



Engineering for a Better World

FOSTER WHEELER ENERGIA, S.A.



ENGINEERING EXPERTISE

- ◆ Feasibility Studies
- ◆ Project Development (Permitting, Regulatory etc.)
- ◆ Basic and Detail Design
- ◆ Procurement, Expediting & Inspection
- ◆ Project Control & Estimating
- ◆ Construction & Construction Supervision
- ◆ Commissioning & Start-up
- ◆ Personnel Training
- ◆ Plant Operations/Supervision

STEAM GENERATORS (Boiler Islands) for:

- ◆ Power Plants
- ◆ Pulverized Coal (PC)
- ◆ Fluidized Bed Technology (CFB/BFB)
- ◆ Industrial Applications (PG, O/G, ...)
- ◆ Gas Turbine Heat Recovery (HRSGs)
- ◆ Waste to Energy (CFB)

SERVICE BUSINESS

- ◆ Spare Parts
- ◆ Power Plant Optimization
- ◆ Retrofits
- ◆ Technical Advisory Services
- ◆ Plant O&M

FOSTER WHEELER ENERGIA, S.A.

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

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

www.fwc.com

Acta Científica y Tecnológica

REVISTA DE LA
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA
DE CIENTÍFICOS

Nº 8

AÑO 2004

EDITORIAL

El triunfo electoral del PSOE y su próximo acceso al Gobierno de la nación impone una reflexión sobre su programa en materia de I+D. Quizá sea una reflexión demasiado apresurada, habida cuenta de que, tras el triunfo electoral, algún extremo, precisamente el referido a la Tecnología, parece haber cambiado de ubicación ministerial mientras se ajusta el nuevo Gobierno. En general, podemos decir que el programa de I+D del PSOE (*) es una acertada reflexión teórica sobre lo que habría que hacer y conseguir en España a este respecto. Pero junto a los *desiderata* inevitables en un programa electoral, es decir, junto a los inevitables brindis al Sol, hay un conjunto de medidas concretas con potencialidad suficiente para encauzar debidamente el sistema Ciencia-Tecnología español. Hay algunos puntos que requieren más concreción y explicación para que sepamos a dónde quieren llegar, y sería deseable que el próximo Gobierno los aclarara, habida cuenta de la anterior experiencia socialista y de algunos tics de familia característicos de este Partido.

Acertadísimo nos parece que el punto primero del modelo del PSOE sea la financiación. Llevamos años y años reuniéndonos en mesas, jornadas, semanas de estudio tratando de descubrir la piedra filosofal que organice y definitivamente arregle el problema de nuestra Ciencia, como si fuera una cuestión heurística o de discernimiento en la que no acabamos de encontrar la fórmula acertada. Cierto que nunca están las cosas tan mal que no puedan empeorar, o lo que es lo mismo, puede haber usos mejores o peores de los recursos con que se cuenta, pero el problema fundamental de nuestra Ciencia es el tamaño del sistema y la insuficiencia de recursos. Ninguna fórmula será válida si no se redimensiona la financiación del sistema en términos que permitan una plantilla triple que la actual y mucho mejor provista de medios.

Por cierto, y a propósito de la triplicación de la plantilla, conviene advertir que nos referimos a verdaderos "investigadores" públicos, porque es manifiestamente desinformador y perverso acogerse a un concepto de "investigador" que incluye a todos los docentes universitarios y doctores, cifrando así la plantilla de investigadores públicos en el fantástico guarismo de 150.000. La plantilla real de científicos profesionales de la investigación, incluyendo a los docentes universitarios con apreciable dimensión

investigadora, es inmensamente menor. El CSIC cuenta con algo más de 2.000 científicos, frente a los 17.300 del CNRS francés.

El aumento presupuestario que se anuncia de un 25 % anual de fondos de investigación (o sea, una duplicación en cuatro años) resulta razonablemente decoroso referido a la actual plantilla investigadora, pero no se cuantifican cadencias de crecimiento de plantilla en la "creación sostenida de plazas de investigadores, tecnólogos y personal de apoyo en los OPIS y Universidades ..." del que se habla en el epígrafe 3 titulado "Recursos humanos: Una apuesta decidida". Quisiéramos ver mayor y más concreta decisión en esta apuesta, aunque sólo sirviera para que los postdoctorales - algunos los cifran en casi 20000 y muchísimos de ellos con solvente ejecutoria - que aspiran a un puesto profesional como científicos supieran a qué atenerse. En los que cursan licenciaturas ya ha corrido la voz de que no hay porvenir en la investigación, hasta el punto de que en carreras fundamentales no llega a cubrirse la oferta de becas predoctorales. Este es un vacío importante en el programa del PSOE.

La segunda medida que se anuncia es la creación del Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología, y la consiguiente desaparición del Ministerio de Ciencia y Tecnología. A su tiempo saludamos con cierta esperanza la creación de este último Ministerio, en un contexto en que Aznar anunciaba un impulso presupuestario decisivo a la actividad investigadora. Tal Ministerio existe en países avanzados, y el que la Ciencia y la Tecnología tuvieran cartera propia en el Consejo de Ministros no dejaba de suponer un realce y una especial atención hacia estas actividades. Ahora se nos propone una vuelta al Ministerio de Educación y Ciencia, y en realidad, poco o nada tenemos que objetar. Con la excepción del último Ministro de I+D y de su Secretario de Estado, los anteriores responsables ministeriales han tenido una penosa ejecutoria, y la próxima desaparición de este Departamento hace que nos quedemos sin saber a ciencia cierta cuáles habrían sido sus posibilidades objetivas..

Por otra parte, el anterior Ministerio de Educación y Ciencia resultaba muy congruente para muchos por cuanto tenía dentro de una misma área administrativa a los investigadores del CSIC y a los catedráticos universitarios, es decir, a dos clases de pro-

(*) Elecciones Generales 2004, PSOE, "hablamos de ... investigación e innovación".

fesionales abogados a una interesante colaboración desde una formación común y unas capacidades intercambiables. Muchos tendrán, pues, la impresión de que vuelven al lugar de donde nunca debieron haber salido.

Pero uno de los propósitos de esta recomposición del antiguo Ministerio es "incorporar administrativamente las Universidades al mismo". ¿Qué puede significar esto en la actual situación en la que las Universidades, con la sola excepción de la UNED, están transferidas a las Autonomías? ¿Volverán los OPIS también a sus ministerios de origen? El nuevo título ministerial nos suena bien y hasta levanta añoranzas, pero no resulta fácil entender qué pueda significar.

Especial importancia tiene el anuncio de una Agencia de Financiación de la Investigación "que incorpore la flexibilidad y la agilidad de gestión del sector privado..." La Agencia Nacional de Evaluación y Prospectiva (ANEP) pasará a formar parte de la Agencia de Financiación. El conjunto de las dos agencias parece sugerir que serán ellas las gestoras de la financiación y evaluación de los proyectos del Plan Nacional. "La flexibilidad y agilidad de gestión del sector privado" ¿significa algo más que una especial cualificación y viveza del personal que desempeñe esas funciones? O dicho en otras palabras, la Agencia de Financiación ¿tendrá una doble dimensión, pública y privada, a la manera del Banco de España, que le permita sustraerse a la Ley de Procedimiento Administrativo y utilizar fondos como una empresa privada? ¿Podrá responder a la inmediata a requerimientos de acciones especiales sin tener que esperar a lejanas convocatorias?

La creación de una Agencia de Financiación parece sugerir también que el Plan Nacional y la financiación por proyectos no van a ser el único y exclusivo reducto que maneje fondos de investigación. Para ese viaje no se necesitaría esta otra alforja.

Quizá el seguir leyendo el programa nos aclare esta incógnita. Porque el último punto del epígrafe 3 del Programa del PSOE dice: "Adoptaremos medidas organizativas y estructurales que permitan el aumento de la autonomía y flexibilidad de la gestión administrativa, presupuestaria y de personal al servicio de los Organismos Públicos de Investigación (OPIS), singularmente el CSIC, y la definición de sus líneas de actuación". Esta mayor "autonomía y flexibilidad" para la "definición de sus líneas de actuación" ¿se refiere a la posibilidad de una programación y financiación de I+D propias de tales Organismos y singularmente del CSIC?

Cabría pensar en una financiación científica ordinaria y por vía presupuestaria que garantizara la vida de los centros, pero esto siempre ha sido inasumible por el PSOE. Precisamente para evitar eso, entre otras razones, articuló el Plan Nacional como un sistema de control del gasto y de garantizar su eficacia mediante un régimen de prioridades y de acceso a los fondos por proyectos en concurrencia competitiva. Ahora bien, si la creación de la Agencia de Financiación pretende abrir el sistema - como sería de desear y parece indicarse - ¿no podría pensarse en pactar fondos tria-

nuales con Organismos y centros de investigación para que desarrollaran sus trabajos propios, sin perjuicio de que al concluir ese plazo se sometiera a la ANEP la evaluación de los resultados?

El punto 4 del programa electoral se titula "Plan Nacional: un instrumento mejorable". En él se anuncia, y nos alegramos de ello, el rescate del Programa de Promoción General del Conocimiento. Buena falta hacía, después de unos años en los que sólo parecía contar la Tecnología y la Innovación para aumentos inmediatos de renta y puestos de trabajo. Se reforzarán las acciones estratégicas, los grupos consolidados y los grupos jóvenes emergentes. Todo esto es razonable, eficaz, y progresivo, pero el recuerdo de tiempos pasados nos remite a los tics de la familia socialista a los que antes nos referíamos. Ciertamente se habla de la intervención de paneles nacionales e internacionales para garantizar estas preferencias, pero tales cautelas no son suficientes frente al tirón de las simpatías ideológicas y los rótulos de progresismo a cuyo ensalmo se han formado entre los científicos grupos de presión privilegiados. Se crearon con tal fuerza durante la etapa socialista que han pervivido incluso durante los años de Gobierno del Partido Popular. Nos parecen bien estas preferencias, sí, pero...

No podemos comentarlo todo, pero hay dos temas fundamentales que no podemos dejar sin señalar: el mundo tecnológico empresarial y la relación con las Autonomías.

Las variadas medidas de interacción entre el sistema científico y el mundo empresarial nos parecen acertadas y estaban ya esbozadas. Pero se van a plantear situaciones profesionales intermedias entre lo público y lo privado que requerirían un mayor dibujo institucional y profesional de la figura del investigador. Se habla en el programa de un Estatuto específico para todo el personal de la investigación pública, ¿pero no sería conveniente incluir también al investigador privado articulando una profesión de investigador definida en sus fines, atribuciones y derechos, especialmente en los derechos de invención?

El tema de la investigación en las Autonomías se había enrarecido lo suficiente como para justificar la creación de una Conferencia Sectorial de Ciencia y Tecnología con las Comunidades Autónomas que propone el programa del PSOE. Un acierto y una respuesta necesaria aunque no exenta de dificultades precisamente en una época en que se cuestiona el sentido y alcance del hecho autonómico. El sentido común y la necesidad de conseguir un lugar al Sol entre las naciones científicamente avanzadas, impone aunar esfuerzos para comparecer ante el mundo con una ciencia nacional. Por otra parte, las Autonomías cuentan con derechos reconocidos y legislación propia en materia de I+D. Es apremiante dilucidar una coordinación entre ambos intereses y es muy oportuna la creación de esta Conferencia.

En conclusión: creemos que el Partido Socialista ha hecho con su programa una, en general, acertada reflexión sobre la Ciencia y la Tecnología, especialmente si las aclaraciones que quedan pendientes tienen una resolución en el sentido que hemos esbozado. ■



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

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: Alfonso Bonilla, Antonio Cortés, 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

Correo electrónico: aecientificos@aecientificos.es

INDICE

La planificación de la investigación científica a la luz de una cierta idea de España. JESÚS MARTÍN TEJEDOR	5	Línea 9 del Metro de Barcelona. ÁNGEL ARES	18
Cooperación versus comercialización. Una cuestión de transferencia de tecnología. JOSÉ MARÍA GUIJARRO Y JORGE	11	Más allá del último teorema de Fermat. ISMAEL JIMÉNEZ CALVO	22
Confederación de Sociedades Científicas de España: una apuesta por la vertebración de la Ciencia. MANUEL DE LEÓN	13	Valores de calidad en la agricultura mediterránea. A. GARCÍA-ÁLVAREZ, J. LÓPEZ-PÉREZ, A. BELLO, M. ARIAS	26
Los nuevos cohetes. Innovación y tendencias en Propulsión espacial. JESÚS MARCOS	14	Trasplantes hoy y mañana. RAFAEL MATESANZ	30
		Biomateriales para sustitución y reparación de tejidos. MARÍA VALLET REGÍ	39

SEGUNDA PARTE

La planificación de la investigación científica a la luz de una cierta idea de España

AUTOR: JESÚS MARTÍN TEJEDOR

Primera Parte (en Acta Científica y Tecnológica nº 7)

1. La indefinición de España
2. Identidad cultural y proyecto colectivo
3. Identidad cultural y prestigio
4. Actuaciones para la recuperación de la identidad cultural nacional
 - 4.1. La escuela clásica del Derecho de Gentes
 - 4.2. La investigación musical
 - 4.3. La cultura judía
 - 4.4. El arabismo
 - 4.5. Dos consideraciones importantes

Segunda Parte

5. Las ciencias empíricas: las predeterminaciones naturales
 - 5.1. Astrofísica
 - 5.2. Acuicultura
 - 5.3. El reordenamiento de la meseta y de la submeseta
 - 5.4. El urbanismo costero mediterráneo
 - 5.5. La desertización
 - 5.6. Nuevas energías
 - 5.7. Agua
6. Las Ciencias empíricas: las opciones libres
7. Consideración final

5. LAS CIENCIAS EMPÍRICAS

LAS PREDETERMINACIONES NATURALES

Una planificación de la investigación científica nacional ha de tener en cuenta, en primer lugar, aquellos temas que no son optativos, por tratarse de necesidades a las que el país debe subvenir, o de recursos preexistentes que permiten una explotación ventajosa.

5.1. Astrofísica

Tal es el caso, respecto a esto último, de la Astrofísica. En principio podría pensarse que la Astrofísica era una dedicación más propia de países proyectados hacia la aventura espacial y excesivamente lujosa para un país como España. Sin embargo, la circunstancia peculiar de que en el territorio español esté situado uno de los tres espacios óptimos en el mundo para la observación espacial, compromete a España ante la comunidad científica mundial para llevar a cabo un **gran proyecto** de Astrofísica. Esto ya es sabido. Existe ese gran proyecto participado crecientemente por otras potencias científicas que hacen de España un referente mundial en Astrofísica.

Si mencionamos nuestro **gran proyecto** en Astrofísica es por dos razones. La primera es porque sirve de ejemplo para mostrar a qué nos referimos cuando hablamos de las **predeterminaciones naturales**. La segunda razón es para recordar que el gran proyecto astrofísico de Canarias no se debe a una decisión consciente y calculada del Estado español, previamente debatida en el seno de la comunidad científica española,

sino a la iniciativa y valía de un solo investigador español, Francisco Sánchez. Como casi todos los grandes proyectos, sus finalidades y sus posibilidades de aprovechamiento son sumamente variadas, de manera que en torno a la actividad astronómica se puede producir un fenómeno de enracimamiento de investigaciones colaterales de gran importancia para los investigadores de otras disciplinas. La creación de *software* propio para procesar los resultados de las observaciones es riquísima, así como los nuevos hallazgos físicos en torno a la materia, a la luz, etc. Es decir, otras disciplinas diferentes de la Astrofísica son parte interesada en ese gran proyecto que hubiera debido modularse también en función de aquellas. Pero no se ha hecho tal cosa, porque en España **no existe un proyecto nacional de investigación científica, ni una comunidad científica formal capaz de formularlo**. Hoy en día parece algo obvio y elemental que España sea la gran potencia en Astrofísica, pero nada de eso existiría sin la acción personal y, por tanto, contingente de Francisco Sánchez, que ha hecho las cosas a su manera.

5.2. Acuicultura

Un simple golpe de vista al mapa de España pone de manifiesto que somos un país costero en grado sumo. Se sabe que los españoles somos los grandes comedores de pescado en Europa. Y con frecuencia oímos hablar de las dificultades de nuestra flota pesquera por trabas para el uso de caladeros en otras aguas, o simplemente por el creciente agotamiento de las especies marinas. Se impone una reconversión del sector. Entre los centros de investigación del CSIC hay varios dedicados a pesqueras (en Cataluña y Levante, en Cádiz y en Galicia) y por cierto de ejecutoria bastante valiosa. En Galicia hay una empresa que produce el 50% del rodaballo del mundo. Es un sector que está funcionando con éxito, pero carece todavía de la debida investigación y tiene que ventilárselas como puede, o recurriendo a tecnología o asesoría noruega. En todo caso el sector es susceptible de un importantísimo desarrollo.

5.3. El reordenamiento de la meseta y de la submeseta

Es un hecho preocupante el despoblamiento progresivo de Castilla y León. La provincia de Zamora perdió el año pasado 12.000 habitantes. La subida de los jornales de los trabajadores agrarios, desde hace más de treinta años, ha ido convirtiendo en cultivos no rentables buena parte de sus tierras. En el antiguo centro de Edafología del CSIC, hoy llamado Centro de Estudios Medioambientales, se han hecho muchos trabajos sobre el suelo castellano y su flora. En la actualidad hay en el centro más de 50 doctores-investigadores en situación de

infrautilización cuyo historial científico, en muy buena parte, está relacionado con el suelo de la meseta. Hace casi 20 años, un vicepresidente del CSIC, biólogo y en plena eclosión de la Biotecnología, metió en vía muerta a este instituto que todavía no ha levantado cabeza. Hicieron trabajos importantes sobre las **rañas** de la meseta y de la submeseta. (Rañas son terrenos pedregosos y ruines formados por deslizamientos de tierras más altas). Los datos alumbrados son apabullantes. Desde Guadalajara hasta el Algarbe, siguiendo una franja de este a oeste, hay la friolera de un millón de hectáreas de rañas. En las provincias de Palencia y León hay de 100.000 a 200.000 hectáreas de rañas.

Son terrenos de difícil o nulo aprovechamiento agrícola, pero susceptibles de ser acondicionados para una importante explotación de turismo cinegético y cultural. Hay varias leguminosas muy nutritivas, como la retama, el *cytisis* y el *spartium junceum*, de rápido crecimiento (tres años), que podrían poblar en poco tiempo esos territorios. Y en ellos podría proliferar la caza, incluida la caza mayor. Habría que construir alojamientos de alto nivel, a ser posible utilizando edificios o restos de edificios históricos, cuya existencia de alto standing recalificaría la zona a efectos residenciales y de descanso. Sin contar el personal asalariado de las cacerías o el de la hostelería, el cuidado del suelo para la reposición de nutrientes, combatir plagas, etc. etc. ocuparía a un número importante de trabajadores. También podrían desarrollarse actividades docentes para escolares en rutas guiadas para la demostración e identificación de aves y otros animales.

Además del turismo cinegético, las rañas son terreno apropiado para la producción de plantas aromáticas (perfumería, etc.) y para especies con características fitoterapéuticas de aplicación a la farmacopea, como productos fitosanitarios o veterinarios ante la próxima restricción de los antibióticos de uso veterinario. También serían útiles como aditivos naturales en alimentos, lo que se ha venido en llamar la Química Verde. Incluso gracias a la Etnobotánica podemos volver a descubrir alimentos que la industrialización relegó, pero sus sabores y aromas han estado durante siglos presentes en España. Nuestro país, por variado, cuenta con mucha mayor biodiversidad que el resto de nuestros vecinos del norte, sólo Granada o Canarias les superan con mucho en cuanto a número de especies endémicas. No hay más que visitar el proyecto Anthos (<http://www.programanthos.org>) liderado por el Real Jardín Botánico del CSIC para darse cuenta de ello. Fijémonos en el ejemplo de Inbio de Costa Rica, cuyos beneficios por patentes, con base en su biodiversidad se aproximan a los obtenidos por sus mayores exportaciones agrícolas.

5.4. El urbanismo costero mediterráneo

Según previsiones fundadas, el litoral mediterráneo está en camino de convertirse en una megalópolis desde Llansá y Port de la Selva hasta Algeciras, casi sin solución de continuidad. Todo este crecimiento sucede por el impulso de la iniciativa

privada que aprovecha el interés de los europeos de la tercera edad (o con horizontes más o menos próximos a la tercera edad) de disfrutar en su edad dorada del clima mediterráneo. Como es obvio, los empresarios compran terrenos, construyen sus urbanizaciones bajo las prescripciones ocasionales de los ayuntamientos, venden, y pasan a la siguiente actuación. Pero toda esta aglomeración informe no llega a definir un tipo de vida rico e integrado que llene de sentido y jugo existencial las vidas de estos nuevos habitantes, más allá de lo que pudiéramos llamar "la cultura del lagarto", es decir, de llenar su cuerpo de Sol.

Un ordenamiento urbanístico-cultural de esos espacios y una integración de esas gentes dentro de nuestra nación daría a España mayor atractivo; convertiría esa amplia zona en foco de convivencia internacional y de penetración sociológica en Europa - España es, hoy en día, mucho más conocida y referenciada en Europa a consecuencia del turismo de verano - ; desarrollaría el turismo selectivo y los grandes centros hoteleros a la manera de Suiza, Austria o la Costa Azul con un aumento sensible en la entrada de divisas; propiciaría la ubicación en la zona de empresas de servicios internacionales (buena parte de la pujanza económica de California y grandísima parte de la de Florida se debe a la busca de los llamados "amenity resources" por parte del mundo empresarial que prefiere trabajar y vivir en un medio agradable); y daría a España una presencia en el mundo "a lo grande".

Cuando hablamos de **definir un urbanismo** entendemos el término en su sentido más profundo: **definir un tipo de vida**. La persona que decida venir a la España mediterránea, ya sea para pasar la última etapa de su vida o simplemente por la búsqueda de un habitat más placentero, debe tener alguna perspectiva mucho más amplia que librarse de las inclemencias del tiempo o vegetar al Sol. La vida humana, hasta el último suspiro de la existencia, debe ser un crecimiento, un enriquecimiento, una experiencia de nuevas vivencias.

¿Qué pueden querer, aun sin saberlo o tener conciencia de ello, las mujeres y los hombres que decidan trasladarse a la España mediterránea? He ahí la gran tarea de los urbanistas, que deberán ser asistidos por sociólogos que hagan trabajo de campo en los países emisores. ¿Cuántos querrían tener un cierto terreno donde cultivar un jardín y unas hortalizas y cuidar unos frutales? ¿Cuántos querrían aprender el español y tener lugares de encuentro y convivencia? ¿Cuántos saben tocar un instrumento musical (caso muy frecuente en Europa) y querrían integrar una orquesta más o menos modesta? ¿A cuántos interesaría probar la suerte con los pinceles y acudir a un taller-escuela de pintura? ¿A cuántos interesaría el galelismo? ¿Cuántos querrían disponer de bibliotecas? ¿Cuántos querrían recibir clases de gimnasia y disfrutar de gimnasios bien equipados? ¿Cuántos querrían hacer senderismo y excursiones cortas de turismo cultural? ¿Cuántos querrían prac-

ticar la vela y tener próximas instalaciones portuarias?... Todos esos elementos y variables deben ser tenidos en cuenta por los urbanistas y arquitectos para definir un tipo de vida y diseñar unos habitats adecuados, según las características de cada espacio o territorio. Ya hemos dicho que el urbanismo español demostró su genio creador en las ciudades del Nuevo Continente.

5.5. Desertización y desertificación

El Convenio Internacional, para combatir la desertización entró en vigor en diciembre de 1996. Según los informes de Naciones Unidas, España es el país europeo con más zonas en peligro de desertización. El 26 % de los suelos españoles sufren erosión grave (pérdida de 100 toneladas de suelo por hectárea y año). El 27 % sufre erosión notable (de 50 a 100 toneladas de pérdida). En total el 53 % del suelo español padece una pérdida de suelo alarmante. Murcia, Almería y Granada son las mayores perdedoras de suelo.

Según el Convenio, España adquirió unos compromisos para combatir la desertización y más concretamente la definición y puesta en marcha de un Plan de Acción Nacional. Existe en Valencia un centro mixto (Generalitat, Universidad y CSIC) titulado Centro de Investigaciones sobre Desertización. En Almería el CSIC tiene la Estación Experimental de Zonas Áridas, que lleva una vida relativamente pujante. Tiene 13 investigadores, 5 ayudantes, 19 contratados laborales y becarios. Son bien tratados por el Estado español y reciben ayudas de los programas europeos con amplitud. Tiene al frente a un investigador competente, Juan Puig de Fábregas. Es preciso seguir abiertos a sus requerimientos, pero sería conveniente plantear un crecimiento, dada la magnitud del problema que tratan, y la falta de investigación en otras zonas con fuerte peligro de desertización. Pero al problema general de la falta de medios se une el hecho que no se están realizando los suficientes estudios sobre medidas paliativas y preventivas que si no se acometen pronto no se evitará un sustancial deterioro de nuestro medio ambiente.

5.6. Nuevas energías

Nuestra dependencia energética del exterior y nuestro clima soleado debe impulsarnos a seguir avanzando en la energía solar. Actualmente producimos paneles solares de excepcional eficiencia y pertenecemos a la cabeza de la investigación en esta materia. Señalemos la Plataforma Solar de Almería, que es el Centro Europeo de Ensayos de Energía Solar, pertenece al CIEMAT y es el mayor centro de investigación, desarrollo y ensayos de Europa dedicado a las tecnologías solares de concentración. Baste con indicar la importancia del sector y tenerlo en cuenta para propiciar su desarrollo.

En energía eólica también somos punteros en interacción con Dinamarca, siendo de especial interés nuestra modelización de aspas para los grupos motores. De nuevo instamos a que se tenga en cuenta el dato para propiciar las ayudas que pueda solicitar el sector.

En relación con las nuevas energías tenemos una investigación puntera en el tema de los bioalcoholes donde se producen excelentes aditivos para carburantes y se aspira a sustituir a las gasolinas y gasóleos, pero no se pueden encuadrar estas investigaciones entre las que obedecen a **predeterminaciones naturales**, porque la flora española no puede producir biomasa suficiente para sustituir a los actuales carburantes de automoción.

5.7. Agua

Nuestras actuales deficiencias en agua van a ir en aumento. El crecimiento poblacional del Mediterráneo no se podrá mantener, si no solucionamos el consumo de agua, tanto agrícola, como industrial o doméstico. En Canarias el problema es tan acuciante que va a imponer limitaciones al desarrollo del sector turístico. El CSIC tuvo un Centro de Investigaciones del Agua, pero su personal sufrió una diáspora integrándose en centros de Recursos Naturales, pero también de otras áreas como tecnología de alimentos. Es vital avanzar en la Ciencia y la Tecnología del agua.

6. LAS CIENCIAS EMPÍRICAS:

LAS OPCIONES LIBRES

Los conceptos que inspiraron la creación de los Planes Nacionales de Investigación Científica y Tecnológica como coronamiento práctico de la Ley de Fomento y Coordinación de la Investigación Científica y Tecnológica fueron fundamentalmente dos:

1. **La responsabilidad ética** por el uso de los fondos presupuestarios y la evitación de abusos, desidias, malas aplicaciones y desviaciones en la utilización de los mismos. Se entendió que el dinero debía dispensarse solamente para aquellas iniciativas científicas que, convenientemente sometidas a los controles y análisis de las oficinas estatales, ofrecieran las debidas garantías de relevancia temática y de excelencia de los científicos aspirantes a financiación pública.

2. **La limitación de los recursos presupuestarios** y consiguientemente la necesidad de **priorizar** aquellas propuestas de proyecto científico que ofrecieran el mayor horizonte de resultados científicos, tecnológicos y de aumento de renta.

Respecto a la preocupación ética nada hay que objetar, y toda cautela es poca, aunque la experiencia ha revelado que las altas oficinas estatales no han sido el instrumento más adecuado para garantizar el mejor uso de los fondos. Resultan premiados o priorizados no los mejores científicos o los mejores temas, sino los más expertos y desaprensivos para redactar los papeles de solicitud de proyectos o los mejor relacionados personalmente con los miembros de las comisiones evaluadoras, cuya selección ha sido hecha, por cierto, con dudosos criterios de cooptación. Hay que ir a instrumentos más cercanos a los investigadores, más especia-

lizados en los temas a examinar, más capaces de hacer una evaluación real.

Pero respecto al gran tema que nos ocupa en estas páginas, la planificación de la investigación científica, resulta más apremiante examinar las consecuencias dañinas que, **hoy por hoy y en el caso de España**, tiene la sacralización y la inflación del concepto de **priorización**.

Insistimos en lo de **hoy por hoy y en el caso de España**, porque todo el pensamiento de política científica que se ha desarrollado en nuestro país, desde el lustro 1975-1980 hasta nuestros días, adolece de un perverso mimetismo respecto a las naciones europeas más desarrolladas en lo científico. La nueva "cienciología", que comenzó en 1959 la Agencia Europea de la Energía y culminó en la redacción del Manual de Frascati, ha consagrado unas conceptualizaciones y normativas que pueden tener su sentido en otros países, aunque en realidad tiene mucho de fachada justificativa y tranquilizadora frente a los Parlamentos que tienen que dispensar cantidades presupuestarias crecientes, y hay que convencerles de que en esto de la investigación no se procede a tontas y a locas, sino con una muy pensada prosecución de retornos que aumentarán el bienestar y la renta de los respectivos Estados.

La priorización supone la existencia previa de una comunidad científica desarrollada en su masa crítica. Porque un verdadero **proyecto científico** –no un **simulacro de proyecto**, como son gran parte de nuestros proyectos del Plan Nacional– se sitúa en la interfase de varias disciplinas y áreas temáticas, y afecta a una rica variedad de investigadores no sólo como ejecutores, sino como participantes críticos en el discernimiento de la posibilidad y la oportunidad de una determinada actuación investigadora. Y la plantilla de investigadores de España carece del desarrollo necesario para priorizar la **priorización**, es decir, para hacer de la priorización el quicio de nuestra política científica.

Lo grave de todo esto es que esta falsa ilusión de pensar que mediante la priorización selectiva podemos llegar a ser punteros en temas de gran interés científico, desvía la atención del verdadero problema de nuestra política científica, que es multiplicar por tres la masa crítica de nuestros profesionales de la investigación. Cuando hablamos de profesionales de la investigación lo hacemos en un sentido mucho más restrictivo que el de los cómputos oficiales que cifran el número de científicos en varias decenas de miles. Por profesional de la investigación entendemos a los investigadores públicos con dedicación exclusiva en cuanto tales, pero comprendiendo también a muchos docentes universitarios que hacen investigación con aportaciones estimables. En el campo de los docentes resulta más difícil determinar su condición de investigador, ya que la distinción entre alguna aportación esporádica y una aportación estimable no tiene límites precisos. A falta, pues, de unos criterios clasificatorios precisos parece razonable y no puramente opinativo afirmar que la plantilla real de investi-

gadores públicos españoles puede que ronde los 20.000. Tomando como referencia a las naciones científicamente decorosas de nuestro entorno habría que plantearse aumentar hasta 40.000 ó 50.000 científicos. Son menos de los que tienen algunas empresas como Fujitsu o Nokia.

Esta debe ser la verdadera priorización de nuestra Ciencia, si queremos hacer de España un país con Ciencia. Y esto es lo que debe recabar la mayor dosis de atención por parte de los poderes públicos, mucho más, muchísimo más, que la obsesión por priorizar y financiar unos proyectos concretos con la vana esperanza de poner alguna pica en Flandes o de especializar nuestro sistema productivo en algunos renglones que den ventaja a España frente a las demás naciones.

Si nos instalamos en una perspectiva histórica, podemos afirmar que **hoy en día** estamos preparados para iniciar ese proceso de desarrollo del sistema Ciencia-Tecnología. La actual plantilla de investigadores públicos tiene científicos competentes, y a veces excelentes, en las diferentes disciplinas científicas. Este es el dato más importante y nuevo a la hora de tomar conciencia de la situación de nuestra Ciencia. Lo que significa que, por primera vez, **estamos preparados para iniciar un despegue perfectamente orientado y modulado**.

Significa esto que la solución de una parte sustancial y decisiva del gran problema de la Ciencia española –la otra parte es la enseñanza y la cultura científica de nuestra sociedad– **depende exclusivamente de una gran decisión política de los poderes públicos**. Pero los resultados de esta decisión costosa tardarán en notarse más de cuatro años, y eso plantea una pregunta angustiosa **¿habrá algún Gobierno capaz de embarcarse en esta empresa cuyos resultados no llegarán a ser aprovechables electoralmente para ganar la siguiente legislatura?**

El crecimiento de la comunidad científica española no debe entenderse solamente en términos cuantitativos, es decir, como una siembra a voleo de plazas de científico por las Universidades y Centros de investigación. El aumento de la comunidad científica debe ser de una **comunidad científica formal**, es decir, verdadera comunidad trabada, intercomunicada, con una cierta conciencia de responsabilidad corporativa al servicio de los intereses del país, con un instrumento crítico y representativo capaz de discernir las opciones científicas más convenientes especialmente en lo que respecta a los **grandes proyectos científicos** (que pueden ser de 200 millones de euros) que alguna vez tendrá que plantearse nuestra nación.

El ejemplo de las naciones que nos rodean y la propia historia española nos muestran que esta **comunidad científica formal** debe nuclearse en torno al **Consejo Superior de Investigaciones Científicas**. Naturalmente no un CSIC como hoy es, sino como fue hace varias décadas, y como habría que fundarlo de raíz, si no existiera.

En primer lugar, es absolutamente imprescindible un espacio científico y un instrumento crítico de carácter **nacional**. La proliferación de Universidades por las diferentes Autonomías, la perspectiva regional y hasta local en que se desenvuelven, con el consiguiente aislamiento, la carga docente que no facilita una estimable dedicación a la investigación, etc. son factores que actúan en contra de la existencia de una ciencia nacional. Esta circunstancia hace que el CSIC sea todavía más necesario ahora que cuando se fundó. Y sólo si coadunamos los esfuerzos de toda la nación podremos hacer algo estimable que nos permita engrosar el mundo de las metrópolis.

En segundo lugar, el sistema Ciencia-Tecnología tiene que sustentarse en un cuerpo de profesionales exclusivos de la investigación que garanticen una continuidad en el trabajo y una estructura vertebradora de la sociedad científica.

Esta vertebración operaba el antiguo Consejo, que al ser vi-vero de profesores universitarios después de la guerra, y al tener muchos de sus Centros dirigidos por catedráticos de la Universidad, se estableció una simbiosis con el mundo universitario que tomaba al CSIC como entrañable lugar de encuentro y cooperación. No hay que concebir al CSIC como una competencia frente a la Universidad, sino como un instrumento a través del cual puede articularse la cooperación científica de las Universidades.

Conviene notar que el planteamiento originario del CSIC está en su propia denominación. En efecto, el nombre de **Consejo** aludía a una entidad de dirección en la que estaban representadas todas las entidades decisorias de la vida nacional, tanto los Departamentos ministeriales relacionados con la Ciencia, la Tecnología, y el sistema productivo, como el mundo empresarial y financiero. De ese órgano de representación y dirección dependían los Centros ejecutores de Ciencia y Tecnología que, en número muy superior a cien, constituían un verdadero y global sistema científico. De manera que el CSIC no era exclusivamente un conjunto de centros ejecutores de Ciencia y Tecnología, sino el órgano de decantación de las opciones libres que el Estado debiera plantearse. La propia Confederación de Sociedades Científicas, que acaba de crearse, debería tener importante presencia en una posible y deseable reorganización del CSIC.

Pero el CSIC tiene también un grave problema cuantitativo en cuanto respecta a su plantilla científica verdaderamente raquítica. No basta con reestructurarlo en su concepción y en su definición de funciones. Piénsese que la plantilla científica del CSIC la constituyen 2.000 investigadores, frente a los 17.300 que tiene su organismo homólogo francés, el CNRS. En esas magnitudes se mueve Francia, bien advertido que, ya hace unos tres años, UNESCO instaba a la nación vecina a que aumentara la totalidad de su plantilla científica en 25.000 ó 30.000 investigadores. No parece desmedido afirmar que para empezar a tomarse en serio al CSIC habría que plantearse

un aumento de 6.000 investigadores más. Tal aumento podría llevarse a cabo en un tiempo más próximo al corto que al medio plazo, por una razón penosa que, sin embargo, tiene un aspecto positivo. En la actualidad existe en España un colectivo de post-doctorales que a sí mismos se autotitulan "los precarios" (por alusión a su difícil situación de científicos no asentados profesionalmente) que superan con mucho la cifra de 6.000. Se sabe que un porcentaje de ellos sumamente elevado son talentos interesantes y contrastados que gozan de una excelente ejecutoria científica por libros ya publicados o por artículos en revistas internacionales de impacto. Basta asomarse a cualquier ejercicio de oposición a una plaza de investigador para ver cómo tienen que ser desechados jóvenes investigadores cuyo curriculum es no raras veces superior al de algunos miembros del tribunal que les juzga.

Es obvio que el aumento de plantilla que aquí se postula implica un gasto público difícil de asentar en los presupuestos generales del Estado. Requiere por tanto una decisión que desborda la capacidad del Ministerio de Ciencia y Tecnología y sólo puede salir adelante con una intervención decidida de la Presidencia del Gobierno y de todo el Gobierno. No se trata sólo del aumento de nóminas y de los gastos de investigación. Si se tiene en cuenta que los actuales investigadores del CSIC (2.000) viven ya un problema agobiante de espacio, fácil se echa de ver que será necesario construir un importante número de edificios para poder albergar a 8.000. Esto agrava el problema presupuestario, pero curiosamente aporta un atractivo político que puede ayudar al prestigio electoral del Gobierno que acometa la tarea. Un número tan crecido de edificios podría dar lugar a la construcción en Madrid de una *Ciudad de la Ciencia*. El asunto adquiriría entonces visibilidad, atractibilidad, espectacularidad y culminaría con una grandiosa inauguración. Antes de su construcción, se desatarían interesantes e interesados debates a escala internacional entre los arquitectos y urbanistas que aspiraran a llamarse a la parte en la realización del proyecto. Todo eso socializaría mentalmente a la sociedad española con la idea de la Ciencia, pero también daría al Gobierno que llevase a cabo el proyecto un prestigio electoral francamente compensatorio en términos de partido. Tal idea o proyecto suscitaría debates con las Autonomías que se sentirían postergadas por una tal centralización en Madrid. Pues bien, ante esta última eventualidad hay dos cosas que responder: 1ª no todo sería conveniente hacerlo en Madrid; de hecho el CSIC ha encontrado razones para implantar centros en diversos lugares de España, y 2ª sería una buena ocasión para sancionar, de una vez por todas, que el asunto de la Ciencia debe ser **nacional**, como ya se ha explicado más arriba.

Hemos titulado el presente epígrafe como **Las Ciencias empíricas: las opciones libres**. Y el tratamiento que le hemos dispensado parece sugerir que este tipo de planificación científica tiene poco sentido **hoy por hoy**. Esta poquedad es lo suficientemente decisiva como para poner en cuestión la existencia misma de los sucesivos Planes Nacionales de Investi-

gación Científica y Tecnológica. Pero expliquemos con mayor detalle y moderación tan grave y tajante pronunciamiento.

En España estamos preparados para plantear **algunos verdaderos** proyectos científicos y de hecho los estamos planteando y realizando. Pero no es en los verdaderos proyectos donde se está gastando el grueso de los fondos de cada Plan Nacional. Porque un verdadero proyecto no es tan fácil de plantearse y de realizarse. Un buen proyecto, con base real en cuanto a temática y competente equipo ejecutor, es más bien algo excepcional en la España de hoy. Y desde luego no surge como resultado de una planificación estatal, de un Plan Nacional de definición de prioridades, sino que surge de la inquietud creadora de un grupo de investigadores, generalmente movilizados y aglutinados por uno o dos – quizá tres – líderes científicos naturales. La realización de un verdadero proyecto requiere una financiación especial, pero tal requerimiento no debe dar lugar a que se cree un grandioso instrumento de planificación y financiación, como es el Plan Nacional, que monopoliza en exclusiva y hasta el último euro todo lo que sea financiación de investigación y que tan sólo dispensa fondos a los trabajos que se presentan como **proyectos científicos**. El aliciente dinerario hace que los investigadores se constituyan en falsos equipos que presentan falsos proyectos, dispuestos como están a vestirse de lagarterana, si hace falta, con tal de conseguir dinero para su investigación. Pero no son los investigadores los culpables de esta farsa burocrática y formalista en que se les exige un proyecto tan exquisitamente detallado en sus fines y resultados a obtener, en sus metodologías y plazos de realización, así como en la exclusión de todo riesgo, que para presentar un proyecto debidamente cumplimentado es preciso tener ya casi terminada la investigación que se propone. El dinero así obtenido se gastará en ir preparando el siguiente proyecto. Esas son las reglas del juego, y de no entrar en ellas, se perderá la partida. O se consigue un proyecto o se cae en la indigencia absoluta, porque otra forma de financiación no existe. En conclusión: hay que buscar otras formas de financiación para la generalidad de los investigadores, porque no tiene el menor sentido que el Estado se gaste de seis a ocho millones en la nómina de un investigador cuya plaza cuesta al Estado 22 millones de pesetas, en el caso del CSIC, y le niegue uno, dos o tres millones para poder realizar sus trabajos.

Del Plan Nacional debe quedar un Fondo Nacional de Investigación para financiar los **verdaderos proyectos de investigación** que **libremente** presenten algunos grupos de investigadores. El Estado debe contar con un instrumento crítico reducido, pero lúcido y eficaz, que dictamine sobre las bondades y perspectivas de la propuesta. Pero es imposible que el Estado y su Gobierno planifiquen todo lo que en el presente epígrafe hemos llamado **las opciones libres de las Ciencias empíricas**.

Donde sí puede, y debe, tener competencia el Gobierno es en la planificación y realización de **Planes o Proyectos Na-**

cionales de actuación sobre necesidades y problemas de la nación, cuya solución, en grandísima y decisiva parte, es fruto de la investigación científica y tecnológica. No se trata, en puridad, de Planes o Proyectos de Investigación Científica y Tecnológica, sino de actuaciones y realizaciones que van más allá que la mera investigación, como puede ser la transformación de la naturaleza, la sanificación de un territorio, la producción de un artefacto estratégico, la restauración de un patrimonio arqueológico, etc. Este tipo de actuaciones versarán en gran manera sobre las materias que hemos calificado como **predeterminaciones naturales**, es decir, sobre requerimientos de la nación que son claros como tales y no necesitan discernimiento crítico, como no sea sobre el alcance o los modos de actuación. Pero en todo caso se tratarán de **Acciones de Gobierno** cuyo protagonismo principal acaso deberá correr por cuenta del sistema Ciencia-Tecnología.

7. CONSIDERACIÓN FINAL

El momento presente es de una grave responsabilidad histórica respecto al futuro de nuestro país. La Ciencia se decanta como el vector fundamental del futuro de las naciones. El sistema Ciencia-Tecnología español, por primera vez en nuestra historia, está preparado para iniciar un trascendental despegue.

La UNESCO ha declarado a España como el más importante patrimonio de interés de la Humanidad. No se trata sólo del patrimonio artístico y arqueológico. Afecta también a la botánica y a la biodiversidad con una portentosa variedad de microclimas que permite la producción en su territorio de casi todas las plantas y frutos del mundo. Es una singularidad geológica por su increíble mosaico de componentes que Humboldt mismo calificó de “continente en miniatura”. Su arte popular y su folklore no tienen parangón en el mundo, por su fuerza y originalidad. Su historia es grandiosa, así como su proyección geopolítica en el mundo resultante de esa historia. Razón por la cual las Universidades del mundo entero tienen cátedras de hispanismo que hacen de España un país especial y digno de general atención. Su situación geográfica como llave del Mediterráneo y como frontera de choque de un continente problemático la convierten en pieza fundamental de la estrategia mundial. Su vinculación histórico-cultural al mundo islámico y judío debe vocacionarle para el ejercicio de una función mediadora entre Occidente y el mundo islámico de incalculables consecuencias benéficas para el futuro orden mundial. Somos un referente inevitable para el mundo hispano.

La España actual, y fundamentalmente sus políticos, no tendrán perdón de Dios si no se vuelcan en la realización de una **excepcional** decisión en favor de la investigación científica. Es lo que hizo Irlanda, cuando hace unos años decidió gastarse el poco dinero que tenían en educación, formación profesional e investigación, con el resultado que todos conocemos: una renta per capita sensiblemente superior a la española. ■

Cooperación versus comercialización. Una cuestión de transferencia de tecnología

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

La cooperación internacional pasa por un momento de evaluación y crítica que está mostrando evidencias de su falta de eficacia. En estos últimos años el Comité de Ayuda al Desarrollo de la OCDE (CAD-OCDE) alertó sobre esta situación y propuso una nueva estrategia, basada en el concepto del partenariado ("Partnership"), en el que se invita al sector público y al sector privado de los países desarrollados a buscar y ensayar nuevas fórmulas de cooperación que mejoren su impacto y sobretodo que sean sostenibles en el tiempo.

Kofi Annan denunció en octubre del 2003 que en el año 2002, por sexto año consecutivo, los países en desarrollo (mal llamados subdesarrollados) generaron transferencias financieras netas hacia otros países desarrollados, y el mayor diferencial se dio en ese año, donde los países productores transfirieron 200.000.000.000\$ principalmente a través de empresas llamadas ahora "deslocalizadas" aprovechando economías con bajos salarios en empresas manufactureras y de servicios; de tal forma recibieron en forma de ayuda a la cooperación al desarrollo por 50.000.000.000\$. La propuesta de Kofi Annan, respaldada por amplios sectores de la sociedad civil en el mundo, pero no por los Gobiernos que forman la OCDE, es la de que reinvertir el capital en el país, en sectores como infraestructura, salud, educación, desarrollo empresarial, etc., es decir, en encontrar una fórmula de reinversión o condonación de la deuda.

Las modalidades más habituales de proyectos de cooperación internacional son las asistencias técnicas, con pequeñas cantidades de capital, típicamente no reembolsables con cantidades grandes de capital. En las asistencias técnicas los países donantes ponen a disposición de los receptores expertos que transmiten un conocimiento sobre tema específico, como fortalecimiento institucional, salud, etc. En las ayudas financieras los países receptores reciben créditos blandos para programas de carácter estructural, como fortalecimiento de la educación, equipamientos para servicios públicos, infraestructuras, etc.

En recientes estudios del CAD-OCDE han salido a relucir los problemas que han tenido estas modalidades de cooperación, que son por una parte el parco impacto de las asistencias técnicas como mecanismo de transferencia de conocimiento y tecnología, y por otra parte los intereses co-

merciales de los países donantes en las ayudas financieras, que han hecho que la oferta no fuera la adecuada, y por lo tanto no se consiguieran los objetivos generales de desarrollo económico y social de los países receptores.

Otra consecuencia importante de los estudios realizados por el CAD-OCDE, es que el enfoque puramente financiero de la cooperación internacional es insuficiente para alcanzar los objetivos de desarrollo económico y social de los países con más dificultades, y por lo general no ha tenido en cuenta la sostenibilidad de los proyectos de cooperación realizados con las transferencias de capital. Además, como gran parte de los fondos son créditos, muchos países receptores han empeñado sus recursos futuros ante las Instituciones Multilaterales (FMI, BM, BID, etc.), bajo la promesa de estas Instituciones de implementar un modelo de desarrollo, que no acaba nunca de llegar y que en cambio genera graves externalidades.

Por ello, el CAD-OCDE se ha vuelto más exigente en su política de cooperación internacional y lanzó hace unos años un nuevo concepto que está en estos momentos en desarrollo que es el partenariado ("Partnership"), en el que se busca la asociación o involucración directa entre el sector público y el privado para encontrar conjuntamente mejores fórmulas de cooperación internacional, que realmente impacten sobre el desarrollo de los países receptores y que hagan sostenibles en el tiempo sus resultados. A esta nueva estrategia se la conoce también como la triple P: Partenariado - Público - Privado ("Public - Private - Partnership"). Esta nueva estrategia está en sus fases iniciales de aplicación y hasta el momento no se puede decir que haya generado grandes cambios en las políticas de cooperación públicas (multilaterales y bilaterales) y privadas (Ong's).

Las Ong,s han planteado el acceso a los mercados internacionales de materias primas agrícolas, como son el café y el cacao, productos manufacturados, como son el calzado y las confecciones, y también los productos artesanales, pero se han olvidado de plantear proyectos de generación de valor en los países de origen, mediante la transferencia de conocimientos y tecnologías que permitan la industrialización y el acceso a los mercados internacionales desde los países de origen, es decir, una integración real de sus productos en la economía global.

Un modelo de comercio justo alternativo sería el que añadiese la cooperación tecnológica internacional, donde las entidades de interfaz de la innovación, suman su

capacidad técnica y de integración en cadenas de producción internacionales, para mejorar las capacidades de los productores y sobretodo hacer sostenible el comercio solidario.

Su papel en el comercio justo sería el siguiente: Transferir conocimientos y técnicas a los países receptores aprovechando al máximo los mejores recursos tanto humanos como de infraestructuras existentes en estos países, siendo este un factor clave para una transferencia de tecnología bien asimilada y adaptada a la cultura local. Con base a lo anterior desarrollar procesos de agregación de valor sobre las materias primas locales para obtener productos industriales intermedios o productos finales, comercializables en mercados internacionales. Introducción de los productos intermedios de carácter industrial en las cadenas productivas de los países consumidores, ayudados por los organismos de innovación de estos países que conocen el tejido industrial local, las cadenas productivas, los insumos locales y los importados. Introducción de los productos terminados en cadenas de comercialización convencionales, pero con el sello que certifique que provienen de países con menor desarrollo relativo, y que cumplen con los criterios éticos del comercio justo / consumo responsable. Dada su escasa experiencia en proyectos de cooperación para el desarrollo, la capacidad técnica de los organismos de innovación necesariamente tiene que venir acompañada de una capacidad de desarrollo social de las Ong's promotoras del comercio justo. La sostenibilidad de cooperación comercial se calcula a partir del grado de integración que tienen los productos de los países en vía de desarrollo en la economía global, y a partir de las capacidades adquiridas por estos países para desarrollar por si mismos nuevos conocimientos e innovaciones, que les permitan incrementar su presencia en el mercado global a partir de sus recursos naturales y capacidades científicas y tecnológicas.

Pertenece a una época en la que existe en el mundo una economía globalizada que tiene aspectos positivos, pero presenta también graves inconvenientes para aquellos países, que en el mercado global no pueden participar con productos propios de alto valor añadido, es decir, con productos innovadores.

Los países que basan su economía en la explotación y comercialización de materias primas o productos muy poco elaborados, tienen sus economías dependientes de aquellos que poseen la capacidad tecnológica para explotarlos y procesarlos, como sucede en el caso del petróleo. Asimismo, los que plantean su desarrollo económico basado en ventajas tales como la mano de obra barata, están hipotecando el futuro de sus ciudadanos, cuyo nivel de vida queda condenado a estar por debajo del de los países que compiten en productos con alto grado de conocimiento aplicado. Además, en este modelo de desarrollo se crea una dependencia tecnológica permanente de terceros pa-

íses, y esta cesión de tecnología está siempre ligada a los intereses de los países que la poseen.

Por lo tanto, este entorno de globalización obliga a los países que quieran construir una sociedad con un nivel de vida digno, a invertir en crear una capacidad de generación de conocimientos y tecnologías propias que permitan un desarrollo económico y social equilibrado con el exterior, de tal forma que sus empresas sean competitivas y tengan la capacidad de desarrollar productos para este mercado global.

La cooperación internacional a este nivel es fundamental para las empresas, sobretodo las pymes, para proveerse de conocimientos y tecnologías que gestionados con las capacidades y recursos propios, den a lugar una oferta de productos y servicios de interés nacional e internacional, generando así cadenas productivas internacionales, y por ende la integración de la economía local en la global.

Debido al acelerado desarrollo tecnológico, el fomento de la cooperación científica y tecnológica debería llevar un peso marcadamente mayor a la ayuda al desarrollo y así se debería de generar una intensa cooperación en el campo de la investigación entre varios países de la U.E. y países de gran potencial, como ocurre en el caso latinoamericano con Brasil, México y Argentina. El potencial de la Comisión Europea se puede aprovechar para proyectos específicos que no queden sólo en los de agricultura tropical y medicina tropical, porque también hay campos con elevada potencialidad como es el caso de la microelectrónica, biotecnología, el medio ambiente, etc. También sería deseable que no se concentraran en los grandes países por su potencial mercado; habría que analizar si la Unión Europea debiera proyectarse también en países pequeños y medianos en relación con la expansión de su cooperación en la investigación científico y técnica.

La cooperación internacional en ciencia y tecnología es, además, un componente sustantivo de la relación entre los pueblos y gobiernos, como medio complementario a los esfuerzos nacionales de desarrollo e instrumento apropiado para promover la solidaridad internacional. En este contexto se debe afrontar la solución de problemas en el marco de un enfoque compartido, en el cual las naciones asuman la responsabilidad de su propio desarrollo y la corresponsabilidad del progreso conjunto de las naciones de la región, en particular de aquellas de menor desarrollo relativo.

El conocimiento y los recursos humanos altamente preparados son el factor más importante para conseguir esta integración, siendo la generación, intercambio y difusión de los conocimientos y tecnologías los principales objetivos de los programas de cooperación en ciencia y tecnología de carácter internacional. ■

Confederación de Sociedades Científicas de España: una apuesta por la vertebración de la Ciencia

AUTOR: MANUEL DE LEÓN

*Vicepresidente de la Real Sociedad Matemática Española,
Presidente del Comité Español de Matemáticas,
Presidente del International Congress of Mathematicians*

Una de las graves carencias de la comunidad científica española es la falta de herramientas que la articulen adecuadamente y sirvan de cauce de comunicación con las diferentes administraciones. En los últimos años son frecuentes las apelaciones de grupos de científicos a la Administración a fin de conseguir un gran Pacto Nacional por la Ciencia. Nadie duda de sus buenas intenciones, pero si nos remitimos a los hechos, ninguno de estos intentos ha pasado de ser flor de un día en algunos diarios nacionales (no olvidemos la conocida frase aplicada a la prensa: "las noticias de hoy envuelven el pescado de mañana").

Los científicos españoles debemos acostumbrarnos a actuar colectivamente. Primero, con nuestras sociedades científicas, a las que deberíamos afiliarnos sin reticencias, y después, creando mecanismos transversales entre ellas, a fin de afrontar los problemas comunes en cooperación, aunque algunas problemáticas particulares precisen otro tipo de acciones propias de cada sociedad. El ejemplo de los científicos norteamericanos uniéndose en una petición al Presidente Bill Clinton en 1997 y en 1998 (<http://www.ams.org/government/unstate.html> y <http://www.ams.org/government/stateaj1198.html>) es bastante elocuente: el presupuesto federal se duplicaría en un plan de cinco años. Desgraciadamente, la administración Bush decidió posteriormente otras prioridades, y comenzaron los recortes.

En España, hace ahora casi dos años, se llegó a una situación crítica en la gestión de los proyectos de investigación en el recién creado Ministerio de Ciencia y Tecnología. Las sociedades científicas, convocadas por Eduard Salvador Solé (Presidente de la Sociedad Española de Astronomía), decidieron unir esfuerzos y plantear al MCYT que la situación era insostenible. Se produjo así una carta a la entonces Ministra, Ana Birulés, y a continuación, una reunión de representantes de sociedades el 19 de junio de 2002, de la que salió una comisión que se entrevistó el 2 de julio de 2002 con el Secretario de Estado de Ciencia y Tecnología, Ramón Marimón. Pasado el verano, tras un cambio ministerial del que salió un nuevo Secretario de Estado, Pedro Morenés Eulate, se convocó a las sociedades para una nueva reunión en septiembre, y se pidió la creación de un instrumento de comunicación de la co-

munidad científica con el ministerio. Las sociedades comenzaron entonces a proyectar la confederación.

Ha sido un largo camino hasta ahora que ha pasado por diversas etapas. En primer lugar, la Comisión de Estatutos (formada por Alfredo Tiemblo Ramos, Santiago Castroviejo Bolívar, Ulises Acuña Fernández y Manuel de León) elaboró un primer borrador sometido por un proceso iterativo al resto de las sociedades, y finalmente aprobado en la Asamblea Fundacional de 20 de octubre de 2003. En esta Asamblea se nombró una Comisión Gestora compuesta por Eduard Salvador Solé como Presidente, Enrique Ruiz-Ayúcar como Secretario, y Alfredo Tiemblo y Manuel de León como Vocales, y cuya tarea ha sido preparar las elecciones celebradas el pasado 15 de marzo de 2004 y que han dado lugar a la primera Junta de Gobierno de la COSCE:

Presidente: Joan Guinovart (Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular). *Vicepresidente:* Alfredo Tiemblo (Real Sociedad Española de Física). *Secretario:* Pablo Espinet (Real Sociedad Española de Química). *Tesorero:* Juan Luis Vázquez (Real Sociedad Matemática Española).

Vocalías: *Área 1, Artes, Humanidades y Ciencias Sociales:* Emilio Muñoz (Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular; Sociedad Española de Microbiología). *Área 2, Matemática, Física y Tecnologías Físicas y Química y Tecnologías Químicas:* José M. Rodríguez Espinosa (Sociedad Española de Astronomía). *Área 3, Ciencias de la Vida y de la Salud:* Manuel Mas (Sociedad Española de Ciencias Fisiológicas). *Área 4, Ciencias de la Tierra, Agricultura y Medioambiente:* José López-Ruiz (Sociedad Española de Mineralogía). *Área 5, Ciencias y Tecnologías de los Materiales y de la Información y la Comunicación:* Manuel Palomar Sanz (Sociedad Española de Procesamiento del Lenguaje Natural).

Hoy día, la COSCE es una realidad, pero la tarea no ha hecho más que empezar. La Junta de Gobierno afronta una tarea comprometida, en la que los intereses particulares de cada sociedad deben quedar a la puerta; una tarea que no consistirá sólo en representar a todas las sociedades, y por tanto a la mayoría de los científicos españoles, sino en trabajar para dar estructura a la propia COSCE: sede, presupuesto financiero, infraestructura administrativa; una tarea que exigirá una dedicación importante. Pero estamos convencidos que en un plazo no muy lejano, se conseguirá de una vez ese compromiso Nacional por la Ciencia, que coloque a España, esta vez sí, en la primera división de los países científicamente desarrollados. Está en nuestras manos. ■

Los nuevos cohetes. Innovación y tendencias en Propulsión espacial

AUTOR: JESÚS MARCOS

Director División Espacio de INASMET

Las recientes misiones de los satélites SMART1 y ARTEMIS de la Agencia Espacial Europea han permitido la demostración en órbita y por tanto su calificación para uso espacial de unos sistemas de propulsión alternativos a los tradicionales motores cohete o motores de propulsión química: los motores de propulsión eléctrica o motores iónicos.

Estos innovadores motores de propulsión de satélite denominados genéricamente como propulsión eléctrica desarrollados en los años 1950 por ingeniería espacial rusa, están cobrando un renovado auge debido a su bajo peso, su sencilla configuración y su gran eficiencia propulsiva o impulso específico, con un reducido consumo de combustible o gas propulsor. Los motores iónicos concebidos para la propulsión, corrección de trayectoria y mantenimiento de órbita de satélites se pusieron "de moda" en los últimos años 1995-2000 unidos a los presagios de grandes constelaciones de satélites de comunicaciones como IRIDIUM o TELEDESIC y la necesidad de disponer de motores sencillos, fáciles de fabricar en gran serie y suficientemente eficaces para las necesidades de corrección de trayectoria y mantenimiento en órbita de la constelación de pequeños satélites de comunicaciones.

Tras pasada la caída de los mercados de telecomunicaciones, la nueva orientación de estos motores iónicos se dirige a

desarrollarse como sistemas de propulsión alternativa para grandes plataformas de satélites. Estas aplicaciones en plataformas electro-propulsadas eg ALFABUS, demandan motores o más propiamente redes de motores de propulsión iónica de gran capacidad, por encima de los 5000 W de potencia.

En esta carrera por desarrollar grandes motores forma parte de las prioridades tecnológicas de las agencias europea ESA y americana NASA, el escalado de estos motores plásmicos, la eficiencia de sus propelentes, las interacciones del plasma, o sus materiales constructivos. INASMET ha desarrollado una generación de materiales compuestos cerámicos para las cámaras o canales de aceleración de los motores iónicos de plasma ROS99, ROS2000 y otros. Actualmente INASMET suministrador europeo de cámaras cerámicas y componentes de propulsión, está desarrollando bajo contrato con ESA cámaras cerámicas para grandes motores de efecto Hall (HET de 5 kw), cámaras de motores de doble etapa y micromotores de propulsión tipo HET en rangos inferiores a 10 w.

Los motores de Efecto Hall (HET) son aceleradores de plasma de gran eficacia, permitiendo la generación de una gran fuerza de empuje con un mínimo consumo de propelente. El impulso específico de los HET usando Xenon como propelente está en el rango 1500-2000 segundos. El principio básico de los HET consiste en alcanzar un empuje propulsivo del satélite por la aceleración de un plasma generado en el interior de una cámara mediante la ionización de un gas bajo un campo eléctrico.

En un motor de efecto Hall, las espiras magnéticas generan un campo magnético radial perpendicular al campo eléctrico existente en la dirección del eje. El sistema (la espira) magnético produce una distribución predefinida del campo magnético en el canal de aceleración del motor dirigida a aumentar la eficiencia en la ionización. El efecto Hall atrapa a los electrones en el plasma forzándoles a moverse en un círculo alrededor del eje (cuando un conductor lleva un campo de corriente perpendicular al campo magnético, se desarrolla una diferencia de potencial perpendicular a ambos, a la corriente y al campo magnético). Como resultado, es posible re-ionizar el propelente inyectado por más tiempo. El campo electrostático acelera los iones dentro del flujo de salida. Electrones adicionales provenientes del cátodo fluyen a la corriente de salida para neutralizar el flujo iónico cargado.

Los electrones gradualmente se dirigen en la dirección contraria para completar el circuito eléctrico pero, frenados por el campo magnético, no se mueven lo suficientemente rápido para cortocircuitar el campo. En otras palabras, los campos magnéticos dispersan los electrones lo suficiente para pro-



Cámara de aceleración HPEPT-ROS00.

ducir la cantidad de resistencia adecuada para mantener la corriente cargada. Los iones más pesados, que se mantienen prácticamente sin ser afectados por el campo magnético son acelerados en la dirección axial salida por el campo eléctrico creado.

Dado que el plasma permanece neutro, se pueden conseguir densidades de empuje (Empuje por unidad de área) mucho mayores que con la propulsión iónica electrostática, lo que significa una gran ventaja para el mantenimiento de órbita y para la propulsión en emisiones en el espacio profundo.

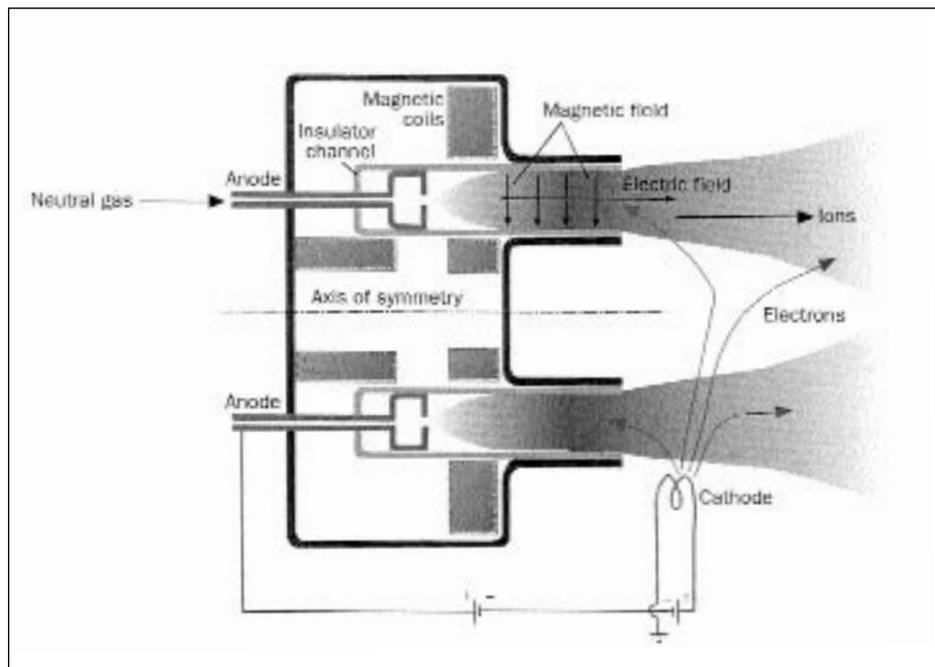
Se han desarrollado dos tipos básicos de HET: (1) Motores de Plasma Estacionario (SPT) y (2) Motores con un anillo anódico (TAL). La diferencia principal entre los dos tipos es que la región de aceleración en el SPT está en el propio motor mientras que en el TAL está en la parte de adelante del motor. Los sistemas TAL tienen un canal de aceleración metálico y una configuración magnética que confina la aceleración en una región muy estrecha en la corriente de salida, localizada en el plano de salida del motor.

Los sistemas SPT requieren un canal de aceleración cerámico y tienen una configuración magnética que permite a la aceleración extenderse a la largo de la longitud del canal. Los SPT proporcionan menor densidad energética específica y es más robusto a los cambios en la forma geométrica y a los cambios en la configuración del campo magnético. Además los sistemas TAL requieren mayor precisión en el diseño y la fabricación del circuito magnético, siendo la cámara cerámica de los sistemas SPT más tolerante.

Los primeros usos de los motores SPT datan de 1972. Desde entonces más de 100 unidades de estos motores diseñados por OKB Fakel han volado al espacio, y alrededor de 50 están todavía operativos.

En Europa, ALCATEL y ASTRIUM han vendido varios satélites que utilizan SPT-100 HET para el mantenimiento de órbita Norte-Sur (NSSK). El motor PPS-1350 de tipo Hall de SNECMA ha completado recientemente 6000 horas de ensayo de calificación en operación. Para el satélite experimental STENTOR de la Agencia Francesa del Espacio CNES y ha suministrado propulsión primaria a la misión de la ESA SMART 1 dirigida a explorar la luna.

En EEUU, Space Systems/Loral (SS/L) ha completado la integración de un SPT100 para NSSK en el satélite Telstar 8.



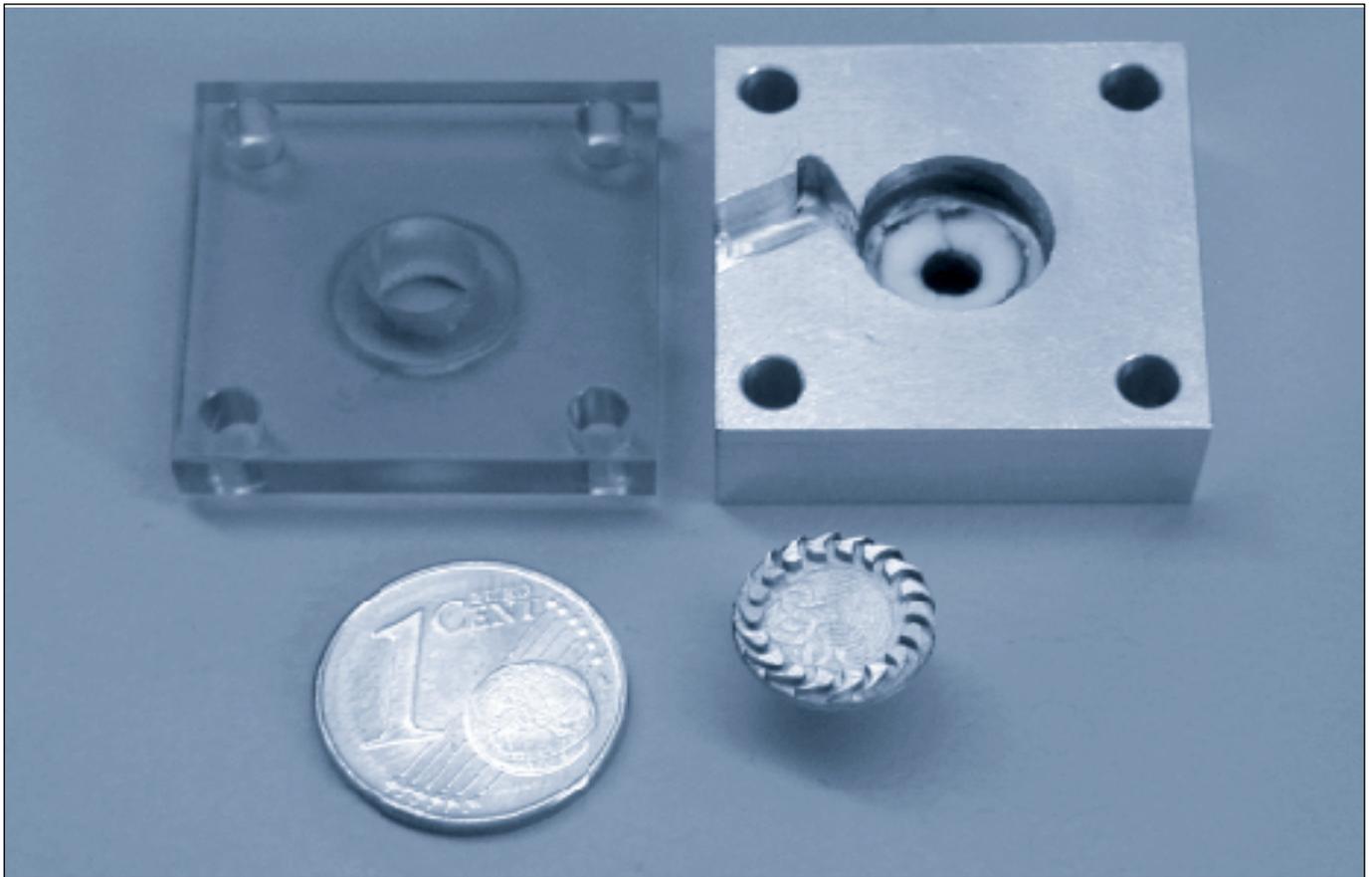
Esquema de un motor de plasma estacionario de efecto Hall SPT-HT con un canal aislante extendido (Cámara de descarga cerámica).

El SPT ha sido completamente calificado e incluye 4 motores del diseño de Fakel. Todos estos ejemplos muestran la disponibilidad de sistemas HET de potencia media (1][1,5 kw). Sin embargo en un futuro cercano se confía en la capacidad de escalado hacia macromotores 5-10 kw y el microescalado (10-100 w) para expandir el espectro de aplicaciones.

Desde 1999 INASMET desarrolla y fabrica las cámaras cerámicas del canal de aceleración de los motores de propulsión iónica de efecto Hall (HET). El canal de aceleración es un componente crítico del motor, es allí donde se produce la descarga que produce el plasma, actuando de ánodo y su aceleración hacia el cátodo. Las cámaras se fabrican de un material compuesto cerámico que soporta altas temperaturas y la importante erosión de los iones en su aceleración. INASMET empresa experta en materiales de usos espaciales ha desarrollado una generación de compuestos cerámicos dirigidos a la aplicación de los motores de plasma. Así, se han evaluado con éxito cámaras cerámicas de INASMET en los motores ROS99, ROS00 desarrollados por ASTRIUM para la propulsión de plataformas espaciales.

Actualmente, INASMET mantiene un contrato con la Agencia Espacial Europea para el desarrollo de cámaras cerámicas para motores HET de 10 KW, y para micro-motores de 100 W. Se está trabajando en la fabricación de estos compuestos cerámicos mediante tecnologías de procesado HP y Proyección térmica para las grandes cámaras y con microinyección, sinterización de nanomateriales y procesos de superficie para las fabricación de pequeñas cámaras.

En la línea de la Micropropulsion, INASMET está igualmente desarrollando un micromotor de bipropelente de propulsión química.



Primer prototipo de turbina.

Los microsátélites (de 10 kg hasta 100 kg) tienen unas restricciones de masa, volumen y potencia eléctrica debido a sus pequeñas dimensiones. Estas limitaciones unidas a la no disponibilidad de sistemas de control de órbita activo en microsátélites. Por lo tanto, se requiere un sistema de micropropulsión con una alta relación de potencia y masa para aumentar la funcionalidad de los pequeños satélites. INASMET está desarrollando un micromotor de bipropelente líquido (MNT) bajo un contrato con la Agencia Espacial Europea. El mayor reto tecnológico del proyecto es la realización de un micromotor cohete con propelentes presurizados por microbombas. La energía para activar las microbombas se extrae de una microturbina. Se desarrollan canales de refrigeración alrededor de la tobera de salida para mantener el material de la pared por debajo de su máxima temperatura de operación. INASMET se encarga de la fabricación de los micromotores con materiales cerámicos resistentes a altas temperaturas como el nitruro de silicio y otros. Para fabricar estos materiales se utilizan también procesos innovadores como la microfabricación con nanomateriales.

Siguiendo con la línea de sistemas propulsivos de vehículos espaciales, INASMET fabricó para la empresa Iberespacio un sistema de 250 tubos de intercambiadores criogénicos para validar el diseño de un nuevo motor híbrido en la evolución de la propulsión del lanzador Ariane- Programa de Futuros Lanzadores Europeos. En este caso el sistema de fabricación por braseado o soldadura fuerte tuvo que ser modificado para optimizar el diseño del intercambiador.

La propulsión espacial sigue evolucionando, llevar a cabo misiones de exploración del cosmos como algunas propuestas en el programa científico de la ESA o en el Programa AURORA, entre ellos alcanzar Marte, demandan de necesidad de tener sistemas de propulsión alternativos a la propulsión química (dado el exceso de peso que supondría el propelente). La propulsión eléctrica ha demostrado su eficiencia y viabilidad para misiones lunares, en las que la energía para alimentar el motor se capta por paneles solares, como dato baste decir que la misión el motor iónico de la misión SMART 1 requería una potencia eléctrica de 1,19 KW APRA conseguir un empuje de 68 mN con un impulso específico de 1640 segundos.

Para misiones habitadas a Marte en las que se precisen empujes de hasta 2kN y cargas de hasta 140 toneladas, la captación de energía con paneles solares no resulta suficiente, por lo que se está investigando la posibilidad de utilizar sistemas de propulsión nuclear. La Air Force Americana ya está dando sus primeros pasos en la propulsión nuclear eléctrica de satélites, en Europa se va a realizar algún estudio, la demanda de materiales para intercambiadores de sodio, el confinamiento de Plutonio, los nuevos diseños de turbina, son demandas tecnológicas en materiales que se derivan de estos retos. En este sentido INASMET está siguiendo con interés las evoluciones de los sistemas de propulsión que anticipan los objetivos de exploración del sistema solar. ■

Línea 9 del Metro de Barcelona

AUTOR: ÁNGEL ARES

*Jefe de la Sección de Instalaciones,
Electromecánica y Comunicaciones de SENER*

La Generalitat de Catalunya está diseñando y construyendo la línea 9 del Ferrocarril Metropolitano de Barcelona, aplicando los últimos avances tecnológicos para conseguir la más moderna y larga línea automática "driverless" del mundo.

La futura Línea 9, cuyo periodo de construcción está previsto entre el 2002 y 2007, se ha concebido para satisfacer la demanda de transporte de viajeros, ofreciendo un servicio seguro, regular y rápido, con altas prestaciones de calidad, confort y atención al público, a la vez que minimizando los costes de explotación.

La Línea 9, con 42 kilómetros de longitud y 47 estaciones –15 de ellas intermodales–, enlaza diversas zonas del área metropolitana de Barcelona, como Santa Coloma y Badalona, el Bon Pastor o la Zona Franca y el puerto, y el centro de la ciudad. Además, son de especial relevancia las conexiones que brinda con otras grandes infraestructuras de transporte como son el Aeropuerto, el Puerto y el AVE. La demanda prevista es de 90 millones de PAX/año, y se dispone de una flota de 50 vehículos *driverless*, tipo continuo, con 5 coches, que a una velocidad máxima de 80 km/h alcanzarán una velocidad comercial de 33 km/h.

INFRAESTRUCTURA CIVIL

La necesidad de atravesar de norte a sur Barcelona, cruzando otras infraestructuras existentes e intentando minimizar las afectaciones en las mismas, plantea como única solución viable construir la Línea 9 a una profundidad considerable –entre 60 y 80 metros– en gran parte de su trazado.

El principal inconveniente que presenta esta solución es el acceso por parte del público, el cual se ha solucionado con una configuración especial del binomio túnel-estación. Por un lado,

el túnel tiene un diámetro suficiente (10,9 metros) como para alojar en el mismo dos túneles separados por una losa intermedia, uno para cada sentido de circulación.

La estación está concebida como un gran pozo vertical cilíndrico que se une en su parte inferior al túnel, y está formada por un vestíbulo superior con accesos al exterior, y un vestíbulo inferior que está conectado a los andenes. La conexión entre vestíbulos está prevista mediante ascensores de gran capacidad, con paradas intermedias de emergencia, escaleras de emergencia y escaleras mecánicas. Además de este binomio túnel-estación, se disponen de otras infraestructuras más convencionales en tramos poco profundos, como túneles de 9 metros, tramos de viaducto en superficie y estaciones convencionales subterráneas y en superficie.

SISTEMAS E INSTALACIONES

En el diseño de los Sistemas e Instalaciones se han aplicado soluciones innovadoras basadas en la tecnología más avanzada existente para conseguir los objetivos antes descritos.

Control automático de Trenes (ATC)

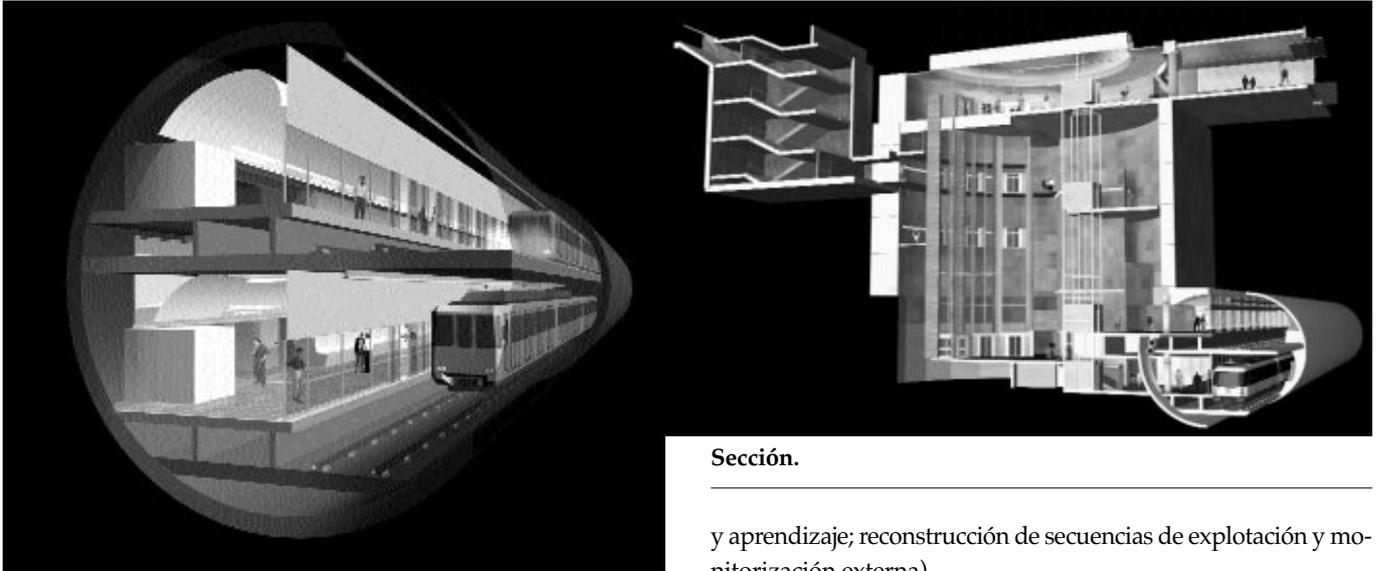
Mediante el ATC se garantiza la seguridad en el movimiento de viajeros de modo automático y se realiza la gestión centralizada de la Línea. Se trata de un sistema *driverless* tanto en línea como en cocheras y aparcamientos, basado en *Moving Block* con intervalo de hasta 60 seg. Las prestaciones del *Moving Block* combinadas con las funcionalidades del Sistema ATS, garantizan una respuesta rápida y eficaz a fluctuaciones en la demanda de viajeros.

A nivel de arquitectura, las funcionalidades ATS residirán en los servidores del PCC, mientras que las del ATP y ATO lo harán en los equipos controladores de zona (*Zone Controllers*) y en los enclavamientos.

En campo, únicamente se requieren balizas de posicionamiento para garantizar un error de posicionamiento mínimo, ya



Estación de Can Zam.



que la transmisión tren-tierra propia del ATC se realizará vía radio a 2,4 GHz, minimizando de este modo la instalación de equipos en túnel. El sistema se completa con los *Carborne Controllers* de los vehículos, que incluyen el equipo ATP/ATO y el equipo radio. Todos sus equipos están conectados entre sí, y con el PCC, a través de una doble red GigabitEthernet dedicada, que permite, sin renunciar a la seguridad, la utilización de equipos de red de mercado, consiguiendo reducir costes y mantener las redes y equipos de seguridad totalmente independientes de las de otros sistemas menos críticos.

A pesar de que el sistema no necesita circuitos de vía, se montarán los mínimos necesarios junto con señalización lateral simplificada para la gestión de situaciones degradadas y para habilitar el movimiento de vehículos sin equipar.

Puesto de Control Centralizado (PCC)

La centralización de los órganos de supervisión y mando se encuentra en el Puesto de Control Central (PCC). La gestión de la Línea se realizará a través de 10 puestos de operador, de los siguientes tipos: de Tráfico, de Estaciones, de Energía, de Ayuda al Usuario, de Coordinación y de Control de Sistemas; y ofrecerán las siguientes prestaciones:

- Monitorización y control del tráfico de trenes.
- Monitorización y telemando de energía, instalaciones fijas y sistema tarifario.
- Monitorización y ajuste bajo petición del PCC o del ATC de los equipamientos electromecánicos de estaciones y túneles,
- Monitorización, establecimiento y grabación de comunicaciones.
- Coordinación de Seguridad y Mantenimiento.

El PCC estará equipado con más de 240 servidores UNÍX, de manera que cada telemando dispondrá de servidores de comunicaciones y servidores de datos, a los cuales se conectarán los puestos de operador a través de una doble LAN de sistemas en tiempo real. Para los distintos telemandos, se dispondrá de un SCADA de propósito general que asegure el cumplimiento de las funcionalidades requeridas (operación en tiempo real; simulación

Sección.

y aprendizaje; reconstrucción de secuencias de explotación y monitorización externa).

La integración se realizará mediante una aplicación de integración y otra de mensajería. Cumpliendo la normativa vigente se dispondrá de un Puesto de Control de Emergencia (PCE) con la dotación mínima para garantizar la operación.

Sistemas de Telecomunicaciones

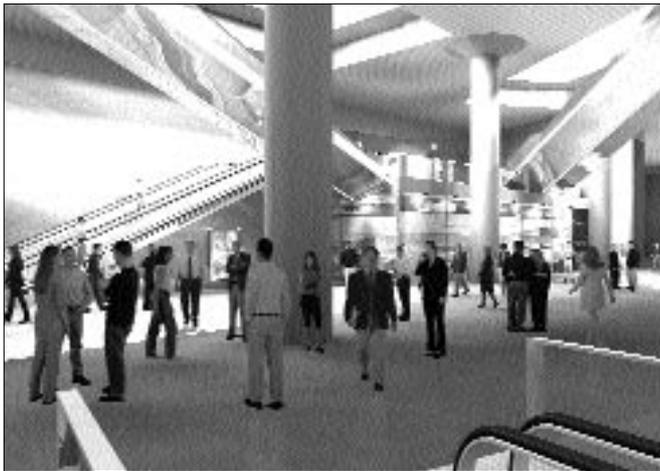
Estos sistemas están diseñados para dar servicio a la explotación, y como soporte de los sistemas de información a los usuarios. Todos están soportados sobre una Red de Transmisión SDH formada por un *backbone* con 4 Nodos STM-16 sobre un anillo de 16 f.o. y una red de acceso con 48 nodos, uno por estación y talleres-cocheras, sobre un STM-4 a través de un anillo de 128 f.o.

En la Red de Transmisión se apoyan otras redes como la red IP, formada por 3 LANs independientes: la LAN A dará servicio a sistemas informáticos, Internet, Intranet, y al sistema tarifario; las LAN B y C son redes de conmutación a nivel 2 y darán servicio a los equipos de comunicaciones y telemandos. La Telefonía (automática, selectiva, de reserva e interfonía) utiliza la misma arquitectura que la Red de Transmisión, disponiendo de un *backbone* principal con 4 centralitas y 8 semianillos de 6 centralitas.

La Red de Radiocomunicación que proporciona comunicación entre el personal de explotación y a nivel tren-tierra (acceso a equipos embarcados de Interfonía, Megafonía y Teleindicadores), estará formada por una red de *trunking digital*, TETRA. Su arquitectura estará basada en 34 estaciones base, controladas por 2 Conmutadores ubicados en el PCC y en el PCE, disponiendo además de unidades repetidoras, cable radiante y antenas para dar cobertura en todas las dependencias.

Por otro lado, las redes de radiocomunicaciones de los Servicios de Emergencia, AGORA(TETRA) y de los *Mossos d'Escuadra*, NEXUS (TETRAPOL) dispondrán también de cobertura en la Línea 9.

Para la transmisión del vídeo embarcado así como de las funciones de telemando del material móvil se dispondrá de una red



Wireless LAN, según el estándar 802.11b. El sistema de videovigilancia, basado en tecnología de video digital comprimido (MPEG/WAVELET), contribuirá a dar seguridad y facilitar la explotación, permitiendo el control de las dependencias desde el PCC.

Por último, los sistemas de Megafonía y Teleindicadores serán los encargados de proporcionar información al pasajero tanto en las estaciones como en los vehículos.

Sistemas de Energía

La característica principal del sistema de suministro y distribución de energía es su alta disponibilidad para asegurar la no interrupción del servicio automático, debido a la gran profundidad de las estaciones y túneles. Su diseño se caracteriza por:

- Red de distribución de energía propio a 30 kV.
- Conexión de esta red a la Red de Transporte en 220 kV a través de dos Subestaciones Receptoras.
- Redundancia e independencia de las Subestaciones Receptoras a los centros de cargas a través de anillos de distribución a 30 kV separando los tipos de cargas: Subestaciones de Tracción, Centros de Transformación de Estaciones y a los Sistemas de Ventilación de Túnel.
- Subestaciones de Tracción dodecafásicas para reducir la emisión de armónicos.
- Sistemas SAI de refuerzo para la alimentación de sistemas críticos

Sistema de cierre de andenes

La Línea 9 estará equipada con un sistema de cierre de andenes para el acceso seguro a los vehículos, formado por paneles fijos y puertas de apertura y cierre automáticas sincronizadas con las puertas del vehículo. Sus principales ventajas son:

- Aumentan la seguridad de los pasajeros, evitando que ningún usuario caiga a las vías.
- Aumentan la superficie útil de los andenes.
- Mejoran la seguridad de la operación, ya que impiden el acceso al túnel de personas no autorizadas.
- Permiten la instalación más eficiente de sistemas de climatización de los andenes.
- En función del material de los cierres de andén permiten generar zonas independientes de fuego.

- Dan a las estaciones aislamiento acústico con respecto al túnel y eliminan el impacto del "efecto pistón" sobre los usuarios.

Otros Sistemas a destacar

Hay que destacar además los siguientes sistemas:

- Las estaciones están equipadas con ascensores de gran capacidad y velocidad para facilitar el acceso a los andenes salvando el gran desnivel existente. Éstos están controlados por el sistema de control inteligente de ascensores que los sincronizará con la llegada de los trenes.
- Sistema tarifario con tecnología de acceso *contactless*.
- Sistema de ventilación de túnel, contra incendios, redes eléctricas, etc.

PERSONAL DE OPERACIÓN

El alto grado de automatización reduce por un lado la cantidad de personal de operación, al no ser requerido personal embarcado, y por otro revaloriza los puestos de trabajo, integrados por profesionales de operación con una alta formación técnica y una implicación en procesos globales de funcionamiento del sistema, a parte de los específicos que sus actividades requieran. Ahora bien, para ofrecer una cara más humana del metro al pasajero, se dispondrá de Agentes de Estación para realizar tareas de Atención al Público y de Gestión Comercial de la estación.

CALIDAD DE TRANSPORTE

En la Línea 9, los aspectos tenidos en cuenta para conseguir un máximo de calidad del servicio, se han basado en la alta velocidad comercial, la regularidad y frecuencia de servicio, especial atención al público, la comodidad del medio y el confort para el pasajero.

Por otro lado se ha garantizado la total accesibilidad para viajeros con minusvalía e impedimentos de movilidad (PMR), en todas las áreas públicas, tanto en estaciones como en el material móvil, diseñando un sistema de información a los viajeros que elimine "puntos ciegos" .

PARTICIPACIÓN DE SENER

SENER ha participado en este importante proyecto realizando diferentes encargos de la Direcció General de Ports i Transports y de GISA (Gestió d'Infraestructures S.A.), responsable de la ejecución del mismo, tales como:

- Análisis de Planificaciones de Proyectos y Obras.
- Proyecto Básico Funcional, en el cual ha sido estudiado, desarrollado y escogido el Modelo de Explotación.
- Pliegos y Proyectos Constructivos de los Sistemas e Instalaciones antes descritos, del Sistema ATC, Sistemas de Comunicaciones, Sistemas de Energía, Sistema Tarifario, Cierre de Andenes y Equipos Electromecánicos.

Actualmente SENER participa en la Supervisión de los Proyectos y la Dirección Facultativa de las Obras de todos estos Sistemas. ■



Ingeniería Avanzada
Soluciones
Innovadoras

Más allá del último teorema de Fermat

AUTOR: ISMAEL JIMÉNEZ CALVO

Ltqij04@pinar2.csic.es

www.terra.es/personal9/ismaeljc/ismael.html

Puede parecer paradójica la importancia que tiene la experimentación en *teoría de números* en comparación con otras áreas de las matemáticas. El conjunto de los números naturales lo definimos de un modo simple y sin artificios, empezando por la unidad y añadiendo a ésta una más y otra más en un proceso infinito. Esto es, contamos, lo que constituye quizás la abstracción mental más sencilla y necesaria. Cabría pensar que este conjunto definido de una manera tan inocente, tuviera también propiedades simples y fácilmente accesibles al razonamiento... La realidad, sabemos perfectamente que no es así.

Después de contar, la humanidad ha tenido la necesidad de dividir, por ejemplo, para crear sistemas de numeración eficientes. De esta manera, se pudo ver que utilizar el seis o el diez como base de numeración tiene sus ventajas. Efectivamente, una docena de huevos la podemos partir en dos, tres, cuatro o seis partes iguales sin tener que recurrir a cascar uno sólo. Es probable que la semana de siete días apareciera a partir de la conveniencia de dividir el mes lunar. Es también presumible adivinar el sentimiento de perplejidad e inquietud frente a este número siete que tan sólo es divisible por la unidad y por sí mismo (hoy decimos que es un número primo) que pudo influir en la función mágica que este número tiene en la Biblia. Aquí pudo estar el Génesis particular de la Teoría de Números que se caracteriza por la dificultad de prever las propiedades de los números y la complejidad, e incluso ausencia, de métodos para su estudio. No existe, por ejemplo, una fórmula que dé la secuencia de números primos y su número y distribución está plagada de misterios. Así, la *conjetura* adquiere una importancia crucial en el desarrollo de la teoría de números como cuando el joven estudiante Gauss conjetura, basado en la experimentación, que la cantidad de números primos menores que n se aproxima a $n/\ln n$. La conjetura más famosa ha sido, sin duda, el llamado último teorema de Fermat cuya demostración se ha demorado tres siglos y medio y que finalmente ha sido felizmente concluida en 1995 por Andrew Wiles, no sin antes haber propiciado el desarrollo de extensos estudios sobre *cuerpos de números algebraicos, curvas elípticas y formas modulares*.

Pudiera parecer que este esfuerzo descomunal, cuyo entendimiento pleno es sólo accesible a contados especialistas, cierra el tema y deja más o menos tranquilos a los matemáticos. La realidad es muy distinta. Existe un buen número de conjeturas antiguas y modernas relacionadas con el último Teorema de Fermat que esperan su veredicto de verdadero o falso. De hecho, en estos últimos años, se están realizando avances importantes que han permitido, por ejemplo, la demostración de la *conjetura de Catalan* de la que se habla más adelan-

te. No son menos importantes, aparte del reto intelectual para el matemático profesional o aficionado, los avances teóricos que se están realizando, al igual que el desarrollo de métodos y algoritmos que son fundamentales en el marco de la moderna criptografía.

EL ÚLTIMO TEOREMA DE FERMAT

Y LA CONJETURA ABC

Es muy conocida la conjetura que hizo Fermat sobre la imposibilidad de que existan soluciones en números naturales para la ecuación

$$x^n + y^n = z^n, \quad (1)$$

donde el exponente n es igual o mayor que 3 y la anotación que hizo el mismo Fermat en el margen de un ejemplar de la *arithmetic* de Diofanto afirmando que tenía una demostración maravillosa para esta proposición. Cuando $n = 2$, la ecuación anterior expresa el teorema de Pitágoras, donde x e y son las longitudes de los catetos de un triángulo recto y z la hipotenusa. En este caso, sí que existen soluciones en números enteros, son infinitas y vienen dadas por

$$x = a^2 - b^2, y = 2ab, z = a^2 + b^2,$$

donde a y b son dos enteros distintos cualesquiera. Este método de calcular las que se conocen como "ternas pitagóricas", no sólo era conocido por Pitágoras sino que también debió serlo en Babilonia hacia el 1600 a.C. ya que se encontró una tablilla de arcilla (la Plimpton 13), donde se listaba en escritura cuneiforme un buen número de ternas. ¿Por qué al incrementar el exponente de 2 a más de 2 pasamos de tener infinitas soluciones fácilmente parametrizables a no tener ninguna? Ahora se sabe que en la ecuación de Fermat y en otras, las propiedades topológicas de las superficies planas que estas ecuaciones definen en el espacio tridimensional juegan un papel importante. En concreto, se había conjeturado por Mordell que las curvas con género superior a uno sólo podían tener un número finito de puntos racionales y, por tanto, también de puntos enteros. El género de una curva depende fundamentalmente del grado o exponente máximo de la ecuación que la define. Finalmente, el matemático alemán Faltings pudo demostrar en 1983 esta conjetura. Otra forma de ver el problema del número de soluciones posibles de una ecuación diofántica es observar que, dentro de los números enteros, los que son cuadrados están dispersos pero los cubos lo están más y así para potencias superiores. Aunque esta observación no demuestra en absoluto nada sobre el número de soluciones posibles, muestra al menos, que éstas son más difíciles de encontrar.

Siguiendo esta línea, el francés Oesterlé observó la ecuación de Fermat desde otra perspectiva distinta que le llevó a formular en 1988 la llamada *conjetura ABC* [4] que es considerada actualmente como la más difícil de demostrar y en cierto modo es la heredera de la conjetura de Fermat que Wiles, al demostrarla, elevó a la categoría de teorema. Según esta perspectiva, el Teorema de Fermat afirma que dada la simplísima ecuación

$$a + b = c$$

en la que sumamos dos potencias de grado superior a 2, $a = x^n$ y $b = y^n$, no podemos obtener una potencia del mismo grado. Relajando más la proposición, se puede afirmar, como se observa en la práctica, que si sumamos dos números a y b que contienen en su descomposición potencias de números primos, será improbable que su suma contenga primos elevados a potencias altas. Para entenderlo, tomamos la igualdad

$$7^3 + 3^{10} = 2^{11} \cdot 29$$

Definimos P como el producto de todos los primos que dividen a a , b o c . En este caso $P = 7 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 29$. Cuando a y b están elegidos al azar, lo más probable es que $P > c$, de tal forma que $c/P < 1$, es decir que expresando $c = P^\alpha$, el exponente α será habitualmente menor que 1. El ejemplo de arriba es un caso excepcional porque $\alpha = 1,54708$. Es más, sólo se conocen cinco casos en los que el α es superior. En concreto, el mayor exponente hallado hasta ahora es 1,62991. La conjetura original de Oesterlé postulaba que α tenía un máximo que no se podía superar. Al año siguiente, Masser demostró que la relación P/c puede ser tan grande como se quisiera. Dicho de otro modo, existen casos en los que la relación $c = kP$ exige que la constante k sea arbitrariamente grande. Consecuentemente, reformuló la conjetura de la siguiente manera: "Para cada valor de ε tan pequeño como se quiera pero siempre superior a cero, existe una constante k dependiente de ε tal que, para cualquier terna de enteros a , b y c tales que $a + b = c$, se cumple que $c \leq kP^{1+\varepsilon}$ ". Esta conjetura ha demostrado tener numerosas implicaciones en las propiedades de los números primos, curvas elípticas, números algebraicos (aquellos que son raíces de polinomios con coeficientes enteros tales como i , $\sqrt{2}$, etc.) además de no mostrar fisuras que permitan aplicar métodos para su demostración o refutación, tanto más, si cabe, que la propia ecuación de Fermat.

Dos décadas antes, Marshall Hall propuso su conjetura sobre la dificultad de ajustar los valores de un cubo y un cuadrado cuando estos no son iguales. Afirmó que el valor absoluto de $x^3 - y^2$, distinto de cero (dicho de otro modo, en casos en que x no es un cuadrado perfecto) está, en cierto modo, acotado por la raíz cuadrada de x (para más información se puede consultar [5]). No es difícil percatarse de que la conjetura de Hall es un caso particular de la conjetura ABC y, por tanto, tiene implicaciones parecidas en otras áreas de la teo-

ría de números. A este respecto, cabe hacer la observación de la importancia de los trabajos computacionales a la hora de obtener evidencias y orientaciones sobre las conjeturas. Si bien el computador se suele quedar desbordado y empequeñecido ante la infinitud de los números, a veces, gracias al hallazgo de un contraejemplo, muestra un poder contundente. Tal es el caso de la conjetura de Euler sobre la imposibilidad de que la ecuación

$$x^4 + y^4 + z^4 = w^4,$$

tenga soluciones enteras. Noam Elkies usó la aritmética de las curvas elípticas para encontrar con el ordenador la siguiente solución:

$$2682440^4 + 15365639^4 + 18796760^4 = 20615673^4$$

que zanja la cuestión y evita a generaciones de matemáticos, el suplicio de buscar una química demostración para una proposición que no es cierta.

LA CONJETURA DE CATALAN

En una carta al editor de la revista *Journal für die reine und angewandte Mathematik*, el matemático belga Eugène Catalan se preguntaba sobre la posibilidad de que dos números consecutivos pudiesen ser potencias perfectas, aparte de 8 y 9 que son un cubo y un cuadrado respectivamente. Esta proposición, lanzada en 1844, equivale a decir que no existen soluciones en números enteros para la ecuación

$$x^u - y^v = 1, \quad x, y, u, v > 1, \quad (2)$$

salvo la mencionada $3^2 - 2^3 = 1$. En su nota, el joven profesor de la *École Polytechnique* de París que debe su fama a este problema y a sus aportaciones dentro del campo de la combinatoria, afirmaba creer que era cierta, aunque no podía demostrarla en todos sus casos. Es fácil ver que una hipotética solución en la que uno o ambos exponentes es compuesto, implica la existencia de otra solución con exponentes primos. Por ejemplo, si $u = pa$ y $v = qb$, p y q primos, tenemos que la ecuación anterior equivale a $(x^a)^p - (y^b)^q = 1$. Basta, por tanto, mostrar la ausencia de soluciones de la ecuación

$$x^p - y^q = 1,$$

con p y q primos, para demostrar la conjetura de Catalan. Todo parece indicar que el matemático Preda Mihăilescu [6], nacido en Rumanía, que estudió y trabajó en Zürich y que, actualmente se encuentra adscrito a la Universidad de Paderborn en Alemania, ha concluido una prueba que cierra un largo proceso de resolución de casos particulares y desarrollo de técnicas que guarda ciertos paralelismos con el que hizo posible la demostración de Wiles del último teorema de Fermat.

A mediados del siglo XIX, era perfectamente conocida la teoría de los números enteros de Gauss. Los números enteros de Gauss son de la forma $a + bi$ donde $i = \sqrt{-1}$ y a y b son números enteros cualesquiera y forman lo que se denomina un dominio de enteros con muchas propiedades similares a las de los enteros habituales. Podemos factorizar un entero de Gauss en factores primos y, además, de forma única, lo que no ocurre con otros dominios de enteros formados a partir de otras raíces irracionales de polinomios. Así, el entero de Gauss compuesto $1 + 5i$, es el producto de los primos $1 + i$ y $2 + 3i$ como se puede comprobar. Esto le permitió a V. A. Lebesgue en 1850 (no confundir con Henri Lebesgue conocido en la teoría de la integración) atacar con éxito el caso $x^p - y^2 = 1$ a través de la factorización

$$x^p = (y + i)(y - i).$$

Sin embargo el caso $x^2 - y^p = 1$ se resistió más de un siglo hasta que el matemático chino Chao Ko lo resolvió en 1961 y lo dio a conocer al mundo occidental en 1964 mediante una publicación en *Scintia Sinica* en 1964, precisamente el año en que comenzó la Revolución Cultural.

Quedaba, por tanto, tratar el caso en el que p y q son dos primos impares cualesquiera. Sin embargo, en la segunda mitad del siglo XX, los esfuerzos para su demostración tomaron un derrotero inesperado. Tijdeman, en 1976, encontró que las posibles soluciones de la ecuación de Catalan debían, caso de que existiesen, ser inferiores a cierta cota. Dicho de otro modo, el número de soluciones posibles en x , y , p y q es finito y, en teoría, pueden ser examinadas por un ordenador zanjando la cuestión definitivamente. Desgraciadamente, la cota proporcionada por Tijdeman era tan desmesurada que la convertía en impracticable. El resultado de Tijdeman se basaba en teoremas propios de la teoría de la aproximación diofántica que trata temas del tipo de, cómo y en qué medida se pueden aproximar números irracionales mediante números racionales. Fue precisamente Liouville, un profesor de Catalan en la Escuela Politécnica de París, el que puso la semilla de estos métodos descubriendo un famoso teorema sobre la aproximación de números irracionales algebraicos (aquellos que son raíces de polinomios). Posteriormente, se pudo constatar que esos teoremas sobre la aproximación de números racionales, imponían cotas finitas a la solución de ciertas ecuaciones diofánticas. Tijdeman se basó en un resultado previo de Baker de 1972 sobre formas lineales en logaritmos. Anecdóticamente, Liouville, no sólo puso los medios para el avance en la comprensión de la ecuación de Catalan, sino que también le pudo ayudar personalmente proporcionándole un modesto puesto de profesor ayudante (répétiteur) de geometría descriptiva, ya que sus tendencias políticas de izquierda no obraban a su favor.

A partir de ese momento, parecía que el problema podría alcanzar su solución mejorando la cota de Tijdeman y en-

contrando condiciones adicionales que restringiesen el número de soluciones a comprobar por el ordenador. A esta tarea se aplicaron matemáticos como Inkieri, Steiner, Mignotte y el propio Mihăilescu. Cassels, ya en 1960 demostró que x debe ser divisible por q , a la vez que y debe serlo por p . Inkieri y Steiner demostraron que p y q deben cumplir la doble condición

$$p^{q-1} \equiv 1 \pmod{q^2}, \quad q^{p-1} \equiv 1 \pmod{p^2},$$

lo que se denomina un par de primos de Wieferich (por analogía con el papel que juegan los primos de Wieferich en el último teorema de Fermat), propiedad que cumplen escasos pares de primos. Inicialmente, tanto Inkieri como Steiner debían incluir ciertas condiciones adicionales, pero finalmente Mihăilescu en 2000 pudo demostrar que, incondicionalmente, un par (p, q) en la ecuación de Catalan debe ser necesariamente un par de primos de Wieferich. Además, fue más allá que Cassels demostrando que x debe ser divisible por q^2 e y por p^2 .

Aún así, el problema seguía siendo no computable en la práctica. Mihăilescu, que procedía del área de la criptografía, lo denominaba coloquialmente como "problema criptográficamente seguro". Sus trabajos precedentes, en el *Institute of Scientific Computing* de Zürich, estaban relacionados con pruebas de primalidad y generación de "primos seguros" en algoritmos criptográficos. Para este menester utilizó los cuerpos ciclotómicos que son extensiones del cuerpo de los números racionales al que se le "añade" una raíz p -ésima de la unidad $\zeta = e^{2\pi i/p}$ (de una forma parecida a cómo se obtiene el cuerpo de los números imaginarios adjuntando la raíz cuadrada de -1 al cuerpo de los números reales). Los cuerpos ciclotómicos juegan un papel preponderante en la solución del problema de Catalan. De hecho, la ecuación de Catalan se puede expresar de la siguiente manera:

$$(x-1) \frac{x^p-1}{x-1} = y^q,$$

donde $\frac{x^p-1}{x-1}$ factoriza en el cuerpo ciclotómico $\mathbb{Q}(\zeta)$.

El 18 de abril de 2002, Mihăilescu envió un manuscrito al *Journal für die reine und angewandte Mathematik*, la misma revista que acogió el problema planteado por Eugène Catalan en 1844, con una prueba para la conjetura. La prueba radica en que las soluciones posibles de la ecuación de Catalan son incompatibles con las propiedades de los cuerpos ciclotómicos. En el momento de redactar estas líneas, el artículo no ha sido aún aceptado por la revista, pero todo apunta a que la prueba será dada por válida ya que ha sido aceptado para publicación en el *Bulletin of the American Mathematical Society* un artículo de Tauno Metsänkylä donde avala y explica la demostración de Mihăilescu. La prueba está igualmente avalada por Yuri Bilu mediante un escrito donde la describe y comenta.

LA ECUACIÓN GENERALIZADA

DE FERMAT-CATALAN

Y LA CONJETURA DE BEAL

¿Qué ocurre cuando, en la ecuación de Fermat (1), permitimos que los exponentes sean números cualesquiera superiores a 1 y no necesariamente iguales?

$$x^a + y^b = z^c, \quad a, b, c > 1. \quad (3)$$

Podemos ver que la ecuación de Catalan (2) es un caso particular de ésta última, si la ponemos en la forma $x^a + 1^b = z^c$. Aquí tenemos que hacer una distinción importante que no hacíamos en el caso de la ecuación de Fermat. Si x , y y z comparten un factor común en la ecuación de Fermat, debido a que los tres exponentes son iguales, este factor se puede eliminar. Sin embargo, la ecuación (3) no es homogénea y este caso no se puede obviar sin más. En el primer caso, cuando x , y y z comparten un factor común podemos encontrar fácilmente soluciones en números enteros para muchas familias de exponentes. Este es el caso de la identidad

$$(rt)^a + (st)^a = t^{a+1},$$

para cualquier terna (r, s, t) en la que $t = r^a + s^b$. Por tanto, centramos nuestra atención en las llamadas "soluciones propias" en las que x , y y z son primos entre sí. Desde antiguo, se han tratado algunos casos particulares pero, en la actualidad, se ha completado el conocimiento básico de todo los casos posibles que dependen del valor de $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c}$, en la forma siguiente:

Caso 1: $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} = 1$

Sólo existe la solución $2^3 + 1^6 = 3^2$ que coincide con la única solución de la ecuación de Catalan. Las soluciones del tipo $x^3 + y^3 = z^3$ son un caso particular de la ecuación de Fermat que Euler ya demostró como imposibles. Las soluciones del tipo $x^4 + y^4 = z^2$ también son imposibles según demostró el mismo Fermat. Recordamos aquí que, ya que una cuarta potencia es también un cuadrado, Fermat estaba demostrando su conjetura para el caso $n = 4$. Lo que hizo Fermat fue tomar las soluciones para las ternas pitagóricas $X^2 + Y^2 = z^2$ y demostrar que X e Y no podían ser ambos un cuadrado. Para esto, utilizó el método del *descenso infinito* descubierto por él.

Caso 2: $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} > 1$

Las soluciones son infinitas y se pueden expresar en función de parámetros como ocurre con ternas pitagóricas que entran dentro de este epígrafe. Este caso comprende aquellos en los que (a, b, c) toman los valores de las ternas $(2, 2, c)$ con $c \geq 2$, $(2, 3, 3)$, $(2, 3, 4)$ y $(2, 3, 5)$, en cualquier orden. Recientemente Fritz Beukers [7] logró encontrar todas las soluciones para las ternas $(2, 2, c)$ con $c > 2$, $(2, 3, 3)$, $(2, 3, 4)$ y su alumno Johnny

Edwards [8] ha caracterizado las correspondientes a la terna $(2, 3, 5)$ aplicando la teoría de invariantes de las *formas de Klein*.

Caso 3: $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} < 1$

Los exponentes son superiores a aquellos que se presentan en los casos anteriores. Por lo que hemos visto hasta ahora sobre la conjetura ABC, cabe suponer que las soluciones, si es que existen, deben ser menos abundantes que en el caso 2. De hecho, son finitas para cada terna (a, b, c) como han demostrado Darmon y Granville [9] aplicando un teorema de Faltings ya mencionado anteriormente. Sin embargo, permanece abierta la cuestión de si el número de soluciones es finito para todas las ternas posibles, lo que se conoce como *conjetura de Fermat-Catalan*.

Desde principios de los años noventa, se han estado buscando ejemplos del caso 3 con el ordenador. En diciembre de 2002, Henri Cohen [10] anunciaba el resultado de una búsqueda sistemática con potencias por debajo de 2^{93} que ha encontrado únicamente doce ejemplos que van desde el simple $2^5 + 7^2 = 3^4$ hasta el más complicado $43^8 + 96222^3 = 30042907^2$. En todos los casos, uno de los exponente es 2, lo que, según se afirma, no pasó desapercibido desde un principio. No sin cierta polémica entre medias, el matemático aficionado Andrew Beals, propuso la conjetura de que no existe ningún caso en el que todos los exponentes sean superiores a 2, con x , y y z coprimos y $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} < 1$ [11]. Beals, empresario y poseedor de un banco en Texas, hizo algo más. Ofrece 100.000 dolares al que encuentre una demostración para su conjetura, que sea aceptada en el mundo académico o para aquel que encuentre un contraejemplo que demuestre su falsedad. ■

BIBLIOGRAFÍA

- [1] W. J. LeVeque. *Fundamentals of Number Theory*. (1977). Edit. Dover Publications, inc. New York.
- [2] I. Niven, H. S. Zuckerman y H. L. Montgomery. *An introduction to the theory of numbers* (1991). Edit. John Wiley and sons, inc. New York.
- [3] S. Singh. *El enigma de Fermat*. (1997). Edit. Planeta. Barcelona.
- [4] <http://www.math.unicaen.fr/%7Enitaj/abc.html>.
- [5] <http://www.terra.es/personal9/ismaeljc/hall.html>
- [6] <http://www-math.uni-paderborn.de/~preda>.
- [7] F. Beukers *The Diophantine equation $Ax^p + By^q = Cz^r$* . *Duke Math.* **91** (1998), 61-88.
- [8] <http://www.math.uu.nl/people/edwards>
- [9] H. Darmon y A. Granville *On the equation $z^m = F(x, y)$ and $Ax^p + By^q = Cz^r$* . *Bull. London Math. Soc.* **27** (1995), 513-543.
- [10] <http://www.math.u-bordeaux.fr/~cohen/fermatgen>.
- [11] R. Daniel Mauldin *A generalization of Fermat's last theorem: The Beal conjecture and prize problem*. *Notices of the AMS* **44** (1997), 1436-1437.

Valores de calidad en la agricultura mediterránea

AUTORES: A. GARCÍA-ÁLVAREZ, J. LÓPEZ-PÉREZ,
A. BELLO, M. ARIAS
*Dpto Agroecología, CCMA, CSIC.
Serrano 115 dpdo, 28006 Madrid.*

Se propone la necesidad de diseñar un modelo nuevo de agricultura que tenga en cuenta la demanda de los consumidores, que están interesados no sólo por una mayor seguridad alimentaria, sino también por el impacto ambiental y social de la producción agraria. Se considera que la agricultura convencional, basada en normas agroindustriales rígidas, forma parte del pasado y están emergiendo nuevos modelos de agricultura que utilizan el manejo ecológico de los sistemas agrarios como referencia, basado en el manejo de la diversidad biológica, ambiental y cultural. Se analiza la agricultura mediterránea como modelo agroecológico de diversidad, que puede servir de referencia para el desarrollo de sistemas productivos nuevos, con eficacia en el manejo de nematodos. Modelo que puede además utilizarse como referencia para nuevas propuestas de agricultura que satisfagan la demanda de seguridad alimentaria y ambiental, así como el desarrollo de un modelo de producción mucho más sustentable.

Los modelos agrarios convencionales, basados en planteamientos tecnológicos dependientes del uso de grandes insumos externos, se han desarrollado a partir de consideraciones productivistas, que conducen a un mayor impacto de la agricultura sobre el medio ambiente y a la degradación de recursos fundamentales, como agua y suelo. Este tipo de agricultura ha olvidado los valores de la cultura agraria tradicional y ha dirigido su esfuerzo a la obtención de productos homogéneos, en los que solamente se busca la apariencia estética del producto. Los consumidores están preocupados cada vez más por aspectos relacionados con la seguridad alimentaria y quieren conocer los procesos productivos, exigiendo garantías de que el sistema de producción no afecta a su salud y al ambiente.

Es necesario el desarrollo de un nuevo modelo agrario que, dejando a un lado los principios productivistas, tenga como objetivo la rentabilidad global del agrosistema, manejando conceptos que estén basados en un mejor conocimiento y comprensión del funcionamiento de los sistemas agrarios. El conocimiento de los procesos y elementos claves en su funcionamiento permitirá potenciar su capacidad de autorregulación, reduciendo el uso de insumos externos y disminuyendo los costes económicos, ambientales y los riesgos para la salud de los ciudadanos.

Se pretende analizar lo que puede aportar la cultura agraria mediterránea en el diseño de un nuevo modelo de producción, basado en la utilización de criterios ecológicos. Para ello es necesario establecer un concepto claro de lo que se entiende por "lo mediterráneo", y definir lo que este concepto aporta al desarrollo de un nuevo modelo de agricultura. En este sentido, se analizarán diferentes sistemas de cultivo que tienen una dependencia mínima de insumos energéticos o de agroquímicos y basan su funcionamiento en las integraciones ecológicas entre los diferentes elementos del sistema (Francis & King, 1998; Vandermeer, 1995).

ELEMENTOS CARACTERÍSTICOS

DE "LO MEDITERRÁNEO"

A finales del Terciario surgen nuevas condiciones ambientales que darán lugar a los ambientes mediterráneos actuales, introduciendo factores que determinan la estacionalidad, con un período frío durante el invierno, épocas de lluvia en primavera y otoño y una estación cálida durante el verano. Estas características ambientales se pueden definir como de "clima mediterráneo", y se establecen en el espacio geográfico de la cuenca del Mediterráneo, a lo que alude su denominación, aunque también se encuentran en otras áreas de California en el hemisferio norte, así como en la parte central de Chile, Sudáfrica y dos áreas separadas del sur de Australia, todas ellas en el hemisferio sur (Di Castri, 1981).

Los ambientes mediterráneos se caracterizan por su diversidad ambiental, con condiciones climáticas que pueden recordar a las zonas templadas en las estaciones frías, otoño e invierno, mientras que en las épocas de mayor temperatura y humedad, las estaciones de primavera y verano, se asemejan más a los ambientes subtropicales o tropicales. Por ello, la región mediterránea constituye un área de frontera o ecotono, en la que tiene lugar la confluencia de elementos biogeográficos representativos de ambientes tropicales y templados. La gran diversidad de los ecosistemas mediterráneos no reside solamente en las especies vegetales y animales que viven en el sistema aéreo, sino también en la biocenosis edáfica. Dicha diversidad mantiene la capacidad de autorregulación y sustentabilidad de los agrosistemas mediterráneos (Bello, 1998).

La gran diversidad de cultivos en la región mediterránea, intercalados con sistemas agroforestales, contribuye a crear un paisaje heterogéneo que da lugar a una distribución del espacio en teselas y permite la concentración es-

pacial de un gran número de especies y ambientes, que son esenciales para mantener la capacidad de autorregulación de los agrosistemas. Hay que destacar los sistemas adeshados por su importancia en la integración de agricultura, ganadería y conservación de los recursos, tales como el suelo y el agua. Todo ello nos refiere a los conceptos de multifuncionalidad y complementariedad en el uso del territorio (Ibáñez *et al.*, 1997).

La diversidad ambiental y biológica de la región mediterránea es el punto de partida para el desarrollo de la diversidad cultural, que puede servir de referencia tanto para la gestión armónica de los recursos naturales como para el manejo de los sistemas agrarios. La cultura mediterránea tiene como base la integración de importantes culturas antiguas, asimilando costumbres y pautas de comportamiento que han dado lugar a una sabiduría tradicional en la gestión de los sistemas agrarios, integrando los conocimientos culturales del Mediterráneo con las aportaciones de otras culturas asiáticas y americanas. Esto es posible debido a su gran diversidad geomorfológica, cuyas formaciones montañosas aíslan la cuenca mediterránea de la influencia de los ambientes más fríos centroeuropeos, a lo que hay que añadir el efecto de los ambientes áridos y cálidos del Sahara y la influencia del mar, lo que permite establecer relaciones de verticalidad, que son esenciales para seleccionar criterios espaciales de gestión, que son fundamentales en el funcionamiento de los agrosistemas mediterráneos y en el desarrollo de modelos agroecológicos con una elevada sustentabilidad.

“LO MEDITERRÁNEO”

EN EL DESARROLLO DE UN NUEVO

MODELO AGROECOLÓGICO

Es necesario subrayar que el futuro de la agricultura pasa por conocer el manejo de la diversidad, no como elemento de discordancia, sino como vía de creatividad en el diseño de pautas de gestión de los sistemas productivos, esa sería la aportación de “lo mediterráneo” al desarrollo de un nuevo modelo agroecológico, basado en la armonización de la diversidad de nuestra cultura y el reconocimiento de la heterogeneidad de los sistemas agrarios.

El manejo de la geomorfología, puede ejemplarizarse en la utilización de terrazas y solanas para la implantación de viñedos y la obtención de productos de la vid, de una gran variedad y calidad, que difícilmente se pueden inventariar. Surge la distribución de los cultivos teniendo en cuenta sus exigencias térmicas en las solanas, umbrías y fondos de valle, transformando desiertos en vergeles.

La rotación de cereales, leguminosas y plantas oleaginosas, que caracterizan a los cultivos extensivos de secano, la complementación de los setos vivos, así como el

matorral y la vegetación marginal de los bosques permiten armonizar ganadería y agricultura extensiva, creando una producción de calidad, en la que cada uno de esos elementos tiene una función destacada en la autorregulación de los sistemas agrarios.

Los modelos hortofrutícolas del litoral mediterráneo alcanzan la máxima expresión en sistemas como las “sorríbas” de Canarias, los sustratos volcánicos, que son esenciales para la regulación de la humedad, o los enarenados de Almería (Martín *et al.*, 1993). Las cubiertas vivas de oxalis en los huertos de naranjos de Valencia, son elementos que protegen contra las heladas y las enfermedades de la fruta y no requieren laboreo, lo que implica un alto ahorro energético. Hay que destacar la selección de variedades adaptadas a condiciones locales o la economía del agua a través del manejo de las nuevas tecnologías, como el riego por goteo.

Los sistemas agrarios tradicionales son el resultado de siglos de adaptación biológica y evolución cultural, y representan la experiencia acumulada, que es insustituible en el manejo de los agrosistemas. Es necesario conocer la diversidad funcional de los cultivos, así como definir los elementos y procesos esenciales en el funcionamiento de los agrosistemas, para resolver la “crisis agraria” y “ecológica” que actualmente padecemos.

LOS SISTEMAS AGRARIOS

MEDITERRÁNEOS COMO SISTEMAS

SUPRESIVOS DE PATÓGENOS

En los sistemas agrarios mediterráneos aparecen numerosos organismos patógenos, debido a su gran diversidad biológica y ambiental, que son el reflejo de la gran diversidad potencial de los patosistemas. Sin embargo, si examinamos los sistemas agrarios tradicionales, se comprueba que existe gran número de técnicas basadas en la gestión ecológica de los cultivos que impiden el desarrollo de plagas y enfermedades. Todo ello nos permite acuñar una nueva definición de la protección de cultivos, como: “la parte de la agronomía que permite mantener o recuperar la capacidad de autorregulación de los cultivos, impidiendo el desarrollo de plagas y enfermedades”.

Las diferencias ambientales han sido utilizadas en el manejo de los cultivos que se han ido implantando en el mediterráneo, creando sistemas tradicionales de gestión que han conseguido regular las poblaciones de organismos patógenos, estableciendo auténticos sistemas supresores de plagas y enfermedades, que sobrepasan el concepto básico de suelo supresivo o resistente, desarrollado por las escuelas de fitopatólogos francesas y americanas.

El diseño de sistemas para el manejo de organismos pa-

tógenos de cultivos hortícolas, desde la óptica de la ecología y la producción integrada, debe tener en cuenta que junto a especies patógenas, existen en el suelo gran número de organismos cuya función es determinante para mantener la fertilidad global del suelo, así como para asegurar la capacidad de autorregulación de los sistemas agrarios (Tello & Bello, 1995).

En el caso concreto de los nematodos del suelo, puede destacarse en primer lugar el grupo de los saprófagos, que intervienen activamente en los procesos de transformación de la materia orgánica y en la dinámica de la microflora del suelo, responsable del reciclado de nutrientes y de mantener la fertilidad del suelo. Los nematodos pueden actuar como antagonistas de los organismos patógenos, como es el caso de los nematodos bacteriófagos y micófagos. En segundo lugar hay que señalar, desde el punto de vista de la ecología de un cultivo, la presencia de nematodos entomopatógenos, que regulan las poblaciones de insectos parásitos. Por último, los nematodos depredadores, que pueden actuar en el control de las poblaciones de especies parásitas. Todos estos grupos, junto a otros organismos que forman parte de la microfauna y microflora del suelo y cuya acción es beneficiosa, pueden ser eliminados con la aplicación irracional de agroquímicos.

Para el manejo de los organismos patógenos de origen edáfico en protección de cultivos, se han abierto nuevas vías de investigación a partir de la función de la materia orgánica en el suelo que, a través de los procesos de descomposición, produce gases cuya acción fumigante puede tener efecto en el control de organismos patógenos de los vegetales. Este proceso ha sido definido como biofumigación (Bello, 1998) y ha sido incluido por el "Methyl Bromide Technical Options Committee" (MBTOC), perteneciente al Protocolo de Montreal, como una alternativa no química al bromuro de metilo (BM) (MBTOC, 1998). En España existen buenos ejemplos de su aplicación en cultivos de hortalizas, fresón, pimiento, tomate, cítricos, frutales, platanera, viñedos y flor cortada. Los biofumigantes más utilizados han sido estiércol de cabra, oveja y vaca, así como restos de arroz, champiñón, aceituna, brasicas y jardín. Se ha demostrado que este método tiene la misma eficacia que los pesticidas convencionales en el control de nematodos, hongos, insectos y plantas adventicias (Bello, 1998; Bello *et al.*, 2003).

La Biofumigación es una alternativa de fácil aplicación para agricultores y técnicos, ya que sólo se diferencia de las enmiendas con materia orgánica en la elección del biofumigante, que debe estar en vías de descomposición, y en el método de aplicación, que debe tener en cuenta la necesidad de retener los gases biofumigantes producidos en la biodescomposición de la materia orgánica al menos durante dos semanas, ya que su efecto en la mayoría de los casos no es biocida sino bioestático, por lo que es neces-

rio prolongar en el tiempo su acción sobre los patógenos. Se ha demostrado que cualquier residuo agroindustrial, o sus combinaciones, que presente una relación C/N comprendida entre 8-20, puede tener efecto biofumigante, pudiendo identificarse con facilidad por el agricultor, ya que tiene un olor característico de amoníaco (Bello *et al.*, 2003).

PRODUCCIÓN INTEGRADA

Y ELIMINACIÓN DEL BROMURO

DE METILO (BM)

En la IV reunión del Protocolo de Montreal (PM) celebrada en Copenhague (noviembre, 1992) se planteó la retirada del BM por su efecto destructor de la capa de ozono estratosférico, creándose un comité de expertos "Methyl Bromide Technical Options Comité" (MBTOC) con el fin de encontrar alternativas, y el "Technology and Economic Assessment Panel" (TEAP) para evaluar económicamente dichas alternativas. Las conclusiones del TEAP son que se adopten cuanto antes las alternativas en los lugares donde existan, puesto que los productores cada año irán mejorando las técnicas de aplicación, reduciéndose cada vez más las diferencias económicas entre las alternativas y el BM (MBTOC, 1998).

En la UE la fecha de supresión del BM será el año 2005 salvo para los usos críticos, en cuyo caso hay que esgrimir argumentos técnicos, económicos y sociales contundentes, con una retirada gradual del 60% en el 2001 y el 75% en el 2003. Los expertos de la UE consideran que si el 40 % de agricultores utilizaran medidas de reducción de dosis y un 50 % usaran otras alternativas, se podría alcanzar un 90 % de reducción. Con todo ello, se demuestra que el BM puede eliminarse rápidamente en la UE, siendo las alternativas económica y técnicamente viables en la mayoría de los casos (Tierney, 2000).

Los usos críticos de BM solicitados por España (Fig. 1) se han centrado en la producción de fresa (Huelva), viveros de fresa (Castilla y León), cultivo de pimiento (Murcia) y flor cortada (Andalucía y Cataluña). Últimamente, con la entrada en vigor de los reglamentos de producción integrada y la utilización de la técnica de bandejas flotantes en los semilleros de tabaco, prácticamente se ha eliminado la utilización del BM en este cultivo. Por otro lado, el BM es un pesticida prohibido en la mayoría de los reglamentos de los sistemas de producción integrada (ICM), que ocupan más de un millón de hectáreas en nuestro país.

En España se vienen empleando como alternativas al BM variedades resistentes, injertos, sustratos artificiales y naturales, como los enarenados del sur de la península y Canarias, biofumigación, rotación de cultivos y barbechos, planificación de la época de plantación, medidas preventivas en semilleros y control químico. No se utiliza vapor

de agua por el alto coste de la técnica. Durante el verano los fenómenos de solarización ocurren de forma natural, pero esta técnica, en general, no está difundida entre los agricultores (Tello, 2000).

En el diseño de los sistemas ICM se viene empleando la biofumigación con solarización en los meses de julio-septiembre, la rotación de cultivos de ciclo corto que actúan como plantas trampa y biofumigantes, la utilización de variedades resistentes e injertos y, en último caso, cultivos sobre sustratos (Bello & López Pérez, 2002). Estas alternativas no suponen costes adicionales en la mayoría de los casos. Sin embargo, son necesarios agricultores y técnicos altamente cualificados para poder seleccionar en cada momento la alternativa adecuada que haga el cultivo rentable y no sea impactante sobre la salud y el medio ambiente. En caso necesario se pueden aplicar dosis reducidas de pesticidas y la combinación de alternativas químicas y no químicas.

CONCLUSIONES

La agricultura mediterránea, basada en la diversidad ambiental, biológica y cultural, constituye la máxima expresión de una agricultura diversificada, y puede servir para el desarrollo de un modelo agroecológico en una nueva agricultura, pero sobre todo de una agricultura basada en criterios ecológicos y preocupada por sus repercusiones sociales, su impacto ambiental y la salud de los ciudadanos.

Los sistemas tradicionales mediterráneos difieren sustancialmente de los sistemas agrarios convencionales que, basados en planteamientos tecnológicos propios de modelos productivistas, han dado lugar a una agricultura industrializada que preocupa a los consumidores por el impacto que está teniendo en la seguridad alimentaria, así como en el deterioro del ambiente y de los agrosistemas.

Hay que destacar que en la agricultura española no se utiliza bromuro de metilo en la mayoría de las regiones autónomas o en cultivos como tomate, que es el de mayor consumo de este fumigante en el mundo. Tampoco se utiliza BM en hortalizas, frutales, cítricos, viñedos, o platanera, mientras que para el tabaco se han encontrado alternativas eficaces. Por ello todos estos cultivos pueden servir como referencia a escala mundial, en la búsqueda de alternativas al BM.

Es necesario subrayar que el futuro de la agricultura está en saber manejar la diversidad, no como elemento de discrepancia y conflicto, sino como una vía de creatividad en el diseño de modelos de gestión de los sistemas productivos. Esa sería la aportación de "lo mediterráneo" en el desarrollo de un nuevo modelo agroecológico, basado en la armonización de la diversidad de nuestra cultura y, sobre todo, en el mestizaje con modelos agrarios procedentes de otras regiones, fundamentalmente de latinoamérica. ■

BIBLIOGRAFÍA

- Bello, A. (1998). Biofumigation and integrated pest management. In: Bello, A., González, J.A., Arias, M. & Rodríguez-Kábana, R. (Eds). *Alternatives to Methyl Bromide for the Southern European Countries*. Valencia, Spain, Phytoma-España, DG XI EU, CSIC, pp. 99-126.
- Bello, A. & López-Pérez, J.A. (2002). Manejo integrado de nematodos en cultivos protegidos. *Phytoma-España* 135, 131-141.
- Bello, A., López-Pérez, J.A., Díaz-Viruliche, L. & Tello, J. (2001). Alternatives to methyl bromide for soil fumigation in Spain. In: Labrada, R. & Fornasari, L. (Eds). *Global Report on Validated Alternatives to the Use of Methyl Bromide for Soil Fumigation*. Rome, Italy, FAO 166, 33-46 pp.
- Bello, A., López-Pérez, J.A. & García Álvarez, A. (2003). *Biofumigación en Agricultura Extensiva de Regadío. Producción Integrada de Hortícolas*. Alicante, Spain, Mundi Prensa - Fundación Ruralcaja, 670 pp.
- Di Castri, F. (1981). Mediterranean-type shrublands of the world. In: Di Castri, F., Goodall, D.W. & Specht, R.L. (Eds). *Mediterranean-type Shrublands, Ecosystems of the World*, vol 11. Amsterdam, The Netherlands, Elsevier, pp. 1-52.
- Francis, C.H. & King, J.W. (1998). Cropping systems based on farm derived from renewable resources. *Agricultural Systems* 27, 65-67.
- Ibáñez J.J., García Álvarez, A. & González Rebollar, J.L. (1997). Desarrollo sostenible y biodiversidad en la agricultura mediterránea tradicional. El uso múltiple en los sistemas adeshados extremeños. In: García Ruiz, J.M. & López García, P. (Eds). *Acción Humana y Desertificación en Ambientes Mediterráneos*. Zaragoza, Spain, Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC, pp. 221-244.
- Martín V., Rodríguez Brito, W. & Bello, A. (1993). Ecological aspects of production in the Canary Islands: Traditional Agrosystems. In: Bunce, R.G.H., Ryszowski, L. & Paoletti, M.G. (Eds). *Landscape, Ecology and Agroecosystems*. Boca Raton, USA, Lewis Publishers, pp.215- 227.
- MBTOC. (1998). *Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee. 1998 Assessment of Alternatives to Methyl Bromide*. UNEP, Nairobi, Kenya, 354 pp.
- Tello, J. (2000). Tomato production in Spain without methyl bromide. *Regional Workshop on Methyl Bromide Alternatives for North Africa and Southern European Countries*. Paris, France, UNEP, 161-172.
- Tello J. & Bello, A. (1995). El suelo como ente vivo. La rizosfera, los hongos y los nematodos fitopatógenos en la "memoria del suelo". *Prácticas Ecológicas para una Agricultura de Calidad*, pp. 506-516.
- Tierney, G. (2000). Methyl Bromide: Legislative and regulatory approaches in the European Community. *Regional Workshop on Methyl Bromide Alternatives for North Africa and Southern European Countries*. Paris, France, UNEP, 97-106.
- Vandermeer J. (1995). The ecological basis of alternative agriculture. *Annual Review of Ecology and Systematics* 26, 201-224.

Trasplantes hoy y mañana

AUTOR: RAFAEL MATESANZ

Director General del Centro Nacional de Trasplantes
y Medicina Regenerativa
C/ Sinesio Delgado 8. 28029- MADRID
Correo electrónico: rafmatesanz@yahoo.es

Los trasplantes de órganos y tejidos pueden considerarse antes que nada como una forma distinta y característica de entender determinados aspectos de la medicina. Allí donde las medidas preventivas no han podido llegar a tiempo, donde las terapias médicas o quirúrgicas se han mostrado ineficaces para detener el avance de la enfermedad, el único enfoque posible es reemplazar siquiera parcialmente las funciones del órgano esclerosado por una máquina (como en el caso de la diálisis), o bien su sustitución por otro órgano o tejido sano procedente de un individuo de la misma especie (1).

Esta posibilidad, intuita desde hace siglos pero hecha posible gracias a los avances médicos y quirúrgicos hace sólo unas pocas décadas, representa filosóficamente la consecución de una de las panaceas de la medicina: la *restitutio ad integrum* del órgano o de cualquier estructura, por compleja que fuere, destruida por la enfermedad.

De este planteamiento general de lo que son los trasplantes, le vienen gran parte de sus grandezas y miserias. Por una parte, se trata de unas terapias de vanguardia con las que todos los días se consigue devolver la vida y/o la salud a numerosos enfermos sin otra posibilidad terapéutica salvadora. La gran paradoja radica, sin embargo, en el hecho de que para que ello sea posible es preciso que fallezcan otras personas en circunstancias muy especiales: **la muerte encefálica**, así como que exista todo un complejo y costoso dispositivo sanitario que haga posible la obtención de estos órganos. Es decir, los trasplantes de órganos son por definición **escasos y costosos**, dado que tan sólo resultan técnicamente posibles en el seno de una estructura sanitaria relativamente compleja, algo desgraciadamente no al alcance de todos los países del mundo.

Sólo un 1-2% de las personas que fallecen en un hospital de nuestro medio, lo hacen en muerte encefálica, y de ellos un porcentaje variable pero que puede superar con creces el 50% no son donantes adecuados por razones de edad, presentar procesos transmisibles (infecciosos o tumorales), por carecer de autorización familiar o simplemente por no poder ser detectados o mantenidos adecuadamente (2). Se comprende fácilmente por ello otro hecho fundamental: la disponibilidad de órganos de cadáver para trasplante es, por definición, muy limitada y desde luego inferior a la demanda.

Esta desproporción oferta-demanda, si bien puede verse en parte paliada por acciones específicas, tal y como ocurre en España, gracias a nuestro peculiar sistema organizativo (3-5), lo cierto es que lejos de resolverse tiende a agravarse en la gran mayoría de los países desarrollados (los únicos en los que, por desgracia, es posible el trasplante) por varios motivos:

1. Aumento progresivo de las indicaciones y de la edad de los receptores ante los buenos resultados conseguidos.
2. Extensión y/o mejor detección de enfermedades transmisibles, en especial en los grupos de población joven susceptible de donar determinados órganos (Ej.: el VIH y los virus B y C).
3. Rechazo crónico de injertos antiguos con pérdida progresiva de los mismos.
4. Demanda acumulada previa.

De todo lo expuesto hasta ahora se induce que, si bien los trasplantes en general constituyen un conjunto de terapias de eficacia demostrada en la mayoría de los casos, su disponibilidad para toda persona susceptible de beneficiarse de ellos tiene como factor limitante fundamental la siempre relativa escasez de órganos. A diferencia de otros modernos procedimientos diagnósticos o terapéuticos en los que existe una relación directa entre el volumen de recursos humanos y económicos dedicados y los pacientes tratados, no ocurre lo mismo con los trasplantes por las razones antes aludidas, lo que no quiere decir, por descontado, que los recursos empleados y los resultados conseguidos sean magnitudes independientes ni mucho menos, pero la atención preferente a la obtención de órganos es la que va a proporcionar una relación coste-beneficio más adecuada y va a permitir por tanto que un mayor número de personas pueda beneficiarse de estas terapias.

PERSPECTIVA HISTÓRICA

Se entiende fácilmente que un conjunto de procedimientos tan heterogéneo como los trasplantes de órganos y tejidos, paradigma de la medicina moderna y del trabajo en equipo no pueden tener un solo padre o descubridor sino que son más bien el resultado del trabajo de muchos clínicos e investigadores a lo largo del último siglo. Aun a riesgo de una excesiva simplificación, es preciso citar a **Alexis Carrel** por sus contribuciones a las suturas quirúrgicas vasculares a principio de siglo, a Joseph Murray por la realización del primer trasplante renal funcional en los años cincuenta, a **Christian Barnard**, **Thomas Starzl** y **Richard Lillehei** por los primeros trasplantes de corazón, hígado y páncreas respectivamente en los años sesenta, a **Jean Dausset** por el descubrimiento de los sistemas de histocompati-

bilidad y a **Donald Thomas** como padre incuestionable del trasplante de médula.

A ellos habría que unir los innumerables avances registrados en la anestesia, la cirugía, el manejo perioperatorio de los enfermos, la mejor tecnología, los medicamentos más avanzados en todos los órdenes, que son los que han hecho posibles que estos procedimientos sean hoy una alternativa terapéutica de primer orden para multitud de enfermos. Un lugar muy especial en esta escala de valores lo ocupan los inmunosupresores, desde los esteroides y la azatioprina de los primeros tiempos a los modernos fármacos como la ciclosporina, el tacrolimus el mofetil-micofenolato y tantos otros, que permiten mediante su combinación en diversos protocolos, reducir al máximo la reacción de rechazo que inevitablemente tiende a desarrollar el organismo del enfermo ante la introducción de un órgano o tejido extraño.

SITUACIÓN ACTUAL

La situación actual de estas terapias, al menos desde un punto de vista numérico, queda perfectamente delimitada sólo con echar un vistazo a las Tablas I y II. En ellas se recogen los últimos datos publicados por Paul Terasaki en nombre del Registro de la UCLA en California (6), en los que puede apreciarse por un lado que son muchos los cientos de miles de personas que han recibido un órgano a lo largo de todo el mundo (este registro no es ni mucho menos completo). Aún más importante es la constatación de que ya hay enfermos que llevan viviendo con un riñón trasplantado funcional más de 36 años, con un hígado más de 29 o con un corazón más de 24. Se entiende además fácilmente que si estos pacientes han conseguido estas supervivencias con unos procedimientos quirúrgicos y farmacológicos que hoy consideraríamos claramente atrasados, muchos de los que hoy están recibiendo uno de estos órganos, van a conseguir supervivencias mucho mayores: Toda una vida, en suma, rescatada de la muerte gracias a los trasplantes.

Tabla I. Número de Centros Trasplantadores e Intervenciones realizadas hasta el 31-12-98, incluidos en el Registro de la U.C.L.A.

Número de Centros	Intervención	Enfermos Trasplantados
578	RIÑÓN	447.182
137	RIÑÓN-PÁNCREAS	8.823
67	PÁNCREAS	2.683
220	HIGADO	72.311
237	CORAZÓN	49.829
61	CORAZÓN-PULMÓN	2.266
117	PULMÓN	8.842
274	MÉDULA ÓSEA	82.780

Queda claro por tanto que ya no estamos hablando de procedimientos experimentales ni de acciones testimoniales sino de un conjunto de terapias perfectamente establecidas de las que cabe esperar unos beneficios reales y per-

Tabla II. Records internacionales de trasplante. Supervivencias maximas continuadas con injertos funcionantes

Intervención	Duración
RIÑÓN	36 AÑOS
HÍGADO	29 AÑOS
MÉDULA ÓSEA	27 AÑOS
CORAZÓN	24 AÑOS
PÁNCREAS	16 AÑOS
PULMÓN	11 AÑOS

fectamente mensurables. El problema surge, como ocurre en medicina en tantas otras ocasiones, no ya tanto de la índole del procedimiento en sí, sino sobre todo de su intento de generalización. Algo que se basa en que una persona fallecida done su propio cuerpo para que otros puedan seguir viviendo, debería basarse en unos conceptos de generosidad, solidaridad y equidad, que desde luego no siempre se consiguen.

Desde el punto de vista técnico, sin que pueda decirse que todo está conseguido, lo cierto es que los avances han sido espectaculares hasta el punto de que hoy día podemos decir que se puede trasplantar cualquier órgano o tejido a excepción del sistema nervioso central en su conjunto (donde no olvidemos que radica la propia vida del individuo). Se trasplanta cualquier órgano, desde los ya clásicos: riñón, corazón, hígado, páncreas, pulmón o más modernamente intestino, a las combinaciones de dos o más de ellos: los llamados "clusters" o trasplantes "en racimo", que en ocasiones han llegado a sumar hasta seis o siete órganos, con un posicionamiento ético de los protagonistas más que dudoso. Las posibilidades son incluso mayores cuando hablamos de tejidos, verdadero futuro por desarrollar que incluye huesos completos, polvo de huesos para modelar o rellenar cavidades, cartílagos, tendones, piel de cadáver, piel cultivada, vasos sanguíneos, válvulas cardíacas y un largo etcétera que llega hasta donde pueda concebir la imaginación.

Ya son posibles las combinaciones complejas de estos tejidos, que no otra cosa son los brazos o antebrazos recientemente trasplantados en Francia, los implantes de células fabricantes de sustancias como los Islotes de Langerhans para producir insulina en los diabéticos o las células nerviosas para el tratamiento del Parkinson o determinadas formas de epilepsia. Todo ello sin contar el extraordinario campo de los progenitores hemopoyéticos, bien provengan de médula ósea, sangre periférica o cordón umbilical, que han hecho posible realidades tan espectaculares como los trasplantes de médula en todas sus variedades para el tratamiento de enfermedades hematológicas y de todo tipo de tumores y enfermedades congénitas. A ello habrá que añadir en el futuro la terapia génica que tendrá en estos progenitores hemopoyéticos el vehículo de administración de los genes deficitarios o defectuosos. Un mundo apasionante que hace unas décadas era tan solo ciencia-ficción.

NECESIDADES Y DIFUSIÓN

DE LOS TRASPLANTES

Las teóricas necesidades de trasplantes de órganos no tendrían por qué ser radicalmente diferentes en las distintas partes del mundo, pese a las variaciones de incidencia de las enfermedades causales, dado que es ampliamente conocido que la demanda potencial supera con creces la disponibilidad de órganos (7). Sin embargo, lo cierto es que una gran mayoría de estas terapias se llevan a cabo en los llamados países desarrollados (6,8). Aunque no sea ni mucho menos el factor de discriminación más relevante entre los habitantes del primer y tercer mundo, a años luz del hambre o las enfermedades infecciosas, el acceso a estas terapias vitales si constituye un ejemplo simbólico, palpable y cuantificable de este abismo norte-sur que marca las relaciones internacionales. Tan sólo la Europa Occidental, Estados Unidos, Canadá, Australia y algunos países de Latinoamérica representan más del 90% de los trasplantes de donante cadáver, quedando para el resto del mundo casi de forma exclusiva los trasplantes renales de vivo más o menos voluntarios o retribuidos en dinero o en especies, en una moderna forma de explotación del hombre por el hombre que nada tiene que envidiar a la esclavitud o a otras lacras ancestrales (3,9).

En efecto, la carencia de la necesaria infraestructura sanitaria por lo que a camas de UVI, personal especializado y material necesario para efectuar unos procedimientos que en su mayoría siguen siendo complejos, hacen inaccesibles la mayoría de los trasplantes para gran parte de la población mundial. Baste un dato numérico: España con sus 40 millones de habitantes representan tan solo un 0,7% de la población mundial, y pese a ello en nuestro país, primero del mundo con gran diferencia en donaciones de órganos, se efectúan alrededor del 10-11% de todos los trasplantes de corazón o de hígado que se hacen en el mundo (8).

Sin embargo, es el trasplante renal, o mejor dicho, el tratamiento sustitutivo de la insuficiencia renal crónica, tomado en su conjunto con las distintas formas de diálisis, el que mejor ejemplifica las dificultades de acceso a terapias vitales por parte de una proporción mayoritaria de la población mundial y la enorme desproporción entre la oferta y la demanda que caracteriza a las mismas. Se calcula que alrededor de 1.000.000 de personas en insuficiencia renal viven hoy día gracias a la diálisis y/o al trasplante renal en todo el mundo (10) (Figura 1). Sólo con que los enfermos urémicos fueran tratados con los mismos criterios que en España, esta cifra se multiplicaría por 5, lo cual da una idea del número de pacientes que fallecen anualmente en el mundo sin que siquiera se plantee su acceso a diálisis ni mucho menos al trasplante renal.

Como puede suponerse, las razones son básicamente económicas. Mientras que el tratamiento dialítico viene a representar en Europa Occidental una cantidad que oscila entre

Tratamiento de la insuficiencia renal crónica con diálisis y trasplante - 1997

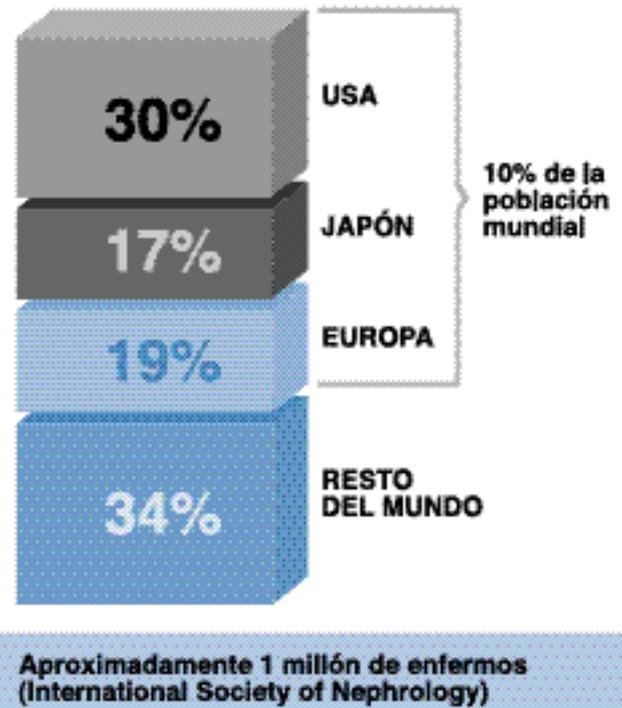


Figura 1. Tratamiento de la insuficiencia renal crónica con diálisis y trasplante, 1997.

una y dos veces la renta per capita de estos países, en América Latina esta proporción puede llegar a las 50 veces y para algunos países de África sería preciso reunir la producción anual de más de 700 de sus habitantes para mantener con vida a uno de estos enfermos (11) (Tabla III). A su vez, incluso entre los países más desarrollados, los abismos existentes en cuanto a índices de donación y trasplante dan lugar a dramáticas diferencias en cuanto a la probabilidad de ser trasplantado dependiendo del lugar de residencia del interesado. Se da la circunstancia de que en un mismo país, con un sistema sanitario teóricamente homogéneo, se pueden producir diferencias muy considerables en el acceso al tratamiento sustitutivo (11-13).

Tabla III. Coste relativo del tratamiento con diálisis de un enfermo

País	X Renta per capita
EEUU	1 x
ITALIA	1,5 x
ESPAÑA	2 x
BRASIL	6 x
INDIA	69 x
ETIOPÍA	300 x

Coste relativo del tratamiento con diálisis en relación con la renta per capita.

DIFERENCIAS ESTRUCTURALES

No es motivo de este artículo hablar de las enormes diferencias de acceso a las terapias sustitutivas entre los países del primer y tercer mundo a las que antes aludíamos. Antes bien, interesa referirnos aquí en lo que ocurre en los países de nuestro entorno cultural (fundamentalmente la Unión Europea y América Latina). Del análisis de las semejanzas y diferencias se pueden extraer enseñanzas muy útiles a la hora de tomar decisiones o de explicar situaciones que es necesario corregir.

A la hora de valorar los distintos sistemas de trasplantes existentes en los distintos países, es preciso reflexionar sobre las diferencias estructurales de los respectivos sistemas sanitarios sobre los que asientan. Estas diferencias van a explicar en gran manera las distancias a veces abismales que existen en los resultados finales medidos en tasas de donación y de enfermos trasplantados. En ocasiones estas diferencias pueden ser aumentadas o disminuidas utilizando medidas específicas de gestión o a través de iniciativas puntuales o colectivas de profesionales sanitarios, pero en general su corrección en caso deficitario requiere esfuerzos muy considerables en una dirección determinada que a menudo los responsables sanitarios no pueden, no saben o simplemente no quieren acometer.

Estos factores estructurales, que a veces pueden pasar desapercibidos, se hacen particularmente evidentes cuando se intenta trasladar el modelo español a otros países, no ya de situaciones sanitarias muy distintas a la nuestra como puede ser el caso de Latinoamérica (14,15), sino incluso entre los miembros de la Unión Europea que teóricamente deberían presentar una mayor igualdad (16,17). Entre los factores más relevantes podemos citar (17):

- Existencia de un sistema nacional de salud que proporcione una cobertura universal a la población. Por muchas medidas de coordinación o de gestión que se hagan, es muy difícil convencer mayoritariamente a la población de que done sus órganos y haga por tanto posibles los trasplantes si previamente no se le asegura que él o sus familiares los podrían recibir igualmente en caso de necesidad sin que barreras raciales o económicas se interpongan. La fragmentación de la asistencia es uno de los mayores inconvenientes a la hora de desarrollar un sistema eficiente de trasplantes. España proporciona una cobertura universal a todos sus ciudadanos, hasta ahora sin limitación alguna por lo que se refiere a terapias de alta tecnología de eficacia comprobada e incluso muchas que no lo son tanto.

- Recursos económicos dedicados a sanidad, medidos habitualmente en porcentaje del PIB destinado al capítulo sanitario. España se encuentra en la parte media-baja de la Unión Europea, con alrededor de un 6,5%, contando recursos públicos y privados.

- Peso relativo de los sectores público y privado. España es de los países con un menor peso de la sanidad privada entre los de la OCDE.

- Número de camas de agudos disponibles y dentro de éstas, número de camas de cuidados intensivos con posibilidad de conexión a respirador. España tiene un número de camas de agudos relativamente bajo, aunque ello va en línea con las tendencias actuales de potenciación de terapias extra-hospitalarias (en las que nos encontramos a un buen nivel) y camas de crónicas (en las que somos abrumadoramente deficitarios). En cambio, poseemos una disponibilidad de camas de UVI en relación con la población, y en porcentaje de camas de agudos realmente alto en el contexto europeo, lo que sin duda es fundamental para la donación y el trasplante de órganos.

- Número de médicos y de personal de enfermería en relación con la población atendida. En el caso de los médicos, número y calificación de los responsables de las UVIs. España tiene un manifiesto superávit de médicos (dos veces y media más que el Reino Unido), aunque el concepto de exceso o defecto siempre sea cuestión de opiniones y de matices. En cambio, el déficit de enfermeras es bastante notable en comparación con otros países. Sin duda no es ajeno a este hecho el que los coordinadores españoles sean médicos y los de otros países mayoritariamente enfermeras.

- Sistemas retributivos de estos profesionales, tanto en términos absolutos como sobre todo en los porcentajes fijo y variable del salario. Los médicos hospitalarios españoles somos de los que menos cobramos en promedio y como retribuciones básicas de toda la Unión Europea. Ello no impide que un porcentaje significativo de médicos relacionados con determinadas actividades (desde luego no sólo con trasplantes ni mucho menos), perciban unas cantidades variables, ligadas a actividad o a sistemas de guardias que elevan las retribuciones a niveles iguales o superiores a los de la mayoría de países. Retribuciones fijas bajas, con un alto componente variable, constituye un punto de partida para la obtención y el trasplante de órganos mucho más favorable que la situación británica: retribuciones altas pero fijas, ligadas a disponibilidad.

- Incidencia de los accidentes de tráfico o los laborales y de los accidentes cerebro-vasculares, ambos condicionados a su vez por multitud de factores sanitarios y extra-sanitarios (emergencias, control de la hipertensión, envejecimiento de la población, etc.). España, junto con el resto de los países del Sur de Europa (Grecia, Portugal e Italia) tiene unos índices de accidentes de tráfico muy superiores a los del centro y norte de Europa, pese al descenso experimentado en la primera mitad de los noventa tras la promulgación de la Ley de Seguridad Vial. De igual manera, España posee el más que dudoso récord de ser el país de la Unión Europea con mayor siniestralidad laboral. Aunque ambos hechos no explican los altos índices de donación registrados en nuestro país (18,19), lo cierto es que matizan cualquier dato epidemiológico sobre la donación de órganos.

■ Grado de concentración o dispersión de la población y en consecuencia, inmediatez de acceso al sistema sanitario. Concentración o dispersión de medios de exploración (TACs, etc), equipos de neurocirugía y unidades de intensivistas.

■ Sistemas de transporte sanitarios.

Hasta aquí una simple enumeración de factores sanitarios y extra-sanitarios, pero no estrictamente ligados con los trasplantes, y que sin embargo los afectan directamente al influir en la capacidad de generación de órganos. Como puede observarse la posibilidad de influir a corto plazo en la mayoría de ellos es escasa, y es preciso desarrollar acciones a medio y largo plazo para corregir determinadas desviaciones. El análisis detallado de las diferencias estructurales entre los países de la Unión Europea es realmente apasionante, aunque no vamos a centrarnos ahora en su estudio. Baste decir por ejemplo que España tiene más de un 50% de camas de UVI por encima que el Reino Unido (en relación con su población), o que mientras que en España como promedio, el porcentaje de camas con respirador en los hospitales de agudos ronda el 4%, en Italia oscila entre el 1 y el 2%.

También resulta muy relevante cuando se analiza detenidamente lo que ocurre en otros países, el hecho de que en España exista una especialidad específica de médicos encargados de las unidades de vigilancia intensiva, con una formación postgraduada de un fuerte contenido clínico y una actividad centrada en la atención del enfermo crítico. La práctica totalidad de los países europeos sin embargo basan la atención de estos enfermos en los anestesiólogos, cuya actividad hospitalaria se reparte con la anestesia quirúrgica, que casi siempre constituye para ellos la actividad dominante. Este hecho, que sin duda puede ofrecer unas ciertas ventajas, para la donación de órganos resulta claramente peor que la que tenemos en nuestro país, donde sin duda los intensivistas han pasado a tener una importancia fundamental en la donación de órganos.

Lo que sí debe quedar muy claro es que los trasplantes de órganos en un país determinado, nunca constituyen una isla aislada del resto de la sanidad o más aún, del resto de la sociedad. Por el contrario, constituyen en líneas generales un fiel reflejo del grado de atención sanitaria que recibe la población y del grado de cohesión y solidaridad de la sociedad, por más que la adopción de determinadas medidas puedan potenciar enormemente estas terapias. Este es el caso de lo ocurrido en España con el internacionalmente conocido como **"Spanish Model"** (4, 5, 16, 17, 19), pero siempre sobre una base estructural muy sólida (20) de nuestro sistema nacional de salud.

EL MODELO ESPAÑOL DE TRASPLANTES

En un contexto internacional de escasez crónica de órganos para trasplante y dificultades de todos los países para atender la demanda de su población, la situación española constituye un verdadero oasis cuya excepcionalidad es bastante más y me-

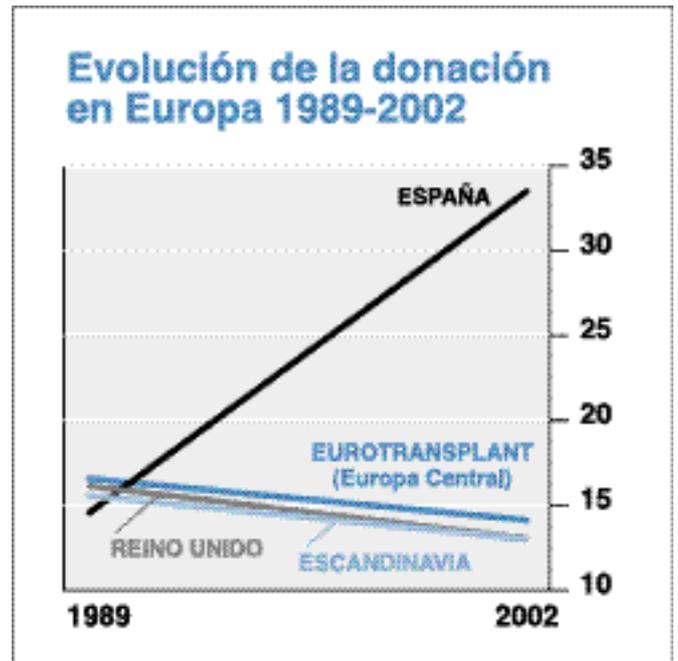


Figura 3. Evolución de las tasas de donación de órganos en los principales países europeos en el periodo 1989 - 2002.

jor apreciada fuera que dentro de nuestras fronteras. La creación en 1989 de la Organización Nacional de Trasplantes (ONT), en un momento realmente complicado de descenso de la actividad trasplantadora y conflicto generalizado entre profesionales, administración y enfermos, dio lugar a un modelo organizativo totalmente original y distinto a cuanto se había intentado en el mundo.

La coordinación profesionalizada a tres niveles: hospitalario, autonómico y nacional, con un objetivo prioritario: la donación de órganos, y una toma de decisiones escrupulosamente consensuada a través de la Comisión Nacional de Trasplantes del Consejo Interterritorial, junto con una serie integrada de acciones encaminadas a conseguir un amplio consenso social en este tema (desde luego muy infrecuente en otras parcelas de la sanidad o de la vida española) han conseguido para España una situación realmente de privilegio en todo el mundo. A estos logros ha contribuido de una forma decisiva el carácter universal de nuestro Sistema Nacional de Salud sin discriminaciones económicas o sociales y con un altísimo grado de desarrollo tecnológico.

El resultado de todo ello es el sistema organizativo conocido en todo el mundo como el **"Spanish Model"**. En poco más de diez años se ha pasado de un índice de 14 donantes por millón de población (pmp) en 1989, situado entonces en la parte media-baja de los países europeos a los **33,7 donantes pmp del 2002** (Fig. 3), frente a una media de la Unión Europea de 17,3 donantes pmp, a los 21,5 de Estados Unidos, los 13,5 del Reino Unido o los 12,2 de Alemania o los 10,6 de Australia (Fig.4), unas diferencias verdaderamente abismales y que realmente admiten pocos matices. Las consecuencias tangibles son que España lidera a mucha distancia de los segundos, todas las lis-

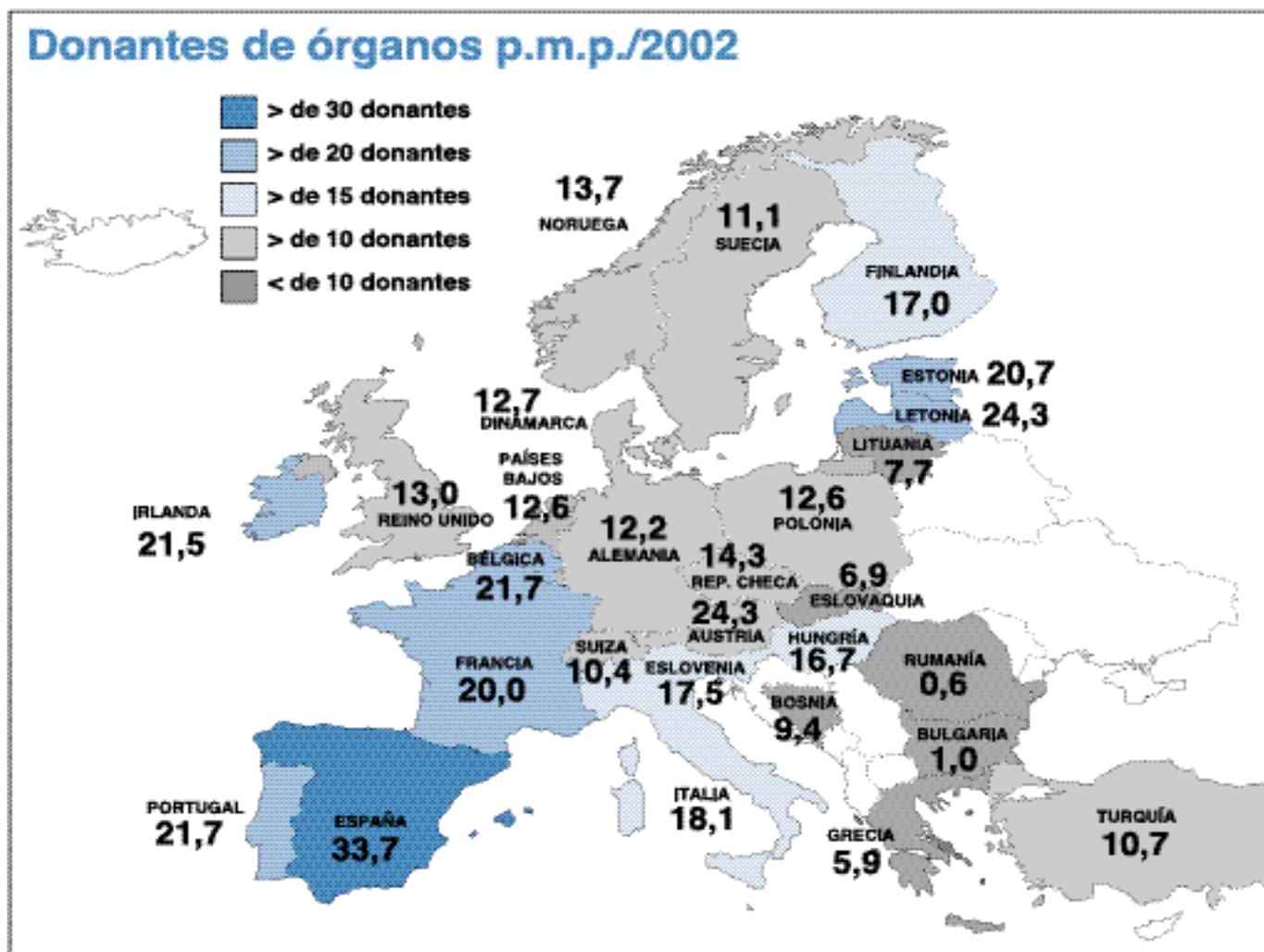


Figura 4. Tasas de donantes de órganos en las organizaciones europeas de trasplantes durante el año 2002 en número de donantes por millón de población.

tas de países trasplantadores de riñón, hígado, corazón y pulmón, que como decíamos antes hacemos alrededor del 10% de todos los trasplantes cardíacos y hepáticos del mundo o que somos el único país que durante los años noventa hemos sido capaces de descender la lista de espera de trasplantes renales, algo que nadie más ha logrado hasta ahora. Además de ello, nos hemos dotado de uno de los marcos normativos más modernos y funcionales del mundo occidental con una Ley de 1979 que sigue perfectamente vigente complementada por un Real Decreto sobre tejidos y progenitores hemopoyéticos de 1996 y otro sobre órganos sólidos aprobado a principios del 2000. Y lo que es más importante, una gran confianza de la población española que es la que hace posible todo esto con las donaciones y con el sostenimiento económico del sistema.

LOS COSTES DE LOS TRASPLANTES

Cuando se enumeran los logros del Modelo Español frente a las desventuras de otros países, siempre surge la misma pregunta: ¿Cuánto cuesta todo esto? ¿Cómo se han puesto de acuerdo todas las administraciones sanitarias para apuntar en la misma dirección, frente a unas prioridades sanitarias muy diversas según la óptica de cada cual?

Ya expusimos que el sistema de coordinación ha tenido bastante que ver en cómo han evolucionado las cosas, pero uno de los aspectos que ha liderado la ONT ha sido siempre la evaluación económica de todas estas actividades con el fin de aflorar cuales eran los costes reales de toda estas iniciativas. Se han hecho muchos y muy diversos estudios al respecto, pero en la Tabla VI se especifican los costes actualizados medios en los hospitales del antiguo INSALUD, mediante contabilidad analítica, así como su extrapolación teórica a la totalidad de España (Tabla V), de acuerdo con la actividad realizada en 1999. Dentro de los 21.000 millones de las antiguas pesetas que cuesta la actividad de extracción y trasplante de órganos sólidos, la oficina central de la ONT más toda la estructura de coordinadores en los casi 150 hospitales con capacidad de generar donantes de órganos, representa tan sólo un 3,6%, una porción realmente mínima para los réditos obtenidos para todo el sistema.

¿Esto es mucho o es poco? Como es lógico, la respuesta depende de lo que se pretenda demostrar. Dentro de los presupuestos del Sistema Nacional de Salud, la actividad de extracción y trasplante representa tan sólo un 0,5%. Como comparación, si todos los enfermos hoy trasplantados gracias a este original enfoque de nuestro sistema de donación, tuvieran

Tabla IV. Coste unitario de los trasplantes en España cálculo por contabilidad analítica en los hospitales del antiguo insalud en 1999

Tipo de trasplante	Peso relativo G.R.D.	Coste estimado (euros)
CARDÍACO	31,91	59898
RENAL	8,81	16537
HEPÁTICO	33,56	62995
MÉDULA ÓSEA	24,49	45970
PULMONAR	estimado	45181

Tabla V. Costes estimados de la obtención de órganos y los trasplantes en España - 1999.

	Unidad	TOTAL
Obtención de órganos		8.975.903 €
Trasplantes renales	16.537	33.433.735 €
Trasplantes hígado	62.995	56.626.506 €
Trasplantes corazón	59.898	20.126.506 €
Trasplantes pulmón	45.181	6.096.385 €
Otros (pancreas, etc)		674.699 €
Estructura de coordinación		4.939.759 €
TOTAL		130.873.493 €

que ser dializados, el coste adicional para la sanidad pública sería de más del doble que lo que nos cuestan todos los trasplantes. Un ejemplo de que en sanidad, las mejoras en cantidad y calidad, no siempre tienen que ir acompañadas de un incremento de costes.

Bien es cierto que los precios unitarios son sensiblemente inferiores a las cifras que se barajan en otros países occidentales, básicamente como consecuencia de los menores costes de infraestructura y personal de nuestro sistema y del más eficiente sistema organizativo. La extrapolación a la Unión Europea o a Estados Unidos debe contemplar necesariamente estas diferencias, que en concreto por lo que se refiere a las clínicas privadas norteamericanas prácticamente triplican las cifras españolas.

LÍNEAS DE COOPERACION

INTERNACIONAL

Se comprende fácilmente que un buen número de los problemas aquí expuestos trascienden con mucho las fronteras de un determinado país. Como consecuencia, las hipotéticas soluciones desde luego complejas, deberían venir de una cooperación internacional desde luego nada fácil de conseguir. La Unión Europea basa su propia filosofía existencial en una libre circulación de ciudadanos, bienes y servicios. En el caso de los trasplantes los países miembros han limitado voluntariamente estos principios dadas las tremendas diferencias de todo tipo existentes hoy en día entre los distintos países de la Unión (ni siquiera merece la pena insistir en el ya citado abismo económico y técnico con los países del tercer mundo por lo demás geográficamente tan cercanos). Sólo recientemente este campo se ha incluido en el tratado de Ámsterdam, pero sólo por lo que se refiere a los aspectos de seguridad y calidad de los órganos y tejidos a trasplantar. Otros aspectos tendrán

que esperar a que el grado de cohesión entre los distintos países sea superior al que es en el momento actual.

Esta es la línea emprendida hace ya unos años por el Consejo de Europa a través de su Comisión Permanente de Trasplantes. Representantes de un gran número de países tanto de la Europa Occidental como de los antiguos países de la esfera soviética han ido desarrollando a lo largo del tiempo unas líneas de colaboración y armonización en los distintos aspectos de la donación y el trasplante.

El documento "MEETING THE ORGAN SHORTAGE" aprobado por el pleno de la Comisión de Sanidad del Consejo de Europa es un compendio de todas las medidas estructurales organizativas y funcionales que han mostrado su utilidad para mejorar las tasas de donación y la predisposición de los ciudadanos hacia estas terapias. Basado en el Modelo Español, ha recibido el apoyo de un gran número de profesionales y sociedades científicas de todo el mundo, al tiempo que ha sido discutido y complementado con las aportaciones de expertos y administraciones sanitarias de toda Europa. Su desarrollo debería permitir a los países más deficitarios en cuanto a su sistema de trasplantes un acercamiento a los que tienen unos sistemas más perfeccionados, al menos por lo que se refiere a sus aspectos básicos.

Los aspectos referentes a la calidad y seguridad son básicos en una Europa donde las fronteras pierden cada día más su significado. En estos momentos se están ultimando una serie de protocolos encaminados a que cualquier órgano o tejido obtenido en un país europeo pueda ser implantado en cualquier otro con todas las garantías sanitarias y éticas (22). La armonización de las disposiciones legales, las estrategias de comunicación, el intercambio de información, la acreditación de centros, la priorización de determinados pacientes, la cooperación en suma de los distintos países en problemas comunes son las líneas desarrolladas por este organismo europeo, con el ánimo de conseguir que cada día un mayor número de nuestros ciudadanos se beneficien de estos tratamientos.

EL FUTURO: XENOTRASPLANTES,

CÉLULAS MADRE, CLONACION

Y CULTIVO DE ORGANOS

Pese a todos los esfuerzos desarrollados por los distintos países, cada día está más claro que la desproporción entre oferta y demanda se va a hacer cada día mayor por todos los motivos que comentábamos al inicio de estas páginas. Las continuas mejoras técnicas y el cada vez mejor pronóstico de los trasplantados se traducen sobre todo en un mayor número de enfermos susceptibles de beneficiarse de estos tratamientos y en consecuencia, un agravamiento del déficit.

Por todo ello, desde hace ya muchos años, prácticamente desde el inicio de la actividad trasplantadora, la comunidad

científica se ha venido planteando la posibilidad de utilizar órganos o tejidos de animales para reemplazar los correspondientes humanos destruidos por la enfermedad. Sin embargo, las barreras inmunológicas entre las distintas especies hacen que cualquier intento de xenotrasplante sin otras precauciones acabe en muy poco tiempo con un rechazo hiperagudo que destruye inmediatamente el tejido implantado. Lo que durante muchos años ha sido tan sólo una hipótesis de trabajo sin ninguna repercusión práctica, ha empezado a acercarse a la realidad cuando diversos grupos han conseguido introducir en cerdos una serie de modificaciones genéticas que disminuyen este rechazo hiperagudo y abren por tanto una vía a la esperanza (22).

Descartados los grandes simios como fuente de órganos tanto por razones éticas como por escasez y dificultad de reproducción de estos animales, son los cerdos modificados genéticamente los que tienen hoy por hoy unas mayores posibilidades de ser empleados para este fin. Sin embargo, son todavía muchos los problemas que plantea este enfoque terapéutico: por un lado el rechazo sigue siendo un problema muy serio que limita la supervivencia en los modelos experimentales, y a ello hay que unir la existencia de enfermedades virales todavía no bien conocidas en estos animales, cuyo futuro al ser trasladados a la especie humana es hoy por hoy una incógnita.

De aquí que pese a su esperanzador futuro, los xenotrasplantes distan aún mucho de ser una realidad tangible, e incluso hay quien plantea la necesidad de una moratoria para la experimentación con los mismos por el peligro de enfermedades emergentes en la especie humana transmitidas por los animales (22).

Si tuviéramos que definir en pocas palabras cuales son los puntos críticos que condicionan hoy día los trasplantes de órganos y tejidos, tendríamos que referirnos de manera obligada a la escasez de la materia prima a trasplantar, a la calidad y seguridad de la misma y al problema del rechazo. Pues bien, los tres pueden verse solucionados o al menos sufrir una revolución radical en los próximos años gracias a las células madre.

Los investigadores han trabajado con células madre embrionarias de ratón desde el inicio de los años ochenta y de ellas han obtenido importantes conocimientos sobre el desarrollo de los mamíferos y sobre determinadas alteraciones genéticas. La revolución vino sin embargo cuando en 1998, James Thomson, de la Universidad de Wisconsin descubrió cómo obtener cultivos de células madre pluripotenciales a partir de un embrión humano. Estas células, que en el embrión son capaces de diferenciarse en los múltiples tejidos que formarán el cuerpo humano adulto, mantienen esta "plasticidad" en el laboratorio si son estimuladas adecuadamente.

Las perspectivas de este descubrimiento son inmensas: desde la posibilidad de analizar la eficacia y seguridad de los nuevos medicamentos en modelos más adecuados que los

animales, al estudio de los factores responsables de la especialización celular y sobre todo, abre la puerta a un concepto llamado a revolucionar la sanidad del Siglo XXI: la medicina regenerativa. Estas células madre pluripotentes podrían convertirse, al menos teóricamente, en otras de muy diversos tipos que al menos en teoría podrían reemplazar tejidos destruidos por enfermedades como la diabetes, la cardiopatía isquémica, el Alzheimer, el Parkinson, las lesiones de la médula espinal, las distrofias musculares, la degeneración retiniana y un largo etcétera.

El camino, sin embargo es complicado. En primer lugar, todavía no sabemos cómo hacer que una célula madre embrionaria humana se diferencie específicamente en la célula que queremos, y mucho menos en un órgano estructurado y complejo. Desconocemos cuales son las señales que lo hacen posible. Por otro lado el origen embrionario de estas células planteó desde el primer momento toda una serie de conflictos de índole ética, religiosa y política. Ello ha condicionado en gran medida la autorización y/o la financiación de estos estudios en no pocos países, con las consecuencias que este tipo de interferencias suele tener en cualquier proceso científico.

Pese a todo, los descubrimientos se han sucedido de forma vertiginosa. La posibilidad de fabricar tejidos u órganos para trasplante cuando la lesión es irreversible o simplemente de repararlos cuando aún se está a tiempo, es lo suficientemente tentadora desde todos los puntos de vista (intelectual, científico, económico...) como para que la comunidad investigadora se haya lanzado por estos caminos.

Porque no se trataría tan sólo de una fábrica inagotable primero de tejidos y posteriormente quizás de órganos. El rechazo también podría ser obviado siguiendo diversas estrategias. Por un lado la generación de células madre embrionarias genéticamente idénticas al paciente, más conocida como clonación terapéutica, o terapia de sustitución celular mediante transferencia nuclear. Esta técnica, que permitió la clonación de Dolly, consiste en introducir el núcleo de una célula diferenciada adulta en un óvulo no fertilizado (al que se ha desprovisto de su núcleo) para que se lleve a cabo su reprogramación. Se obtendría así un blastocisto clónico, del que se derivarían células madre genéticamente idénticas al paciente. Con esta estrategia, el problema del rechazo desaparecería, puesto que se generarían células madre para cada paciente, de las que se diferenciarían específicamente las células necesarias para su propio trasplante, y sustituir así las que están dañadas. Las dudas éticas que podría plantear esta técnica, y que desde luego impedirían fabricar órganos (no cabe pensar en esperar a la fase de organogénesis), podrían obviarse si se combinan estas técnicas con la utilización como fuente de óvulos de animales clonados y por tanto producidos en serie como los desarrollados por el Instituto Roslin de Edimburgo. De esta forma, la combinación de estas tecnologías con los xenotrasplantes podría no sólo obviar la carencia de órganos sino también el rechazo (el material genético es el del propio enfermo) y la seguridad (las

camadas podrían estar perfectamente controladas en cuanto a todo tipo de patógenos al ser animales clonados).

Los caminos son múltiples. Tras los descubrimientos iniciales con células madre de origen embrionario se comprobó también la plasticidad de las procedentes de cordón umbilical, médula ósea u otros tejidos de sujetos adultos. Nadie puede afirmar o negar con toda seguridad en el momento actual la equivalencia de ambos orígenes en cuanto a potencial terapéutico se refiere (aunque todo parece indicar que hay diferencias significativas), y de ahí la necesidad de mantener líneas de investigación en todas las direcciones hasta que este punto quede totalmente esclarecido. En todo caso, el propio Instituto Roslin ha anunciado la reprogramación de una célula de piel de vaca adulta para que se transformara en una célula madre directamente, sin necesidad de clonar un embrión, lo que podría tener una gran importancia futura.

En suma, la decisión del Ministerio de Sanidad de dar luz verde a la investigación con células madre embrionarias y de proceder a su debido ordenamiento de la mano de los trasplantes merece todo tipo de parabienes, en especial tras el prolongado ejercicio de mirar hacia otro lado que protagonizó el anterior equipo ministerial. No es solo que exista un sustrato teórico más que suficiente, como acabamos de ver, para agrupar el control de estas terapias en el futuro **Instituto Nacional de Trasplantes y Medicina Regenerativa** (en línea con la reforma emprendida en Francia). El buen funcionamiento y el enorme prestigio internacional del sistema español de trasplantes deberían mantenerse y ampliarse en el futuro con una potenciación adecuada en nuestro país de estas líneas de investigación. Como se deduce de lo expuesto, estamos hablando del futuro de centenares de miles de enfermos españoles para los que o creamos las condiciones para que sean tratados adecuadamente (como en su día hicimos con los trasplantes), o ellos mismos buscarán la solución en otros países más permisivos... y ante la enfermedad o el riesgo de muerte, propio o de un ser querido, muchas posturas éticas o religiosas se relativizan con suma facilidad.

Esta atractiva posibilidad técnica que representa la medicina regenerativa y la futura fabricación de órganos "a la medida del enfermo", alteraría totalmente el delicado equilibrio entre oferta y demanda existente hasta ahora para colocarlo en unas coordenadas bien distintas. El factor limitante dejaría ya de ser la disponibilidad de donantes para pasar a ser meramente económico. Las piezas de recambio tendrán un coste, probablemente muy elevado, y sólo los países o los individuos que puedan pagarlos tendrán acceso a estos tratamientos vitales. El futuro se acerca a pasos agigantados con la solución a algunos de los problemas hoy planteados, pero ello no hace sino que otros nuevos se vayan dibujando en el horizonte. Valga para finalizar la frase del premio Nóbel sefardí Elias Canetti que ejemplifica perfectamente la razón de ser de los trasplantes: "La única batalla por la que vale la pena empeñarse a fondo es aquella cuyo objetivo es hacer retroceder a la muerte". ■

BIBLIOGRAFÍA

1. First MR. Transplantation in the nineties. *Transplantation* 1992 ; 53 :1-11
 2. Cuende N, Cañón JF, Miranda B, et al. The organ donation process: a program for its evaluation and improvement. *Organs and Tissues* 2002; 5 (2): 109-118.
 3. Matesanz R. La Organización Nacional de Trasplantes: Un año después. *Nefrología* 1991; 11(Sup. 1) : 13-22
 4. Matesanz R, Miranda B, Felipe C, Naya T: Continuous improvement in organ donation. *Transplantation* 1996;61(7) :1119-21
 5. Matesanz R, Miranda B: A decade of continuous improvement in cadaveric organ donation: The Spanish Model. *J of Nephrol* 2002; 15(1):22-28
 6. *Clinical Transplantation* 1998. Cecka and Terasaki, edit. UCLA Tissue Typing Lab. Los Ángeles, CA. USA
 7. Matesanz R, Miranda B. Need for liver transplantation. *The Lancet* 1995 ;346 :1170
 8. *Transplant Newsletter*. International figures on organ donation and transplant activity in 2002. Council of Europe. Eds R Matesanz & B Miranda. Aula Médica Eds., Madrid, 2003 ; 8 : 18-24
 9. Matesanz, R. Tráfico de órganos: hechos, ficciones y rumores. *Nefrología* 14: 633-645, 1994
 10. Martín Hernández R: Análisis de los costes en nefrología: situación actual y perspectivas de futuro. *Nefrología* 17 (Supl.6): 40-51, 1997
 11. Matesanz R. Diferencias geográficas en el acceso a los tratamientos sustitutivos: Diálisis y trasplante. *Nefrología* 14(Supl. 1): 93-110, 1994
 12. Comité de Registro de la SEN y Registros Autonómicos: Informe de diálisis y trasplante de la Sociedad española de Nefrología y Registros Autonómicos correspondientes al año 1999. *Nefrología* 21: 246-252, 2001.
 13. Matesanz R. Igualdades y desigualdades en salud. *EL PAIS*, 6-2-01
 14. Mizraji R. Proyecto SIEMBRA, 7 años después. *Nefrología* 21 (Supl 4), 2001:138-140
 15. Duro V. Grupo "Punta Cana". Una nueva propuesta en América Latina. *Nefrología* 21 (Supl 4), 2001: 141-143
 16. Matesanz R- La insólita traslación del modelo español de donación de órganos al Reino Unido. *Nefrología* 21: 99-103, 2001.
 17. Matesanz R.: Factors influencing the adaptation of the Spanish Model of Organ Donation. *Transplant International* 2003(July). In press
 18. Matesanz R: Trasplantes de órganos, gestión y sistemas sanitarios. *Nefrología* 2001, 21 (Sup. 4): 3-12
 19. Matesanz R, Miranda B. Expanding the organ donor pool. The Spanish Model. *Kidney Int* 59:801-803, 2001.
 20. La década de la reforma sanitaria. Ed. F.Ortega y F. Lamata. Exlibris Ediciones, Madrid 1998
 21. "Meeting the Organ Shortage: Current status and strategies for improvement" <http://www.social.coe.int/en/qoflife/publi/donation.htm>
 22. Guide to safety and quality assurance for organs tissues and cells. Ed. By Council of Europe Publishing. Strasbourg, 2002
- Report on the state of art in the field of xenotransplantation <http://www.social.coe.int/en/qoflife/publi/donation.htm>

Biomateriales para sustitución y reparación de tejidos

AUTORA: MARÍA VALLET REGÍ

*Departamento de Química Inorgánica y Bioinorgánica.
Facultad de Farmacia. Universidad Complutense.
28040-MADRID*

Reconstruir partes dañadas del ser humano ya es una realidad (figura 1). Pero si se extrapolan las partes al todo:

- ¿Se está hablando de ciencia-ficción?
- ¿Dónde termina la ciencia-ficción y empieza el hecho científico?
- ¿Hasta dónde puede llegar la ciencia en la elaboración de prótesis, dispositivos y cementos óseos?

Más de cincuenta millones de personas en todo el mundo tienen implantado algún tipo de prótesis y es un hecho bien conocido en nuestra sociedad la utilidad y necesidad de todo tipo de implantes, siendo raro que en nuestro entorno próximo no conozcamos algún caso de familiar o amigo que los necesite.

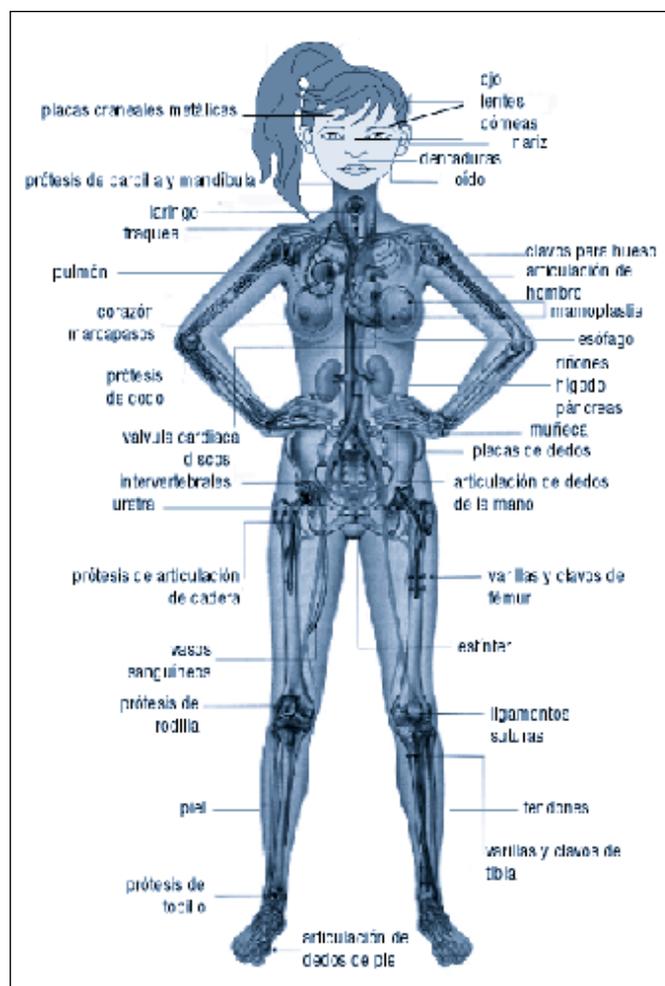


Fig. 1: Piezas que pueden implantarse en el organismo.

Los biomateriales están destinados a su aplicación en seres vivos, y para su fabricación se requiere la coordinación de expertos de muy diversos campos. El campo de los biomateriales ha experimentado un espectacular avance en los últimos años y una motivación importante para ello ha sido el hecho de que la esperanza de vida aumente de forma considerable.

Según los demógrafos de Naciones Unidas, dentro de unos 5 años es muy probable que haya más personas de más de 60 años que niños de menos de 15. Hoy en día una de cada diez personas tiene 60 años o más, pero en el año 2050 se prevé que será una de cada cinco. Y se prevé también que el número de los que tienen unos 80 años se multiplicará por cinco. La longevidad masiva tiene implicaciones individuales relacionadas con mantener la calidad de vida (figura 2).

Estos factores sociológicos han impulsado un gran avance en Biomateriales, y han potenciado la investigación en este campo. Si a esto se le añade la mejora de las técnicas quirúrgicas, se puede entender el crecimiento acelerado en la utilización de prótesis, implantes, sistemas y aparatos médicos que deben trabajar en contacto con los tejidos corporales.

Los biomateriales deben cumplir con las condiciones de partida de ser biocompatibles y asegurar una determinada vida media. A su vez, tienen que aportar las prestaciones específicas que requiera la aplicación a que vayan destinados.

Inicialmente, que fue hace relativamente poco tiempo, durante el último tercio del siglo XX, los biomateriales eran esencialmente materiales industriales seleccionados con el criterio de que fueran capaces de cumplir ciertos requisitos de aceptabilidad biológica. Sin embargo, hoy en día muchos biomateriales son diseñados, sintetizados y procesados con el único fin de tener una aplicación en el campo médico.

En la actualidad, en el mundo de los biomateriales se formulan tres importantes cuestiones:

- ¿Qué calidad de vida proporcionarán?
- ¿Cuánto durarán?
- ¿Cuál es su precio?

Las respuestas no son en ningún caso satisfactorias al cien por cien; sin embargo, sí son positivas en líneas generales para un elevado número de pacientes. Para llegar, o al menos aproximarse a ese cien por cien deseado, hay todavía mucho trabajo por hacer, desde los campos investigador, médico, técnico e industrial.

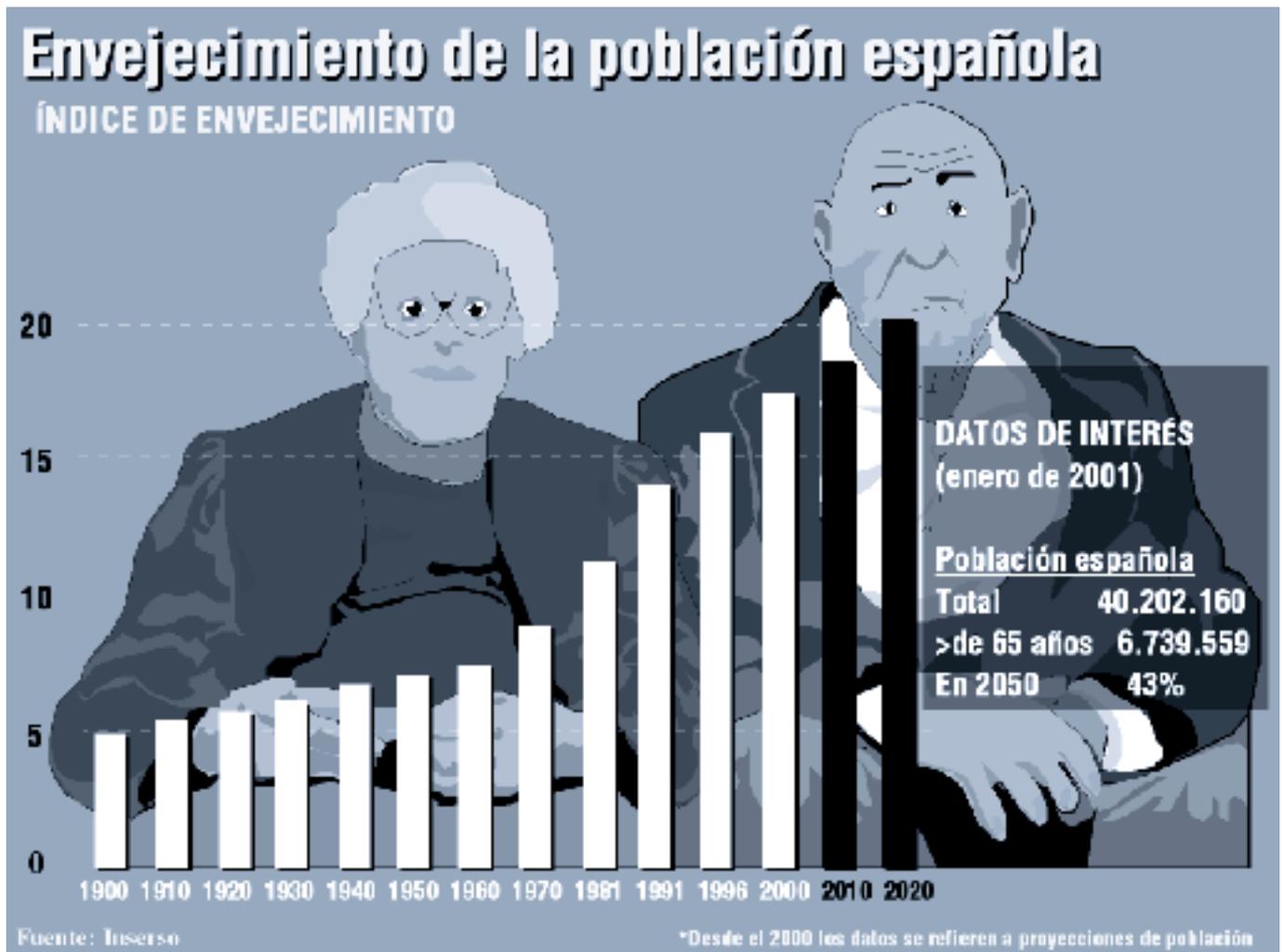


Fig. 2: Hoy en día 1 de cada 10 personas tiene 60 años o más pero en el año 2050 se prevé que será 1 de cada 5.

A los biomateriales, *materiales implantables intracorporalmente*, se les exige que lleven a cabo una función adecuada y no ocasionen ningún daño al organismo. Entre sus características es imprescindible que sean *biocompatibles*, esto es, biológicamente aceptables.

Factores decisivos a la hora de evaluarlos son su *biocompatibilidad* y su *duración*, ya que estos materiales tienen que permanecer en contacto con los tejidos vivos, por lo que es imprescindible que posean una buena compatibilidad, es decir, que no se produzcan reacciones no deseadas en la interfaz tejido-material, y que mantengan sus prestaciones durante el tiempo que tengan que estar en servicio.

Naturalmente, ese tiempo será muy diferente según la función a que esté destinado y podrán seleccionarse distintos materiales para fabricar un implante, en función de que éste sea *provisional* o *definitivo*.

Se utilizan tanto para la reconstrucción del organismo, como para darle soporte. Las propiedades de un material implantable dependen de factores *biológicos*, *mecánicos* y *cinéticos*, y su carácter *multidisciplinar*, obliga a considerar simultáneamente muchos factores.

El que los biomateriales sean tales, implica una *composición adecuada* no sólo del *material implantado*, sino también de las *partículas liberadas* de cualquier implante, como consecuencia de su desgaste y de los *productos de degradación* a que pueda dar lugar.

Pero tanto *tolerancia* como *toxicidad* de cualquier sustancia en el organismo humano son función de la concentración en la que se encuentra presente.

Esto es un hecho bien conocido en Química Bioinorgánica, que estudia los elementos que intervienen en la bioquímica de los humanos, lo que puede relacionarse con la composición que debe tener un determinado biomaterial para que cumpla las normas de no toxicidad.

Puede también relacionarse la dosis de cualquier elemento esencial con su respuesta esperada, factor muy importante a la hora de elegir, no sólo la *composición*, sino la posible *concentración* de las sustancias que intervienen en el implante.

Atendiendo a la naturaleza del material artificial con el que se fabrica un implante, se puede establecer una clasificación en materiales *cerámicos*, *metálicos*, *poliméricos* o *materiales compuestos*.

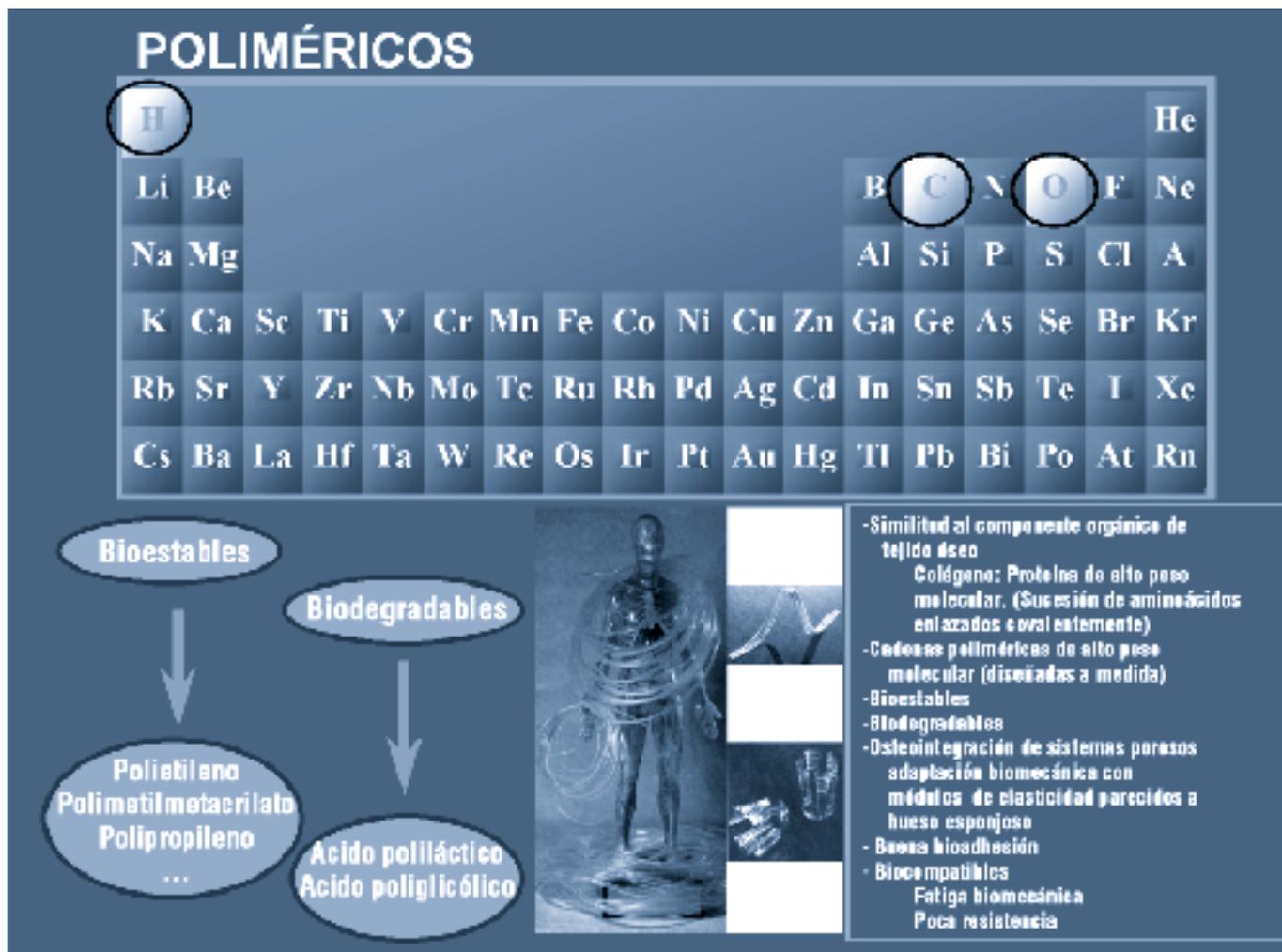


Fig. 3: Materiales poliméricos implantables.

Los *poliméricos* (figura 3), ampliamente utilizados en clínica, deben su éxito a las enormes posibilidades que presentan, tanto en variedad de compuestos, como en ofrecer la posibilidad de fabricarlos de muy distintas maneras, con características bien determinadas, y con facilidad de conformarlos en fibras, tejidos, películas o bloques.

Pueden ser tanto *naturales* como *sintéticos* y, en cualquier caso, se pueden encontrar formulaciones *bioestables*, esto es, con carácter permanente, particularmente útiles, para sustituir parcial o totalmente tejidos u órganos lesionados o destruidos, y *biodegradables*, esto es, con carácter temporal, por tanto, con una funcionalidad adecuada durante un tiempo limitado, el necesario mientras el problema subsista.

Tanto en *implantes quirúrgicos*, como en *membranas protectoras* o en *sistemas de dosificación de fármacos* existen aplicaciones de este tipo de materiales, y particular importancia tienen los *cementos óseos acrílicos*, que han encontrado importantes campos de aplicación, en particular, en traumatología.

De los *biomateriales metálicos* (figura 4), cabría señalar, en términos generales, que el número de elementos metálicos que se utilizan en la fabricación de implantes es muy limitado, si

tenemos en cuenta que más de tres cuartas partes del sistema periódico lo son. El primer requisito para su utilización es que *sean tolerados por el organismo*, por lo que es muy importante la dosis que puedan aportar a los tejidos vivos. Otro requisito también imprescindible es que tengan una *buena resistencia a la corrosión*.

Todo químico conoce bien que la corrosión es un problema general de los metales, más aún si están inmersos en un medio hostil como es el organismo humano, y a temperaturas del orden de 37 °C.

Sin embargo, algunos metales se escapan, por lo menos en principio, a este problema, como son los metales preciosos. Otros, al formar una capa de óxido en su superficie, la pasan, protegiendo el interior del metal al evitar que avance la corrosión, como ocurre en el titanio.

De los *biomateriales cerámicos* (figura 5), a primera vista podría pensarse que su principal ventaja es su baja reactividad química, por tanto, su carácter inerte, que conlleva una clara biocompatibilidad. Pero no todas las biocerámicas son inertes y, de hecho, muchos materiales cerámicos que se utilizan en cirugía reconstructiva son *bioactivos*.

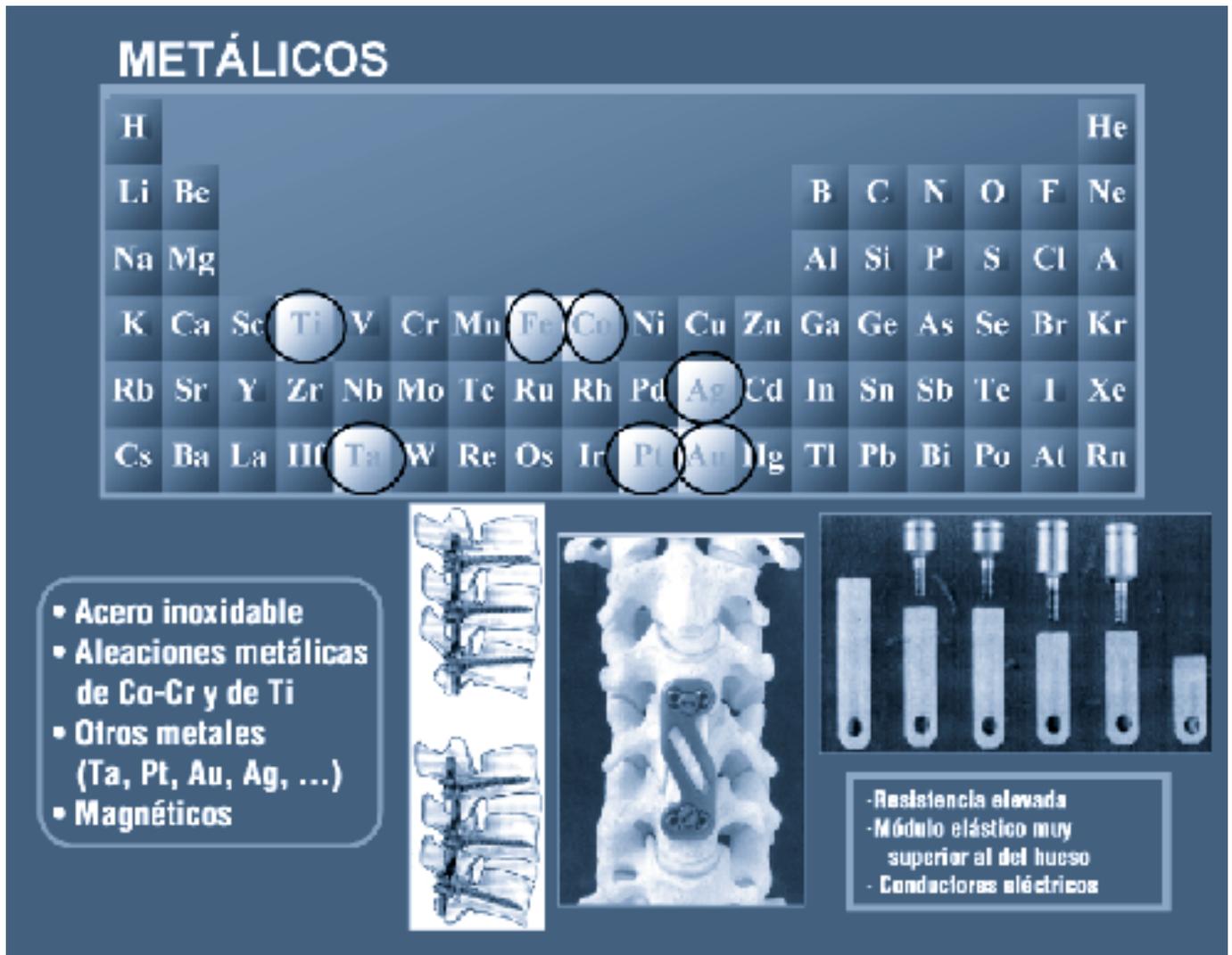


Fig. 4: Materiales metálicos implantables.

Las biocerámicas se introducen en una época (década de los 70) en la que comenzaban a detectarse fracasos en los biomateriales utilizados hasta ese momento, como eran el *acero*, *aleaciones de cobalto* y *polimetil metacrilato*.

El fracaso se debía, entre otras razones, a la encapsulación de estos materiales, lo que hizo dirigir la mirada hacia las cerámicas, en un intento de buscar una buena oseointegración. Sin embargo, la fragilidad de las biocerámicas restringió, en gran medida, su campo de aplicación, seleccionando sólo funciones que no necesitaran elevadas prestaciones mecánicas, a excepción de la alúmina y la zirconia, que se emplearon y emplean en articulaciones de cadera.

Hay que tener presente que las biocerámicas podrían ser los biomateriales ideales, ya que poseen una buena biocompatibilidad y oseointegración y, a su vez, son los materiales más parecidos al componente mineral del hueso. Es muy frecuente utilizar los tres tipos, *metálicos*, *cerámicos* y *poliméricos*, en la fabricación de una *prótesis*. Un ejemplo ilustrativo puede ser una artroplastia de cadera (figura 6).

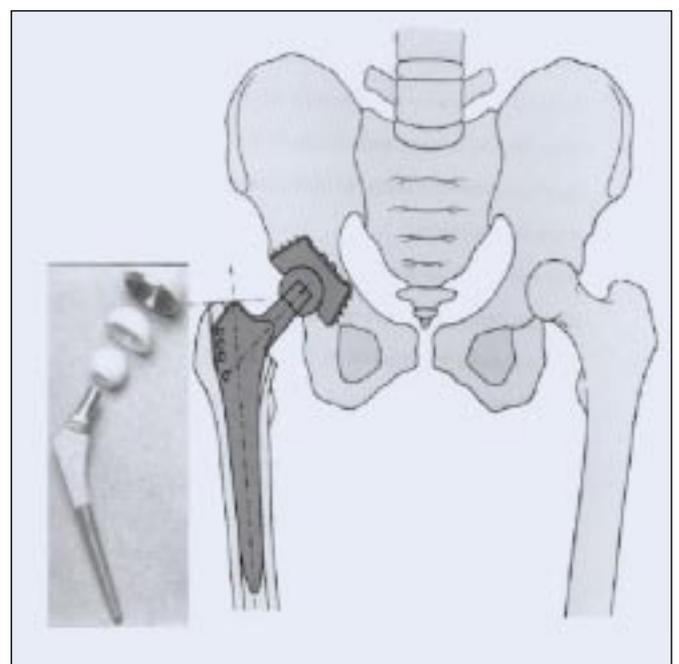


Fig. 6: Artroplastia de cadera donde intervienen simultáneamente materiales metálicos, cerámicos y poliméricos.



Fig. 5: Materiales cerámicos implantables.

Cuando se piensa en reparar una parte del esqueleto, *a priori* podrían existir dos posibilidades muy distintas, *reemplazar* la parte dañada, o *sustituirla* regenerando el hueso. Este planteamiento hace pensar en un campo de investigación muy importante, dirigido a conseguir biocerámicas basadas en fosfatos de calcio, que tengan buena resistencia mecánica y que puedan conducir a la regeneración de hueso.

En esta dirección podría pensarse en reforzar las biocerámicas ya conocidas, por ejemplo, sintetizando *biocomposites* que mejoren los pobres aspectos mecánicos de las cerámicas y profundizar en el estudio del mecanismo de formación del hueso natural para buscar las condiciones de síntesis que permitan obtener en el laboratorio biomateriales compuestos orgánico-inorgánico con propiedades mecánicas aceptables. El objetivo final de la comunidad científica que trabaja en este campo es fabricar *hueso artificial* equivalente al *hueso natural*.

Las primeras cerámicas que fueron utilizadas en aplicaciones médicas, la *alúmina* y la *zirconia*, son dos prototipos de

cerámicas conocidas como *inertes*, razón fundamental por lo que fueron elegidas para su utilización en implantes. A estas cerámicas las caracteriza una cinética de reacción muy lenta, tanto que se las puede considerar como cerámicas "casi inertes". Pero, naturalmente, otras cerámicas tienen cinéticas de reacción más rápidas, e incluso muy rápidas.

Como en cualquier reacción química, el producto de reacción de una sustancia con su entorno puede conducir a un resultado no favorable, como es la corrosión de un metal, pero puede también conducir a un producto de reacción favorable que transforme químicamente el producto de partida en el producto final deseado. Éste es el caso de las *cerámicas bioactivas* que, en contacto con los fluidos fisiológicos, reaccionan químicamente en la dirección de producir hueso neoformado.

El fosfato de calcio más utilizado en la fabricación de implantes es la hidroxiapatita, por ser el compuesto más parecido al componente mineral de los huesos, presenta buenas propiedades como biomaterial, tales como *biocompatibilidad*, *bioactividad*, *osteoconductividad* y *unión directa al hueso*.

En 1971, Hench y col. descubrieron que ciertas composiciones de vidrios se enlazaban al hueso. A dichos vidrios se les denominó *vidrios bioactivos* y han sido objeto de numerosos estudios, con vistas a su utilización clínica como implantes para la sustitución y reparación de tejidos óseos.

La unión con el hueso se produce a través de una capa de hidroxicarbonatoapatita formada en la superficie de los vidrios bioactivos cuando entran en contacto con los fluidos biológicos. Dicha capa se forma como consecuencia de la alta reactividad de los vidrios en un medio acuoso, que propicia un rápido intercambio de los iones de la superficie del vidrio con los de los fluidos circundantes. Este proceso produce una variación de la concentración iónica del fluido y, simultáneamente, la formación de una capa de gel de sílice en la superficie del vidrio, favoreciendo ambos efectos la cristalización de hidroxicarbonatoapatita (figura 7).

Esta apatita, crecida sobre la superficie de las piezas de vidrio, es semejante a las apatitas biológicas, esto es,

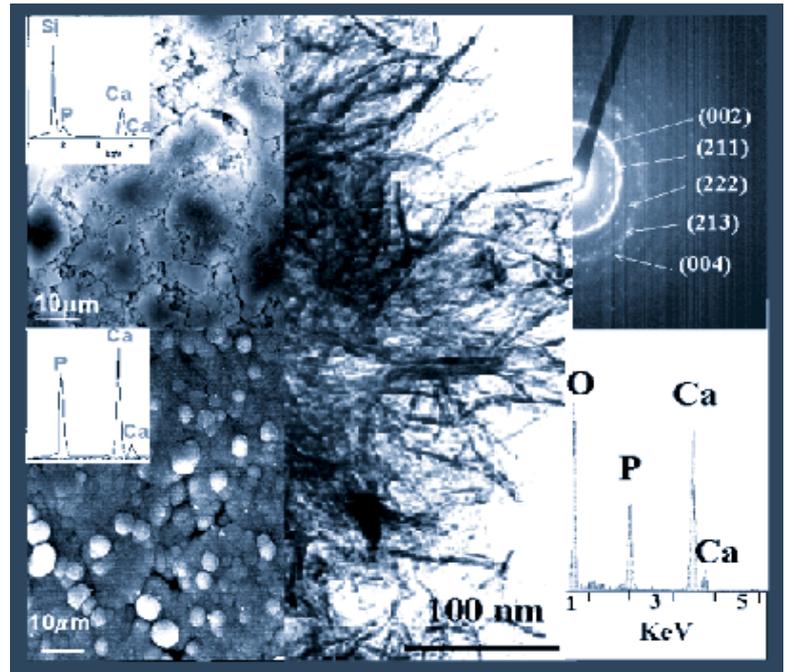


Fig. 8: Micrografías de barrido y de transmisión de la nueva capa formada sobre el vidrio. Diagrama de difracción de electrones correspondientes. EDS del vidrio y de la capa formada.

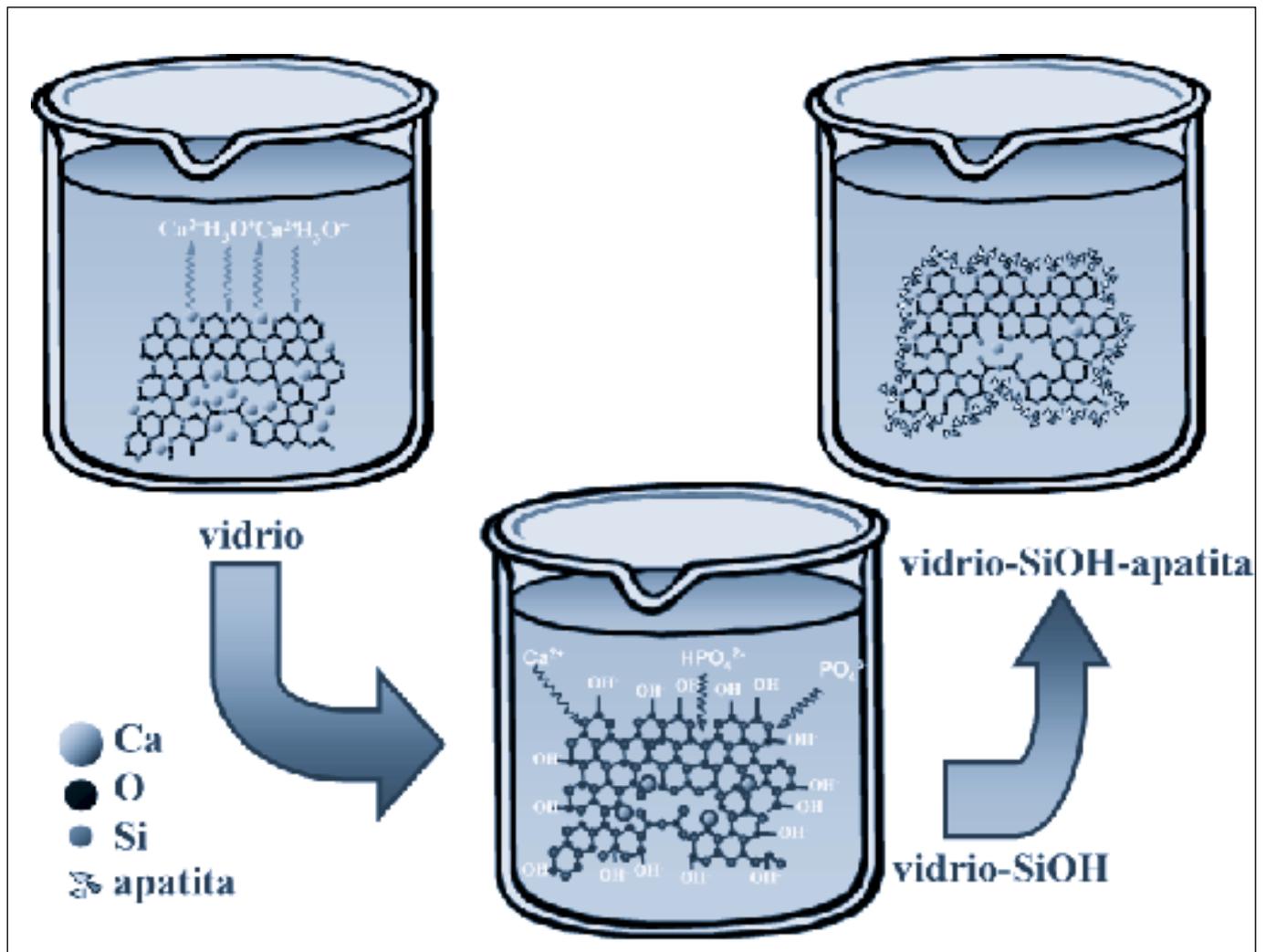


Fig. 7: Posible mecanismo de reacción de un vidrio reactivo en contacto con un fluido.

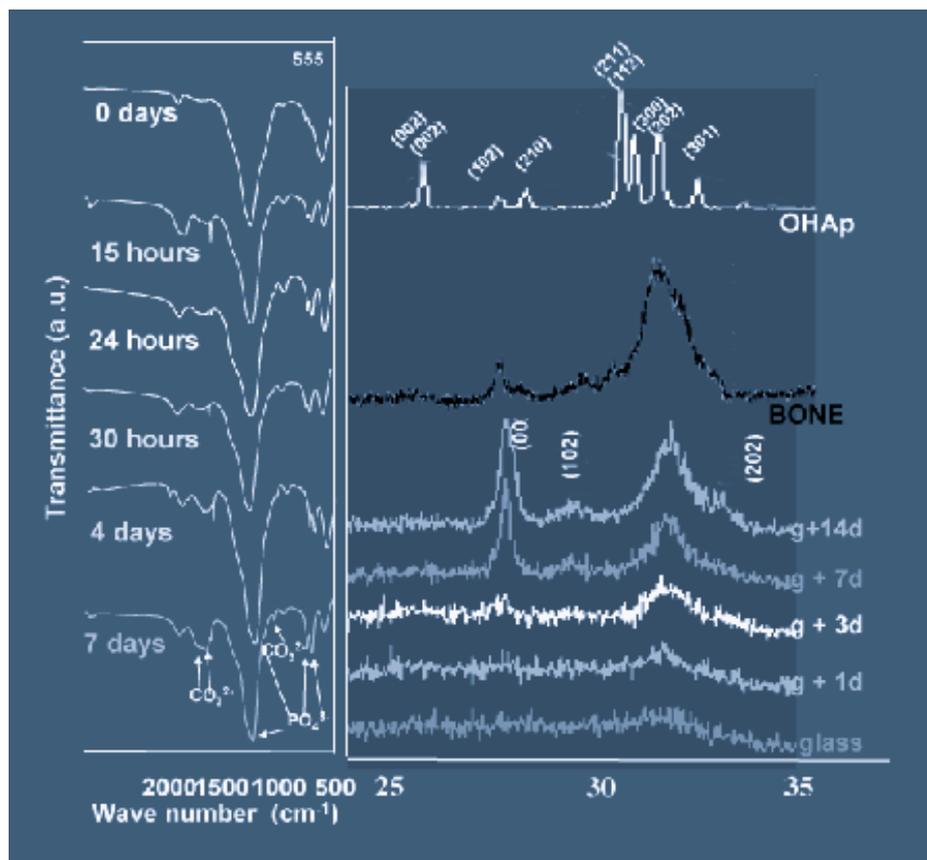


Fig. 9: IFTR del vidrio y de la capa formada a distintos tiempos. Difractograma de RX de una hidroxiapatita cristalina utilizada como patrón, del hueso y del vidrio antes y después de estar en contacto con fluidos fisiológicos durante distintos tiempos.

nanocristalina y no estequiométrica (figura 8) con presencia de carbonato (figura 9).

El comportamiento de la *superficie* de las biocerámicas es un factor clave en la respuesta del implante. Por eso su caracterización es imprescindible. Cuanto mayor superficie específica y porosidad, mayor reactividad y, por tanto, cinética más rápida en la respuesta. Por otro lado, las células tienen claras preferencias por la *forma* de la superficie y su *terminación*: *lisa* o *rugosa*.

El desarrollo de las *vitrocerámicas* se inició en los años 60. Son cerámicas policristalinas obtenidas por cristalización controlada de vidrios, donde coexisten fases amorfas y cristalinas. Estas vitrocerámicas poseen excelentes propiedades térmicas y mecánicas en comparación con las cerámicas tradicionales, y en el campo de los biomateriales se sintetizan con la esperanza de mejorar las pobres propiedades mecánicas de los vidrios, sus precursores, pero sin que el tratamiento térmico, o la adición de precipitados metálicos, afecte, o lo haga poco, a la bioactividad de los mismos.

Los vidrios y vitrocerámicas bioactivos apuntan otra utilidad en el campo de las cerámicas, la posible eliminación de células cancerígenas en huesos, mediante el método de hipertermia. Este método consiste en un calentamiento selectivo sobre una determinada zona. Por encima de 43°C, las cé-

lulas cancerígenas, con menos vasos sanguíneos y terminaciones nerviosas, por tanto, menos oxigenadas que el resto de las células, son las primeras en morir cuando se les aplica un tratamiento térmico. Si éste es selectivo, esto es, 43°C con un control en el tiempo de aplicación, se puede conseguir atacar a las células cancerosas sin alterar a las células sanas. La inclusión de agregados de material *ferro* o *ferrimagnético* en los vidrios y vitrocerámicas bioactivos es una posible solución a este problema. *Por un lado*, se logra la unión y crecimiento de hueso con la vitrocerámica bioactiva y, *por otro*, un aumento controlado de la temperatura mediante el ciclo de histéresis del material magnético y las corrientes de Foucault inducidas por un campo magnético externo variable con el tiempo.

Por otra parte, existen bastantes intentos de, a partir de mezclas bifásicas de fosfatos de calcio, sintetizar el componente mineral del hueso. Así se han preparado substitutivos óseos basados en mezclas entre hidroxiapatita y b-fosfato tricálcico que evolucionan, bajo condiciones fisiológicas, a nano-apatitas carbonatadas. Estas reacciones están basadas en equilibrios entre la fase más estable, *hidroxiapatita*, y la más reabsorbible, *b-fosfato tricálcico*, que dan lugar a una mezcla que sufre una progresiva disolución en el cuerpo humano, sirviendo como semilla de formación de nuevo hueso y aportando iones Ca^{2+} y PO_4^{3-} al medio local. Este material se puede utilizar conformado en *piezas*, en *forma de recubrimientos* o *inyectado*. En la actualidad, se están preparando muy diversas mezclas bifásicas con distintos fosfatos de calcio, vidrios, y sulfatos de calcio entre otros.

Otra línea de investigación actual y muy interesante es la de cementos bioactivos de fosfato de calcio. Estos cementos fraguan *in situ*, son muy compatibles con el hueso y, supuestamente, se reabsorben lentamente, proceso durante el cual el hueso natural va sustituyéndolos. Sin embargo, las propiedades de estos cementos, actualmente en uso, son aún insuficientes para una aplicación fiable.

En la actualidad, para todas aquellas aplicaciones clínicas que requieran soportar carga se están utilizando implantes, en su mayoría metálicos, lo que origina problemas importantes debido a:

- la gran diferencia de propiedades mecánicas entre el implante artificial y el hueso natural, lo que da lugar a *rupturas*,

- la presencia de iones que, procediendo del implante artificial, pueden ser tóxicos o perjudiciales y son causa de *dolor*,
- y la imposibilidad de regenerar el hueso natural.

Una alternativa, para paliar en parte estos problemas mientras no se logre un material similar al hueso es recubrir el implante metálico con cerámicas. Esto se está realizando tanto en implantes dentales como en prótesis de cadera, aunque el camino que hay que recorrer es todavía muy largo para mejorar estos productos. El proceso de recubrimiento de un metal por una cerámica es complejo y existen muchos métodos para realizarlo. De él depende, en gran parte, el éxito clínico, ya que la calidad y la duración de la fijación en la interfaz dependen en gran medida de la *pureza, tamaño de partícula, composición química del recubrimiento, espesor de la capa y características superficiales del sustrato*.

Otra de las ventajas que se obtienen al recubrir un implante metálico por una cerámica es la *reducción de la liberación de iones procedentes de la aleación metálica*.

La cerámica constituye una verdadera y eficaz barrera que ralentiza la cinética de difusión de iones metálicos al organismo vivo. Por esta razón, se está utilizando la hidroxiapatita, para mejorar la fijación de las prótesis articulares de cadera, dadas sus excelentes propiedades biológicas.

Existe un amplio campo interdisciplinar donde se estudian las propiedades y procesos en las intercaras entre materiales sintéticos y entornos biológicos. Pueden, además, fabricarse superficies biofuncionales para mejorar la unión entre la pieza implantada y el tejido vivo. Los materiales empleados en tecnología biomédica se diseñan, en gran medida, buscando que presenten interacciones biológicas concretas y deseables con su entorno, en vez de la antigua práctica habitual que consistía en intentar adaptar materiales tradicionales a las aplicaciones biomédicas. Por otra parte, los investigadores de ciencia de materiales están aprendiendo cada vez más de los materiales presentes en la Naturaleza, para poderlos imitar en la fabricación de materiales sintéticos.

La *ingeniería de tejidos*, iniciada hace una década, está en pleno apogeo investigador y dando los primeros frutos en desarrollo. Consiste en disponer de un andamio fabricado con un material artificial, por ejemplo, con una biocerámica. La posibilidad de conformar piezas cerámicas con porosidad diseñada, para utilizarlas como sustratos en ingeniería tisular, abre un espectacular futuro para los fosfatos de calcio y otras biocerámicas. Sobre el sustrato se cultivan células para que la pieza llegue a colonizarse. Esto puede realizarse tanto *in vitro* como *in vivo*.

Uno de los objetivos primordiales es el desarrollo de materiales para lograr la reparación funcional y la reconstrucción de estructuras biológicas. En este sentido se está dedicando especial atención a la obtención y caracterización de super-

ficies de diferentes sustratos, para su aplicación en el desarrollo de andamios tridimensionales utilizables en ingeniería de tejidos. Uno de los aspectos prioritarios es el estudio y modificación de las propiedades superficiales de los sustratos, con el fin de modular su interacción con entidades biológicas tales como macromoléculas y células.

La estrategia de reparación y sustitución de partes dañadas del organismo será, en un futuro próximo, claramente distinta a la de los implantes biomédicos tradicionales, utilizados en la actualidad. ■

BIBLIOGRAFÍA

- Mann, S., Webb, J., Williams, RJP., (1989). VCH. Germany.
- Vallet-Regí, M., (1997). Anales de Química. International Edition. Suplemento 1 vol. 93.1, S6-S14.
- Heimke, G., (1989). Angew. Chem., Int.Ed.Engl 28, 111.
- Hench, LL., Pollack, JM., (2002). Science 295, 1014-1017.
- Carlisle, EM., (1970). Science 167, 179.
- LeGeros, RZ., (1965). Nature 206, 403.
- Hench, LL., (1991). J. Am. Ceram. Soc. 74, 1487.
- Vallet-Regí, M., Ragel, CV., Salinas, AJ., (2003). Microreview. European Journal of Inorganic Chemistry. 1029-1042.
- Constanz, BR., Ison, IC., Fulmer, MT., Fulmer, RD., Poser, RD., Smith, ST., Vanwagoner, M., Ross, J., Goldstein, SA., Jupiter, JB., Rosental, DI., (1995). Science 267, 1796.
- Vallet-Regí, M., González-Calbet, JM., (2003). Progress in Solid State Chemistry. En prensa.
- Vallet-Regí, M., Rámila, A., (2000). Chemistry of Materials 12, 961-965.
- Martínez, A., Izquierdo-Barba, I., Vallet-Regí, M., (2000). Chemistry of Materials 12, 3080-3088.
- Vallet-Regí, M., Pérez.Pariante, J., Izquierdo-Barba, I., Salinas, AJ., (2000). Chemistry of Materials 12, 3770-3775.
- Vallet-Regí, M., (2001). J. Chem. Soc. Dalton Trans 02, 97-108.
- Pérez del Real, R., Arcos, D., Vallet-Regí, M., (2002). Chemistry of materials 14, 64-70.
- Arcos D., Pérez del Real, R., Vallet-Regí, M., (2002). Biomaterials 23, 2151-2158.
- Pérez del Real, R., Wolke, JGC., Vallet-Regí, M., Jansen, JA., (2002). Biomaterials 23, 3673-3680.
- Rámila A., Padilla, S., Muñoz, B., Vallet-Regí, M., (2002). Chemistry of Materials 14, 2439-2443.
- Arcos D., Peña, J., Vallet-Regí, M., (2003). Chemistry of Materials 15(21), 4132-4138.
- Ragel, CV., Vallet-Regí, M., (2000). J. Biomed. Mater. Res. 51, 424-429.
- Cabañas, MV., Vallet-Regí, M., (2003). J. Mater. Chem. 13, 1104.
- Castner, DG., Ratner BD, (2002). Surface Science 500, 28-60.
- Tirrell, M., Kokkoli, E., Biesalski, M., (2002). Surface Science 500, 61-83.
- Kasemo, B., (2002). Surface Science 500, 656-677.
- Hartgerink, JD., Beniash, E., Stupp, SI., (2001). Science 294, 1684-1688.

Fritta 

el diseño se mueve