permite componer la imagen de una fuente de señal sobre la de otra fuente. Generalmente funciona

componiendo la imagen de MC, que actúa como primer plano, sobre la de MCC2, que actúa de fondo.

- *Generador de Transiciones:* este circuito tiene como misión realizar transiciones que permiten pasar de la imagen que hay en un canal a la que hay en el otro. Las transiciones pueden ser por fundido, por cortinas H y/o V o bajo el control de la señal alfa procedente de MC lo que permite generar cualquier tipo de transición dinámica. En general funciona teniendo conectada sus entradas de transición a MCC0 y MCC1 y su entrada de control al generador interno de cortinillas / fade o al canal alfa de MC.

• *Enrutamiento de entradas y salidas:* determina la señal que actúa como primer plano y como fondo en su mezclador de vídeo interno, las fuentes de entrada a cada una de las memorias de congelación de cuadro, las entradas a su generador de transiciones interno y la fuente que se enviará a cada salida. El enrutamiento es dinámico, variando a lo largo de cada mensaje, ejemplo cuando vamos a generar un mensaje para el canal 0 la situación inicial será tener MCC0 asignada al canal 0 y la MCC1 al canal 1, estando libre la MCC2 y el resto de recursos de generación de vídeo, entonces se comienza por generar la imagen de fondo del mensaje en la MC y se asigna a MCC2 la misión de congelar esa imagen de fondo. Después se conecta la salida del mezclador interno a la salida 0 y se reasigna MCC2 para que actúe de fondo del mezclador interno, actuando como primer plano la MC en la que se empiezan a componer las imágenes del primer plano del mensaje y se continúa así hasta que se llega al cuadro final del mensaje, momento en el que se reasigna MCC0 para que congele la salida del mezclador interno (último cuadro del mensaje) y se finaliza conectando MCC0 a la salida 0 (liberando de nuevo los recursos de generación de vídeo para que pueda componerse un nuevo mensaje, para este canal o para el otro).

También realiza otra serie de funciones como: conversión R,G,B a Y,U,V, normalización a valores del estándar de vídeo digital, filtrado, inserción de ventanas para composición parcial de mensajes entre canales (minimarcador permanente), etc.



## INNOVACIONES EN SOFTWARE

Si en el campo de HW la innovación fundamental gira entorno al generador de efectos 2.5D, que permite presentar mensajes con una notable calidad dinámica, en el software de control se ha innovado en el sentido de **conectividad a redes de datos** y **mapeo a funciones de datos**. Estas características permiten una adquisición ágil de los datos que se van a presentar y unas posibilidades muy flexibles para presentar los mismos.

La *conectividad a las redes de datos* se ha hecho teniendo en cuenta la *característica de tiempo real del sistema de TV y la respuesta no determinística de las redes de datos*, es decir, cuando el realizador de TV solicita un mensaje hay que dárselo en un tiempo "subsegundo", lo que significa que los datos que necesite un mensaje tienen que estar en nuestra máquina con un pequeño tiempo de antelación ya que no puede interrogarse a la red en ese momento. Por otra parte el tiempo de antelación tiene que ser lo menor posible a fin de que los datos que se presenten estén lo más actualizados posible. Este problema se ha solucionado en base a un proceso independiente que realiza la búsqueda de todos los datos necesarios para una sesión de mensajes en base a un sistema de "polling" con prioridades.

El *mapeo a funciones de datos*, quiere decir que la información para rellenar un campo de un "template" no proviene de un dato sino de una función o funciones al conjunto de datos. Esta característica, aparentemente elemental, no ha sido incorporada al software de los generadores de gráficos para TV siendo necesario un preproceso de los datos capturados para que los generadores de lo gráficos para TV puedan utilizarlos, con el inconveniente de que si se cambia el estilo de presentación hay que cambiar el preproceso. En caso de AGILE si queremos cambiar el estilo de presentación basta con diseñar el nuevo grafismo y utilizar las funciones adecuadas para el mapeo a los da-



tos.

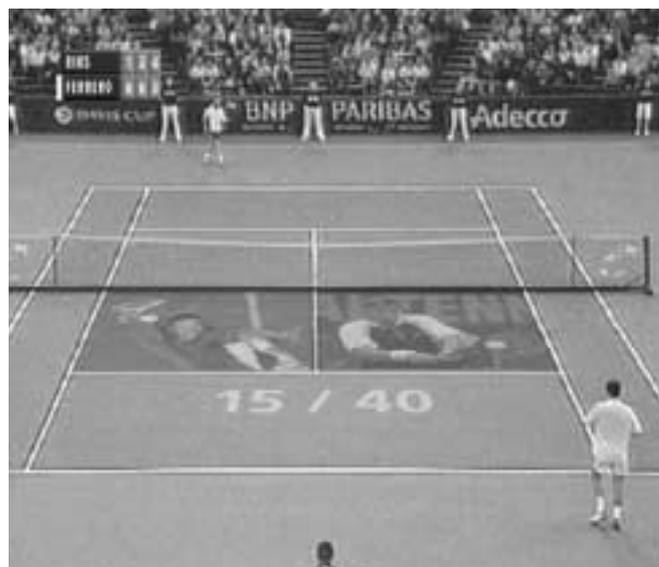
## ACTIVIDADES PASADAS,

## PRESENTES Y FUTURAS

El proyecto de diseño de esta máquina nace bajo el nombre de AGILE (*Animated Graphics Interface for Live Events*) y arran-

ca en febrero de 1997. En septiembre de 1998 se utilizan 25 unidades en los juegos de la Commonwealth (Kuala Lumpur). Desde entonces se ha utilizado en una gran cantidad de eventos cuya geografía va desde Sidney a Canadá y desde Sudáfrica a los Urales (Rusia), habiéndose conectado a más de 500 unidades móviles de TV diferentes, en distintos sistemas de TV (Pal, NTSC, SDI 625 y SDI 525) y trabajando para cubrir eventos de la importancia de: Olimpiada de Sidney (DDS), Juegos de la Commonwealth, Juegos Panamericanos, Euroliga, Campeonatos de Europa de Atletismo, Euroliga de Baloncesto, Campeonato de Tenis de Wimbledon, Campeonato del Mundo de Fútbol ... y por supuesto eventos en nuestro país (partidos de fútbol, de baloncesto, de balonmano, ciclismo, tenis ..., podemos decir que prácticamente todos los deportes televisados debido a nuestro trabajo para TVE, C+, Telemadrid, A3, Telecinco, etc.).

También se ha utilizado en otros entornos no deportivos (como rotulación de noticias, elecciones, concursos, tertulias, etc) y por parte de otras compañías distintas de MSL (IBM Tur- kía, Galanis Sports Data, LiveCom, Digisuite.



Actualmente el equipo de desarrollo de AGILE está trabajando en varios campos:

- Proyecto Olimpiada de Atenas 2004, en la que se utilizarán más de 70 máquinas en resolución normal y más de 10 en alta definición.
- AGILE de alta definición, que proporcionará salida digital en alta definición 1080i:50.
- Rotulación virtual, conexión a cámara sensorizada que permite la generación de gráficos con la misma perspectiva de la cámara para que parezcan que dichos gráficos están realmente sobre la imagen de fondo.
- AGILE de bajo costo. Este desarrollo permitirá expandir la filosofía de trabajo AGILE a las comunidades de usuarios de televisiones locales y pequeñas productoras. ■

# I Certamen "Arquímedes" de introducción a la generación de conocimiento, 2002

**AUTOR:** VÍCTOR FERNÁNDEZ MARTÍNEZ  
*Director Científico*  
Certamen "Arquímedes" organizado por la Dirección General de Universidades (MECD)

El Certamen está dirigido a los alumnos de segundo ciclo de Facultades y Escuelas Técnicas Superiores de Ingeniería y pretende fomentar la realización de trabajos de investigación entre aquellos estudiantes que están a punto de finalizar sus estudios universitarios y acometen la práctica científica como un complemento esencial de su formación académica o ya como los primeros pasos de su carrera investigadora.

En la convocatoria del año 2002 se han presentado en la Dirección General de Universidades del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, institución organizadora del Certamen, un total de 121 trabajos que han cumplido con los requisitos definidos en la convocatoria.

Dichos trabajos fueron evaluados por la Comisión de Selección del Certamen que contó con el asesoramiento de 30 evaluadores pertenecientes a distintas universidades españolas y centros del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, así como de los departamentos de I+D de las empresas patrocinadoras del Certamen (IBM España, S.A. y NEC-SO) que, a su vez, concedían premios de carácter específico y extraordinario.

Los trabajos presentados procedían de 34 universidades situadas en 15 comunidades autónomas. Por el número de trabajos presentados destaca en primer lugar Andalucía y más concretamente la Universidad de Granada, seguida por Madrid, Valencia, Cataluña, y Castilla y León. Este hecho podría estar indicando una distribución relativamente homogénea de la actividad investigadora del segundo ciclo de universidad. Lo mismo sugiere el hecho de que la lista de universidades presentadas y el número de trabajos coincide *grosso modo* con la lista de universidades españolas ordenadas por número de alumnos.

Con respecto a las áreas científicas cubiertas por los trabajos, resalta un relativo equilibrio en su distribución. Así, 18 proyectos trataron temas de física, química y matemáticas (14,9 %), 20 de biología, geología y medicina (16,5 %), 19 de ciencias sociales (15,7 %), 12 de ciencias humanas (9,9 %), 23 de ingeniería electrónica e informática (19 %), 19 de ingeniería electromecánica, civil y agrícola (15,75 %) y, por último, 10 de tecnología química y de los alimentos (8,3 %).

Para la fase final del Certamen, que se celebró en la sede de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo de Valen-

cia entre los días 10 y 13 de diciembre de 2002, se seleccionaron, de acuerdo con la convocatoria, 20 trabajos procedentes de 14 universidades que representan fielmente la proporción de los remitidos a la convocatoria.

En lo relativo a la distribución por áreas de conocimiento, la Comisión de Selección intentó compaginar los distintos baremos de evaluación de las diferentes áreas propiciando en lo posible un cierto reparto entre las mismas. No obstante, se observa que en los trabajos seleccionados hay un mayor volumen de proyectos procedentes de ingeniería electromecánica y civil (6 trabajos, 30 %) o informáticas (3 trabajos, 15 %), mientras que algunas áreas concretas han desaparecido. Tal es el caso de química, medicina, psicología, filología, filosofía, historia, ingeniería agrícola y de comunicaciones, tecnología de alimentos, entre otras.

Debido al pequeño tamaño de la muestra, cualquier conclusión parece prematura. Lo que sí es necesario destacar es la alta calidad de los trabajos seleccionados. Con todo, parece claro el mayor nivel de las investigaciones realizadas en las Escuelas Técnicas Superiores de Ingenieros, debido a la presencia de un proyecto de fin de carrera obligatorio y probablemente a la tradición en esta materia específica de segundo ciclo. La reciente institución de los trabajos de investigación en el segundo ciclo en las facultades comienza a ofrecer resultados patentes, por lo que la tendencia hacia la ingeniería puede compensarse en un futuro próximo. En el caso de las ciencias sociales y las humanidades, destaca un menor nivel que quizá sea explicable en el hecho de que en estas carreras se retrasa hasta el tercer ciclo el inicio de la formación investigadora. Desde otro punto de vista no menos importante, hay que indicar la presencia muy superior de hombres (24), frente a mujeres en el grupo de estudiantes cuyos trabajos han sido seleccionados.

El jurado del Certamen, presidido por el Secretario de Estado de Educación y Universidades Julio Iglesias de Ussel y al que pertenecen, entre otros, el Presidente del CSIC, el Director General de Universidades e investigadores como Santiago Grisolia, Antonio García-Bellido, Juan Pablo Fusi, Luis Oro, etc., ha mantenido la tendencia general de predominio técnico premiando los trabajos de ingeniería electromecánica y civil, destacan la enorme calidad de los trabajos y la dificultad que ha entrañado el fallo. El primer premio de esta primera edición del Certamen ha sido para el trabajo titulado Cálculo estricto de cotas superiores e inferiores para funcionales de soluciones de elementos finitos en elasticidad de grandes deformaciones, de Héctor Ciria Suárez, de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Barcelona. ■

# INGENIERÍA DE ALTO CONTENIDO TECNOLÓGICO

aeroespacial y vehículos - comunicaciones - civil - sistemas de actuación y control - energía y procesos - naval

www.sener.es

OHSAS  
18001:1999



**SENER**

Avd.Diagonal, 549  
08029 BARCELONA  
Tlfn. +34 932 283 300  
Fax. +34 932 283 316

Avda. Zugazarte, 56  
48930 LAS ARENAS (Vizcaya)  
Tlfn. +34 944 817 500  
Fax. +34 944 817 501

Severo Ochoa, 4 - PTM  
28760 TRES CANTOS (Madrid)  
Tlfn. +34 918 077 000  
Fax. +34 918 077 201

Luis Doreste Silva, 22 Bajo Local A  
35004 LAS PALMAS DE GRAN CANARIA  
Tlfn. +34 928 295 689  
Fax. +34 928 248 313

Avda. Blasco Ibáñez, 26  
46010 VALENCIA  
Tlfn. +34 963 394 290  
Fax. +34 963 394 300



## 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)