

EDITORIAL

EL MITO DE SÍSIFO

A veces conviene volver al mundo clásico para buscar, en su amplísimo repertorio de mitos, alguna imagen que se acomode a las vicisitudes con las que este país nuestro ha venido obsequiando en nuestra historia reciente. De Sísifo, al parecer natural de Corinto, cuenta la leyenda que fue condenado por los dioses olímpicos, con frecuencia caprichosos y muchas veces además crueles, a subir eternamente una pesada roca por la ladera de una montaña con la maldición, siempre reiterada, de que al llegar a su cima la piedra se venía abajo, obligando al pobre Sísifo a comenzar una y otra vez de nuevo su ingrata tarea. Las razones de tan dura sentencia, aunque no son del caso, tampoco parecen estar muy claras pues no hay unanimidad en las distintas versiones. Es un mito que ha tenido presencia en la literatura moderna y que Albert Camus usó como pesimista metáfora de la condición humana. Sin llegar tan lejos como lo hizo Camus, contiene elementos en los que se puede reconocer parte de la difícil relación que la Ciencia y España han mantenido desde un pasado que desde luego no viene de ayer. Existe, en efecto, un sentimiento bastante difundido en la comunidad científica española, de que algún confuso designio cuya responsabilidad no cabe en este caso atribuir a los dioses olímpicos, obliga a nuestros grupos de investigación a someterse a algo parecido a lo de Sísifo y que aunque sin piedra ni montaña tiene como resultado la sensación de estar siempre empezando de nuevo. A estas alturas, tanto la sociedad española como sus autoridades deberían ya entender que un movimiento científico suficientemente desarrollado tiene en el mundo de hoy la condición de una infraestructura necesaria.

Es más, las circunstancias actuales, que obligan a reconsiderar seriamente el marco de nuestro sistema productivo, ponen de manifiesto que de ello va a depender no sólo nuestro desarrollo económico sino incluso nuestra posición en el mundo. Consecuentes, por tanto, con esa condición de infraestructura, el concepto de “mantenimiento” adquiere el valor que acompaña a las cuestiones esenciales. El ánimo con el que nuestros científicos afronten la presente coyuntura tiene, en consecuencia, una importancia análoga a la que se atribuye al famoso índice de confianza empresarial. Pero es que además en esta tarea de incorporar el conocimiento co-

mo un recurso ineludible en la sociedad de hoy día, el punto de partida es también, sin duda, el sistema educativo y aquí, desde luego y muy especialmente el mito de Sísifo adquiere la relevancia de una experiencia que se repite una y otra vez. Contribuye a ello la sorprendente y nunca bien entendida propiedad que determina que un cambio de gobierno, que en un sistema democrático debería ir acompañado de la más absoluta normalidad y casi se podría decir rutina, suele provocar el establecimiento de un nuevo plan de estudios. Es muy difícil discutir que en este tema, quizá como en ningún otro, un amplísimo y general acuerdo, escrupulosamente respetado, es uno de los fundamentos de la solidez de una sociedad que se respete mínimamente a sí misma. No sólo, también resulta del mismo modo difícil entender la aparente indiferencia con la que esta sociedad encaja el hecho de que informe tras informe, nuestra enseñanza no salga precisamente bien parada. Comprender que el binomio educación y futuro cuya consecuencia es el desarrollo científico, es la clave que explica el éxito de las sociedades más desarrolladas, va a ser el factor que determine como ningún otro, cual pueda llegar a ser nuestro lugar en el mundo.

Es por estas razones, además de otras que alargarían demasiado este texto, que la tarea de incluir el conocimiento como un ingrediente básico de nuestra sociedad, debería transformarse en un objetivo nacional para el que cabe reclamar un principio de excepcionalidad que le sitúe al margen de alternativas políticas o de circunstancias coyunturales.

No se piense que ignoramos que en esta materia ha existido un progreso indiscutible pues es evidente que en este terreno la España de hoy ya no es la que solía ser y que además en estos momentos cuenta con excelentes científicos. No obstante, esto no debe impedir ser lúcidamente conscientes de lo mucho que queda por hacer pues en lo que a la ciencia se refiere, felizmente el dictamen es bastante sencillo, “en primer lugar no frustrar nunca lo ya conseguido ya que además queda todavía mucho por hacer”, pues de ignorar esta circunstancia la piedra podría volver a caer y obligarnos, en consecuencia, a recorrer de nuevo la penosa subida. Es este un tema en el que sólo para mantenerse es preciso ir muy deprisa y por lo tanto para avanzar todavía aún más; tanto más cuanto que el ritmo nos lo van a marcar otros que tienen poca costumbre de pararse. ■

Director: Jesús María Rincón López**Editor:** Enrique Ruiz-Ayúcar**Consejo Editorial:** Antonio Bello Pérez, María Arias Delgado, Ismael Buño Borde**Junta de Gobierno de la Asociación Española de Científicos (AEC).****Presidente:** Jesús María Rincón López**Vicepresidente Primero:** Alfredo Tiemblo Ramos**Vicepresidente Segundo:** Alfonso Navas Sánchez**Secretario General:** Enrique Ruiz-Ayúcar**Vocales:** María Arias Delgado, Antonio Bello Pérez, Fernando García Carcedo,

Sebastián Medina, Jaime Sánchez-Montero, Manuel Jordán Vidal,

Luis Guasch Pereira, José María Gómez de Salazar, Marcial García Rojo,

María del Carmen Risueño Almeida, Julio César Javier Tello Marquina, Pedro Sánchez Soto.

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

La AEC es miembro fundador de la Confederación de Sociedades Científicas de España, COSCE.

ÍNDICEPeter W. Higgs y François Englert:
un Premio Nobel esperado

JAIME JULVE 3

La innovación, factor clave
del crecimiento de Técnicas Reunidas

MARIA FRADES, JAVIER LIMPO Y GUSTAVO DÍAZ 5

Aplicación de la fotocatalisis a la eliminación
de contaminantesSARA CERRO, ROBERTO GALINDO Y
GUILLERMO MONRÓS 10

Láseres ultra intensos:

tecnología que revolucionará el siglo XXI

JESÚS ALVAREZ, JAVIER FERNÁNDEZ, JOSÉ MANUEL PER-
LADO Y LUIS ROSO 16Arqueometría en el estudio del vidrio antiguo.
Cuentas centroeuropeas de la Edad del Hierro
(siglos VI-IV a.C.)J.F. CONDE, F. AGUA, U. KOBYLÍŃSKA, Z. KOBYLÍŃSKI,
M.A. VILLEGAS Y M. GARCÍA-HERAS 22

Cáncer e inmunidad

JOSÉ R. REGUEIRO 27

Aclidinio, nueva molécula para el tratamiento de la en-
fermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)

JOSÉ LUIS DÍAZ, XAVIER LLAURADÓ Y PERE BERGA 33

Avances en biotecnología del polen ayudarán a obte-
ner variedades agrícolas mejoradas en tiempos records

PILAR S. TESTILLANO 38

“PLANTéatelo: la Ciencia es divertida”, una iniciativa
para fomentar las vocaciones científicas en la escuela

LUIS A. CAÑAS Y JUAN CARBONELL 40

Breve nota sobre la conferencia titulada “Mecanobiología:
nuevos retos de investigación en Ingeniería Mecánica”

PEDRO JOSÉ SÁNCHEZ-SOTO 45

En memoria de la profesora *Luisa Pelagia Díaz Viruliche*IVÁN CASTRO, JOSÉ ANTONIO LÓPEZ PÉREZ, ANTONIO
BELLO Y PEDRO URBANO 47

La trayectoria innovadora de SENER 48

Peter W. Higgs y François Englert: un Premio Nobel esperado

JAIME JULVE

Instituto de Física Fundamental. CSIC. Madrid

La joya de la corona de las partículas elementales, la clave que traba la bóveda, la llave que abre y cierra el arcano de la materia que conocemos, éste es el “bosón de Higgs”, cuya reciente confirmación experimental ha valido el Premio Nobel a los físicos teóricos que conjeturaron su existencia.

En realidad estos científicos son sólo la cabeza más visible o el punto de llegada de un esfuerzo que tiene muchos otros protagonistas y se remonta a muy atrás en el tiempo. En estas líneas trazaremos brevemente esta historia y haremos justicia también a esos nombres que no han saltado a los medios y son conocidos sólo por los especialistas de la física de partículas elementales.

Para orientarnos es preciso describir en primer lugar, aun brevemente, el mundo de las partículas subatómicas, en el que el bosón de Higgs tiene un papel tan central. De la multitud observada en los aceleradores y en la radiación cósmica –casi todas inestables, o sea que se desintegran en brevísimo tiempo– se ha concluido que unas 16 son las “elementales”: seis quarks, seis leptones y cuatro “mediadoras” de las fuerzas fundamentales, aunque es una cuenta algo simplificada porque cada quark existe con tres “colores” distintos. De todos modos este logro de sistematización se puede paragonar al de la Tabla Periódica de los elementos químicos, cortísima comparada con los millones de compuestos o sustancias químicas a que pueden dar lugar.

En las partículas elementales tenemos algunas peculiaridades añadidas, propias de ese mundo regido por las leyes cuánticas. Las cuatro fuerzas fundamentales que actúan entre ellas –por orden de intensidad la gravitación, la nuclear débil, la electromagnética y la nuclear fuerte– están a su vez transportadas o mediadas por unas partículas especiales: el hipotético gravitón, los bosones electro-débiles $W^\pm$ y Z^0 , el fotón γ y los gluones g de la figura adjunta. La gravitación es irrelevante a esta escala subatómica y no la volveremos a citar. Los quarks son constituyentes de los protones, neutrones y demás “hadrones” pero no pueden observarse libres fuera de ellos. Los leptones incluyen a los ordinarios electrones, los neutrinos y otras similares pero inestables. Por cada partícula existe su antipartícula, con carga eléctrica opuesta. Todas las partículas subatómicas, elementales o no, giran como pequeñas peonzas con un valor llamado *espín*, que las leyes

cuánticas obligan a ser múltiplo semi-entero (o sea $S = 1/2, 3/2, \text{etc.}$) o entero ($S = 0, 1, 2, \text{etc.}$) de un valor fundamental dado. En el primer caso se llaman *fermiones*, en honor del Nobel italiano Enrico Fermi, y en el segundo *bosones*, por el físico indio Satyendra Nath Bose, pero tras ese nombre se esconden propiedades básicas radicalmente diferentes. Así la Naturaleza quiere que todas las partículas elementales de la “materia” (quarks y leptones) sean fermiones, mientras que las mediadoras de las fuerzas son bosones. Ya en esto la partícula de Higgs, el invitado 17, resulta caso aparte: es elemental, pertenece al sector “materia”, ella misma tiene masa –y no pequeña– pero tiene espín nulo ($S = 0$), o sea es un bosón de pleno derecho, y su singularidad no termina ahí.

Partículas Elementales del Modelo Estándar

Three generations of matter (fermions)					
	I	II	III		
Quarks	2.4 MeV/c ² 2/3 1/2 u up	1.27 GeV/c ² 2/3 1/2 c charm	171.2 GeV/c ² 2/3 1/2 t top	0 0 1 γ photon	
	4.8 MeV/c ² -1/3 1/2 d down	104 MeV/c ² -1/3 1/2 s strange	4.2 GeV/c ² -1/3 1/2 b bottom	0 0 1 g gluon	
	<2.2 eV/c ² 0 1/2 ν_e electron neutrino	<0.17 MeV/c ² 0 1/2 ν_μ muon neutrino	<15.5 MeV/c ² 0 1/2 ν_τ tau neutrino	91.2 GeV/c ² 0 1 Z ⁰ Z boson	
	0.511 MeV/c ² -1 1/2 e electron	105.7 MeV/c ² -1 1/2 μ muon	1.777 GeV/c ² -1 1/2 τ tau	80.4 GeV/c ² ±1 1 W [±] W boson	
					125 GeV/c ² 0 0 H Higgs boson
Leptons					

Gauge bosons

Las partículas elementales de “materia” tienen masa, de las mediadoras sólo los $W^\pm$ y Z^0 , mientras el fotón y los gluones tienen masa nula, como debería ser el caso del gravitón. Este detalle de la masa de los $W^\pm$ y Z^0 es el gran problema en el origen de la florida saga del bosón de Higgs. Problema, porque el Modelo Estándar de las Partículas Elementales que vertebra la “familia a 16”, es una “teoría cuántica de campos” y en estas teorías la presencia de partículas con espín $S = 1$ y masa no nula –el fotón no da problemas por tener masa nula– puesta “a mano” da lugar a dificultades matemáticas insalvables: las llamadas divergencias, o sea que el cálculo de algunas magnitudes da un resultado infinito no eliminable, cosa absurda e inadmisibles. Esto se arregló mediante el “mecanismo de Higgs”, que de manera ingeniosa logra evitarlo generando la masa de los $W^\pm$ y Z^0 por obra de un campo escalar (o sea de espín cero) añadido que llena el universo, el

“campo de Higgs”, y selectivamente les “da masa” mientras al fotón y a los gluones no. También de paso, y de manera menos sofisticada, da la masa a los leptones y quarks. Importante remarcar desde el punto de vista histórico y de los galardones, que hemos dicho *campo* y no partícula o bosón de Higgs.

Para poder explicar la historia y sus protagonistas hay que contar todavía algunas cosas más del Modelo Estándar. Está dotado de una simetría matemática interna que se llama $SU(2) \times U(1)$, y la introducción “a mano” de la masa de los $W^\pm$ y Z^0 la rompe brutalmente, con la consecuencia, entre otras, de las citadas divergencias. El truco del mecanismo de Higgs es que consigue la masa con una rotura más dulce, en realidad sólo una deformación de la simetría, que se llama “rotura espontánea”, concepto que se remonta a tres físicos anteriores, Jeffrey Goldstone y los Nobel Yoichiro Nambu y Philip Anderson. Está relacionado con un fenómeno conocido en mecánica ordinaria: si comprimimos una varilla por sus extremos con fuerzas opuestas y alineadas a ella, situación que tiene una obvia simetría rotacional en torno al eje de la varilla, ésta acaba pandeándose *hacia un lado*, y esto rompe esa simetría. El sistema es simétrico pero las soluciones no. La huella de la simetría original es que el pando puede tener lugar indiferentemente hacia *cualquier lado*, o sea que las soluciones están degeneradas, o lo que es lo mismo, se pueden transformar unas en otras mediante rotación. Este concepto, que ya Anderson había aplicado en el ámbito de la física del estado sólido, Goldstone y Nambu lo formulan en teoría cuántica de campos. Más entrados los años 60 del siglo pasado, Hagen, Kibble, Guralnik, Brout, Englert lo aplican a teorías con simetría no abeliana, donde un campo escalar complejo con varias componentes se comporta como el pando de la varilla, y finalmente Brout, Englert y el propio Higgs lo adoptan como mecanismo generador de masa en el Modelo Estándar.

Es necesaria ahora otra noción básica de estas teorías. Las partículas elementales son excitaciones del campo cuántico que las representa: el del electrón, el del fotón o el de cada quark, etc. El campo en reposo, no excitado, se llama el “vacío” de ese campo y si su energía es nula, como en todas las partículas “normales”, decimos también que ese campo tiene un “valor esperado en el vacío nulo”. La característica del de Higgs es que la rotura espontánea le dota de un valor esperado no nulo: su estado no excitado, su “vacío”, corresponde a una densidad de energía finita que permea todo el espacio. Este es el mecanismo que dota de masa a las demás partículas: quizá la mejor imagen es paragonarlo a una miel que llena todo, a la que se pegan mucho algunas de las partículas, haciéndolas “pesadas”, mientras otras se pegan poco (electrones) muy poco (neutrinos), o nada en absoluto (fotón y gluones) que permanecen con masa nula. Naturalmente tal “substancia”, que se supone que llena la inmensidad del espacio, no puede no tener consecuencias a escala cosmológica, sólo que los cálculos no cuadran en absoluto con la expansión observada

del universo. Otro enigma abierto.

El mérito específico del escocés Peter Higgs es el de haber sido el primero en predecir que este campo, aun tan especial, tendría que tener también excitaciones –pequeñas olas de ese mar de miel– observables como partículas elementales, las que han pasado ya a la historia como bosón de Higgs. Hay que decir a continuación que el apelativo “partícula de Dios” lo acuñó el Nobel de física Leon Lederman buscando un golpe de efecto periodístico para obtener financiación del senado estadounidense para el nuevo acelerador de partículas “Superconducting Super Collider” (SSC), a construir en Texas y tres veces más grande que el “Large Hadron Collider” (LHC) del Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire (CERN), pero finalmente cancelado en 1993. Expresión exagerada o poco afortunada para muchos, pero alusiva de todos modos al papel especial del “Higgs” respecto de las demás partículas elementales.

La asignación de los premios Nobel de física es materia especialmente compleja en este mundo de las partículas elementales. En efecto, el mérito de la observación recae sin duda en los equipos que están detrás del acelerador y de los detectores ubicados en las zonas de colisión, en este caso ATLAS (A Toroidal LHC Apparatus) y CMS (Compact Muon Solenoid) en el LHC de Ginebra. En el pasado, la primera confirmación del modelo teórico de unificación electrodébil $SU(2) \times U(1)$, con la observación de las “corrientes débiles neutras” y de los bosones $W^\pm$ y Z^0 , valió la asignación, en ediciones sucesivas, de una cadena de premios Nobel: S.L. Glashow, S. Weinberg, A. Salam, M. Veltman y G. ‘tHooft como teóricos, de Carlo Rubbia como líder del equipo experimental, y el físico e ingeniero de aceleradores Simon van der Meer. Hay que reseñar por otro lado que los equipos humanos que operan cada mastodóntico detector están constituidos por muchos centenares de personas entre físicos y técnicos. No es fácil hacer justicia. En el caso que nos ocupa, los primeros bosones de Higgs se han visto en el detector ATLAS y acto seguido confirmados en el CMS, pero para los medios el honor ha correspondido a la anunciadora oficial del resultado, en julio de 2012 en el CERN, como portavoz de la colaboración ATLAS: la física italiana Fabiola Gianotti.

Entre los ahora galardonados hubiera estado sin duda el belga Robert Brout, pero su fallecimiento en 2011 era un impedimento reglamentario. Es posible que la estela de premiados se alargue y cabe especular que, de no haber fallecido también, se hubiera podido considerar al italiano Nicola Cabibbo, cuya contribución a la comprensión de la interacción nuclear débil está incorporada en el Modelo Estándar. Más difícil todavía sería identificar el mérito entre los físicos experimentales de Ginebra. En las distinciones científicas de elevado prestigio no hay duda de que son mucho más numerosos los candidatos dignos que los premios disponibles, pero pocas veces como en este caso se puede decir que son todos los que están, pero no están todos los que son. ■

La innovación, factor clave del crecimiento de Técnicas Reunidas

MARIA FRADES, JAVIER LIMPO Y GUSTAVO DÍAZ

División de Desarrollo de Tecnologías Propias

Técnicas Reunidas

INTRODUCCIÓN

TÉCNICAS REUNIDAS, TR, es un contratista general con actividad internacional que se dedica a la ingeniería, diseño y construcción de todo tipo de instalaciones industriales para un amplio espectro de clientes de todo el mundo.

La mayoría de la actividad de TR está concentrada en la ejecución de grandes proyectos industriales "llave en mano", si bien también provee todo tipo de servicios de ingeniería, gestión, puesta en marcha y operación de plantas industriales.

TR ocupa una posición líder en ingeniería y construcción en el sector energético en España, se encuentra entre las 3 principales compañías de ingeniería y construcción en el sector Oil & Gas de Europa y entre las 10 principales del mundo.

TR dentro de su Responsabilidad Social Corporativa tiene como modelo de empresa situar la innovación, el

progreso en el uso de la tecnología, el conocimiento y la protección medioambiental como centro de su crecimiento como compañía.

LA INNOVACION

EN TÉCNICAS REUNIDAS

Técnicas Reunidas ha tenido un gran crecimiento durante los últimos años que ha sido posible gracias a una buena gestión del proceso innovador en cuanto a su organización y dirección de los recursos, tanto humanos como económicos y materiales, que han permitido aumentar la creación de nuevos conocimientos y la generación de ideas y como consecuencia obtener nuevos servicios y procesos, y mejorar los ya existentes.

En Técnicas Reunidas, la actividad innovadora no se ciñe únicamente a la generación de un nuevo servicio o proceso, sino que implica otros muchos aspectos que afectan al desarrollo de la empresa y a su toma de decisiones.

En este sentido, cabe señalar algunas áreas de aplicación de la actividad innovadora, como es el sistema de gestión, con el objetivo claro de mejorar la capacidad de coordinación con el fin de que se consiga responder mejor y más rápido a las exigencias de los clientes. Otra área importante es la organización, no solo en cuanto a posibles cambios organizativos que mejoran su eficacia, sino también en la práctica de los negocios, la organización del lugar de trabajo o las relaciones externas que se consideran claves por la tipología del negocio que desarrolla TR.

El Capital humano de especial relevancia para TR, es otra de las áreas de actividad en la que la innovación está permanentemente presente. Ejemplo de ello, es la Gestión del Talento o el Plan de Promoción de Jóvenes.

La Gestión del Talento es una Herramienta que permite a TR administrar y gestionar el capital humano de la compañía, estableciendo las necesidades de formación, las asignaciones a proyecto más adecuadas y abrir nuevos canales de comunicación entre otras cosas.

El Plan de jóvenes promesas dirigido a jóvenes recién titulados o con menos de dos años de experiencia tiene como duración cuatro años, con revisiones salariales especiales, con un plan de tutorías y viajes a obra.



Otro ejemplo también muy significativo es la gestión del conocimiento, donde podríamos destacar la implantación de un sistema de lecciones aprendidas, cuyo objetivo es la mejora continua de los procesos de la compañía. Una Lección Aprendida es cualquier oportunidad de mejora o error que sea detectado a lo largo del desarrollo de los proyectos y/o en sus actividades de apoyo y que pueda tener aplicabilidad en otros proyectos o actividades de la compañía. La información bajo el alcance de Lecciones Aprendidas está disponible para todos los empleados de Técnicas Reunidas en la Base de Datos corporativa.

No hay que olvidar que uno de los puntos más relevantes de la innovación son los programas de Investigación y Desarrollo. Es importante recordar en este instante que en el año 2010 el gasto empresarial en España en I+D creció un 8,3% mientras que en TR el gasto creció por encima del 30%, y que en el 2011 ese crecimiento también se situó por encima del 30%.

Todo esto pone de relieve la apuesta clara y decidida de TR en I+D+i, utilizando como eje su División de Desarrollo de Tecnologías Propias, y con una estrategia fundamentada en la consolidación de las tecnologías desarrolladas y en el desarrollo de nuevas tecnologías en diferentes campos basándose en el conocimiento existente en la organización y realizando una clara apuesta por la diversificación.

DIVISIÓN DE DESARROLLO

DE TECNOLOGÍAS PROPIAS

La base de trabajo de la División de Desarrollo de Tecnologías Propias es la Investigación y Desarrollo para lo cual cuenta con un Centro Tecnológico con más de 4500 m² localizado en San Fernando de Henares, Madrid, dotado con laboratorios especialmente equipados, plantas piloto e incluso taller de fabricación de prototipos. En él trabajan más de 70 personas entre titulados y doctores de diferentes disciplinas (Ingenieros químicos, industriales, aeronáuticos y agrícolas, químicos de diferentes especialidades y físicos), técnicos de laboratorio y personal administrativo, siendo su característica principal la versatilidad. Esto permite realizar las tareas de investigación y desarrollo a cualquier nivel desde el laboratorio al pilotaje y demostración, así como realizar la ingeniería básica o avanzada de la opción seleccionada.

Como ya se ha comentado anteriormente, la estrategia de la División pasa por la consolidación de las tecnologías desarrolladas y el desarrollo de nuevas tecnologías en diferentes campos basándose en el conocimiento existente en la organización, en una clara apuesta por la diversificación, en el aumento de la colaboración con otras empresas con vocación de Investigación y en profundizar en la colaboración con OPI's y CTI's.



Instalaciones del Centro Tecnológico de Técnicas Reunidas.

En este sentido, Técnicas Reunidas fundamentalmente mediante su División de Desarrollo de Tecnologías Propias participa activamente en proyectos en cooperación tanto nacionales, a través de las convocatorias Cenit e Innpronta del desaparecido Ministerio de Ciencia e Innovación, como en proyectos europeos dentro del VII programa Marco de la Comunidad Europea.

PRINCIPALES PROYECTOS DE I+D

EN COOPERACION NACIONALES

Y EUROPEOS EN LOS QUE PARTICIPA

TECNICAS REUNIDAS

Técnicas Reunidas está participando en la actualidad en cinco proyectos Cenit, un proyecto Innpronta y dos proyectos europeos, si bien recientemente le han concedido otros dos proyectos más que se iniciarán a final de año. Estos proyectos recientemente concedidos NECOBAUT y DAPHNE contemplan el desarrollo de baterías hierro-aire para automoción y el desarrollo de hornos industriales con tecnología microondas respectivamente. La inversión de Técnicas Reunidas en todos

estos proyectos se desarrolla principalmente en áreas de actividad tan diversas como Medio Ambiente (aguas y reciclado), Materiales y Energía.

Los proyectos Cenit están Subvencionados por el CDTI y los Innpronta apoyados por el CDTI.

Los proyectos europeos están subvencionados dentro del VII programa Marco.



El proyecto Cenit VERDE (2009-2012) que lidera el Centro Técnico SEAT tiene la finalidad de investigar y desarrollar tecnologías que permitan la rápida, económica y fiable penetración en el mercado del vehículo eléctrico (EV) y del vehículo eléctrico híbrido enchufable (PHEV) fabricados mayoritariamente en el estado español.



Foto representativa del proceso de recuperación de litio de las pastas de batería.

Técnicas Reunidas estudia el reciclado de las baterías de automoción al final de su ciclo de vida, con la recuperación de los componentes valiosos, fundamentalmente el litio y otros metales como el cobre. El objetivo es poder definir un proceso industrial para obtener un producto de litio que pueda servir de partida para la fabricación de nuevas baterías.



El proyecto Cenit BioSos que lidera Abengoa surge como un intento de desarrollo en soluciones tecnológicas sostenibles y competitivas frente a la demanda de energía y al sector petroquímico, y por lo tanto, pretendiendo competir con mercados ya establecidos, intentando complementar o mejorar las carencias actuales que la sociedad demanda y no proporciona la ruta petroquímica tradicional y constituyéndose por lo tanto como alternativa a ésta.



Sistema reactor Buchi para hidrólisis de biomasa y transformación en commodities químicos.

Para ello, se intenta desarrollar etapas que integran el concepto cada una de las de biorrefinería, entendiendo como biorrefinería la evolución de las tecnologías basadas en biomasa como materia prima que combina procesos biológicos, térmicos y químicos y aprovecha las sinergias existentes entre las distintas tecnologías, dando como resultado un completo abanico de productos.

Este proyecto permitirá a Técnicas Reunidas un potencial acceso hacia tecnologías novedosas que lleven a la obtención de un amplio espectro de productos químicos a partir del procesado de la biomasa y en competencia con la línea de producción por vía petroquímica.



A través del proyecto Cenit TRAINER (2010-2013), que lidera Acciona Infraestructuras, se pretende generar el conocimiento y la tecnología necesaria para dar lugar a una nueva generación de materiales inteligentes, capaces de imitar los mecanismos que tiene el cuerpo humano, entiendo como tal, la posibilidad

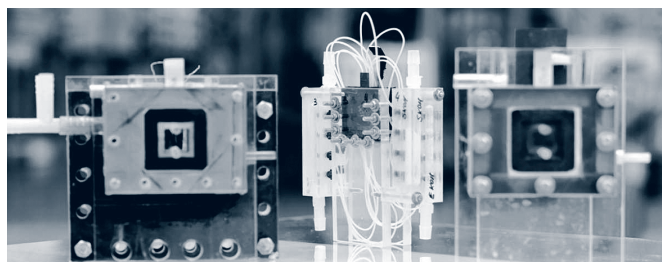


de reparar por sí mismo los daños ocasionado sobre él, aumentando con ello su tiempo de vida en servicio, disminuyendo así los costes derivados del mantenimiento continuado, lo que en numerosas ocasiones, limita la viabilidad de ciertos materiales que por su fragilidad o exigencias técnica suponen que sean inviables a la hora de ponerlos en el mercado.

Técnicas Reunidas participando en este proyecto pretenden cubrir los siguientes objetivos: el desarrollo tecnológico de procesos industriales para el aprovechamiento de metales estratégicos desde residuos diversos, hacer frente a los actuales fallos ocasionados por fenómenos de corrosión en plantas industriales, automoción, transporte y aeronáutica y por último generar material autoreparable basado en estos metales estratégicos.



El objetivo general del proyecto CENIT AZIMUT (2010-2013) que lidera Gamasa es generar el conocimiento necesario para desarrollar aerogeneradores marinos de gran potencia (15 MW) en el horizonte de 2020 y superar los retos que limitan hoy en día el despegue de la energía eólica offshore como son la eficiencia, la fiabilidad y el coste de la energía.

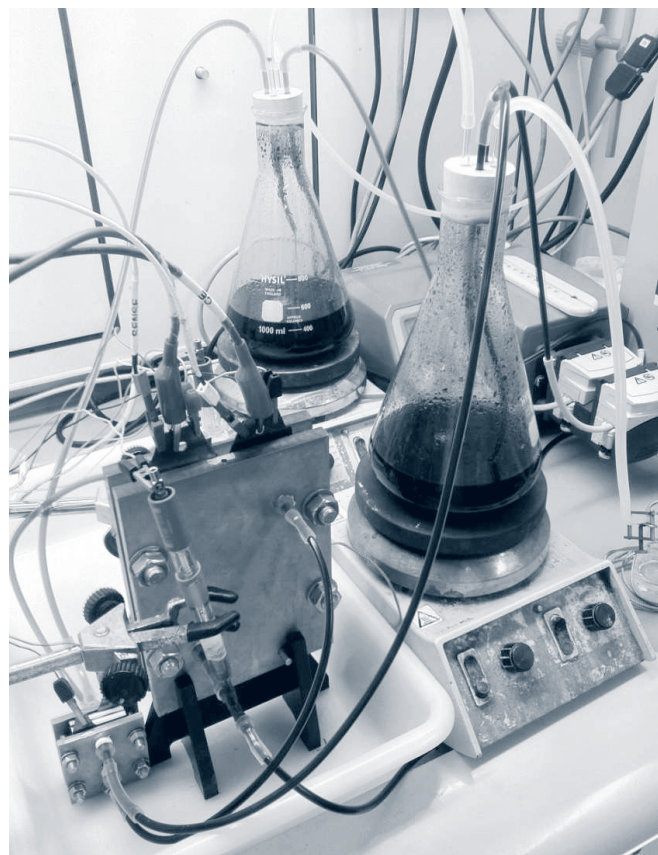


Prototipos de celdas diseñadas y construidas en el Centro Tecnológico de Técnicas Reunidas para ensayos de laboratorio.

El objetivo de Técnicas Reunidas en este proyecto es investigar y desarrollar una tecnología propia de almacenamiento masivo de energía basada en baterías de flujo redox que permita la integración en red de energías renovables y el despliegue de redes eléctricas más eficientes.



El objetivo general del proyecto Cenit LIQUION (2010-2013) que lidera Maier es generar conocimiento científico-técnico sobre tecnologías de aplicación industrial de los líquidos iónicos en sectores como el transporte (recubrimiento metálico de piezas plásticas con fines estéticos; sustitución de cadmio en la industria aeroespacial con el objeto de evitar la corrosión), energía (uso como electrolito en baterías de ion-Li,



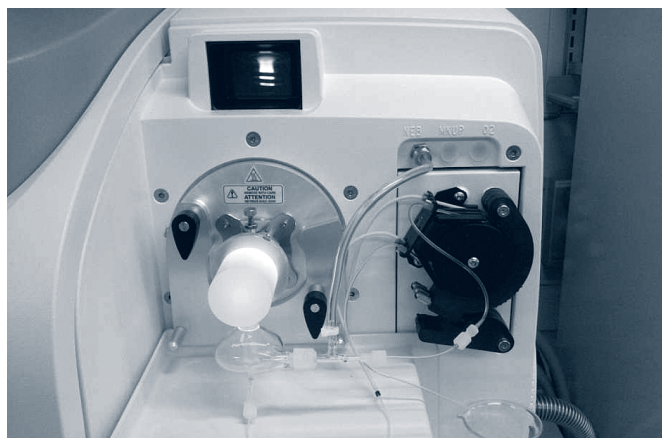
Instalación para la experimentación con líquidos iónicos en baterías de flujo redox de última generación.

baterías Zn-aire y baterías de flujo; deposición de óxidos en paneles solares tipo CIGS o DSSC), medioambiente (extracción de metales de efluente industriales y reducción de contaminantes en diversos procesos industriales) y biotecnología (nuevos medios de reacción para biosíntesis y desarrollo de procesos alternativos para el recubrimiento de materiales poliméricos de prótesis para facilitar su óseo-integración).

La finalidad de Técnicas Reunidas en este proyecto es posicionar a la empresa en la utilización de una tecnología emergente y con bajo impacto ambiental para la purificación de aguas y tratamiento de efluentes; la valorización de metales y el almacenamiento de energía.



El proyecto Innpronta ITACA (2011-2014) que lidera Adasa tiene como objetivo principal la investigación en nuevos conceptos de tecnologías de depuración de las aguas residuales industriales o urbanas que permitan, de una manera eficiente y sostenible, convertir el proceso de tratamiento actual en una estrategia para la reutilización, el aprovechamiento de sustancias, subproductos y residuos, y la valorización energética, minimizando los impactos en el medio natural.



Nuevo equipo de análisis de espectroscopia de emisión atómica por plasma acoplado inductivamente (ICP-Masas)

Estratégicamente para Técnicas Reunidas, el proyecto reforzará nuestra posición en el área de medioambiente a la vez que nos permitirá incrementar el conocimiento y desarrollar tecnologías que permitan la ingeniería y construcción de nuevas plantas depuradoras y de desalinización más eficientes y sostenibles. Los resultados del proyecto nos permitirán acceder a nuevas tecnologías de tratamiento de aguas mediante membranas de alta selectividad, el desarrollo de tecnologías para el tratamiento de aguas basadas en bio-tratamientos y la valorización de los residuos presentes en los efluentes y aguas de diferente procedencia.



El proyecto Europeo Greenlion que lidera CIDETEC tiene como objetivo el desarrollo industrial de procesos eco-eficientes para la producción de electrodos, celdas y módulos de batería para el coche eléctrico.

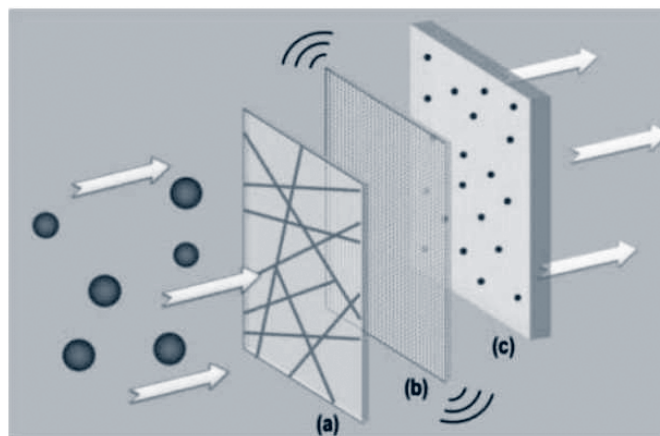


Componentes de la batería de Litio Gre-nLiOn.

En Técnicas Reunidas se estudiará el potencial de reciclado y reutilización de los materiales y componentes de la batería y de cualquier efluente o deshecho generado y por lo tanto se buscara en este proyecto el desarrollo de un proceso industrial optimizado para el reciclado/reutilización de los módulos de batería y de los efluentes y desechos generados.



El proyecto Europeo CERAMPOL que lidera LEITAT tiene como objetivo desarrollar una nueva generación de membranas inteligentes nano-estructuradas y de bajo nivel de



Composición de las nuevas membranas Cerampol. (a) Prefiltro anti-incrustante de nanofibras; (b) Sistema piezoeléctrico de limpieza por agitación (c) Membrana cerámica nanoestructurada de alta selectividad

ensuciamiento basados en materiales cerámicos y poliméricos con una mayor afinidad a metales pesados, tierras raras y drogas.

En este proyecto Técnicas Reunidas lidera la tarea de integración de las membranas desarrolladas y su posterior evaluación en efluentes de minería a escala laboratorio y en planta piloto. También se realizarán tareas relacionadas con la recuperación de metales de los flujos de agua estudiados en el proyecto.

CONCLUSIONES

Es evidente, como se pone de manifiesto en el presente artículo, que Técnicas Reunidas considera la innovación como un factor clave de la competitividad. La innovación está imbuida en la cultura de Técnicas Reunidas, estando presente en todas las Áreas de Negocio y Departamentos de la Empresa y constituyéndose como uno de los puntos claves y esenciales del negocio. La actividad innovadora, por lo tanto, no se limita únicamente a la generación de un nuevo servicio o proceso, sino que implica a otros muchos aspectos que afectan al desarrollo de la empresa y a su toma de decisiones.

La apuesta de Técnicas Reunidas por la I+D+i como elemento diferenciador de nuestra competencia es clara y decidida, como lo demuestra el incremento medio en la inversión en I+D en los últimos tres años que supera el 30 %. La estrategia de diversificación y una mayor interacción con empresas innovadoras, organismos de investigación y el entorno suponen un cambio importante en el estilo de innovación, pasando de una innovación cerrada a una innovación abierta en la que se interactúa con todos los elementos externos para el desarrollo de nuevos servicios, procesos y tecnologías. ■

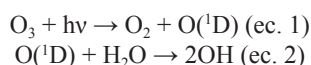
Aplicación de la fotocatalisis a la eliminación de contaminantes

SARA CERRO, ROBERTO GALINDO Y GUILLERMO MONRÓS

Departamento de Química Inorgánica y Orgánica.

Universidad Jaume I de Castellón

Los llamados Procesos de Oxidación Avanzada (POA) son procesos de oxidación basados en el radical hidroxilo en concentraciones suficientes como para degradar a formas minerales o al menos a compuestos orgánicos inocuos, los compuestos orgánicos presentes en disolución en agua o dispersados en el aire. El radical $\text{OH}\cdot$ es el oxidante natural más importante de la química troposférica (1). A menudo se le denomina el “detergente” de la atmósfera ya que reacciona con muchos contaminantes iniciando el proceso de depuración de los mismos, también juega un importante papel en la eliminación de gases de efecto invernadero tales como metano u ozono. Clásicamente la producción de radical $\text{OH}\cdot$ se considera fruto de la reacción de oxígeno atómico excitado, producido en la fotólisis de ozono, con el agua en el borde de la troposfera con la estratosfera:

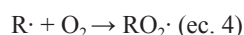


Aunque también se considera muy importante la reacción entre el dióxido de nitrógeno excitado electrónicamente, con el agua.

La velocidad de reacción con $\text{OH}\cdot$ determina la persistencia de los contaminantes en la troposfera, si no son lavados o destruidos por fotólisis: el metano que reacciona con cierta lentitud con $\text{OH}\cdot$ tiene periodos de semivida en troposfera en torno a los cinco años y los Clorofluorocarbonos (CFC) poco asequibles a la oxidación con $\text{OH}\cdot$ superan los 50 años. En cambio, muchos compuestos orgánicos volátiles de base hidrocarburo, son fácilmente oxidables con $\text{OH}\cdot$ y presentan tiempos de vida media de pocas horas, mediante la formación de radicales alquilo en una primera etapa:



Seguida de la formación de un radical peróxido por reacción con oxígeno molecular:



La duración de este radical depende de la naturaleza de R, la intensidad de radiación solar y la concentración de contaminantes. Es importante indicar que la química en la atmósfera como toda la “química natural” está dirigida más por la fotólisis (interacción con fotones) que por la excitación térmica: en efecto, las energías de enlace del oxígeno, cloro o enlaces C-H, O-H, C-O son del orden de 495 kJ/mol (O_2), 243 kJ/mol

(Cl_2) y ~ 400 kJ/mol respectivamente, difíciles de alcanzar por colisión térmica ($E = RT = 8,3T$ J/mol, del orden de sólo 2,5 kJ/mol a 300 K), pero asumible por interacción con fotones del visible ($E = h\nu$ de 190 kJ/mol para un fotón amarillo de 600 nm) y más con fotones ultravioleta (380 kJ/mol para 300 nm).

Las características que hacen atractivos los POA son, entre otras, que con ellos el contaminante se destruye, no se concentra ni se transfiere de medio, se consigue la mineralización total o casi total de contaminantes orgánicos, tienen aplicación en la destrucción de la inmensa mayoría de compuestos orgánicos, en especial en compuestos no biodegradables como son los organoclorados, Policlorobifenilos (PCB), Hidrocarburos poliaromáticos (PAH), etc., es una tecnología limpia y segura, y en algunos procesos como los fotocatalíticos, se puede emplear la radiación solar como iniciador del proceso.

Existen fundamentalmente tres tipos de reacciones fotoquímicas:

a) la fotólisis directa donde una molécula se desestabiliza al absorber los fotones provenientes de una irradiación.

b) la fotosensibilización, donde se producen entidades oxidantes a través de la adición de un sensibilizador al medio heterogéneo sometido a irradiación ultravioleta.

c) la fotocatalisis donde, al irradiar óxidos metálicos semiconductores, como el dióxido de titanio (TiO_2), se generan sitios óxido-reductores en la superficie del sólido en presencia de agua y oxígeno.

Las especies químicas que intervienen durante las reacciones provocadas por la irradiación (solar o artificial) en el medio natural, son especies activadas del oxígeno y radicales oxhidrilos altamente oxidantes.

La aplicación de POAs en disolución o en fase gas presenta ciertas diferencias técnicas que se indican en la tabla I.

La utilización de disolventes orgánicos en diferentes ámbitos por la utilización de preparados de limpieza o procedentes de los tratamientos de paredes y de muebles, induce la presencia de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) en ambientes interiores, con valores en algunos casos importantes, como los que se indican en la tabla II. Se observa un ambiente más rico en COVs en ambientes residenciales que en los de transporte o de trabajo en oficinas: los agentes de limpieza introducen altas tasas de acetona y etanol, los perfumes de limoneno y los restos de agentes de limpieza de tintorería tetracloroetileno y xilenos. Estos compuestos presentan propiedades peligrosas como toxicidad, carcinogeneidad y son también agentes precursores de ozono troposférico. Asociados a los COVs

aparecen las colonias de bacterias, hongos y virus (particulado viable, figura 1) que también son accesibles por los POAs actuando como método de desinfección y esterilización.

Tabla I. Características de POAs en disolución y fase gas (2).

Propiedad	En disolución	Fase gaseosa
Concentración del contaminante	<100 mg/l	<50µg/Nm³.
Oxígeno (ppm)	8	210.000
Adsorción	depende de pH	depende de humedad
Reactor	discontinuo de tanque agitado	tubular de flujo continuo
Fotocatalizador	dispersión o soportado	soportado
Tiempo de residencia	horas	segundos
Velocidad (mol/s.m²)	10 ⁻⁹	10 ⁻⁸

Tabla II. Presencia de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) (µg/Nm³) en ambientes interiores (2)

Compuesto	Cabina Avión	Residencial	Oficina
Acetona	41-60	32-130	--
Benceno	0-6	8-34	5-12
Etanol	324-1116	120-490	--
Formaldehído	5-9	--	11-66
Limoneno	30-62	21-450	6
Diclorometano	122	--	3-10
Tetracloroetileno	4-5	7-65	3-14
Tolueno	7-68	37-320	6-58
m/p-xileno	3-5	18-120	5-37

Asimismo, en el aire aparecen contaminantes inorgánicos como los óxidos de nitrógeno NO_x precursores de agentes oxidantes como los nitratos de peroxiacilo (PAN) y de ozono troposférico junto a los COVs, así como detonantes de lluvia ácida en presencia de SO₂. Estos compuestos se producen fundamentalmente por reacción entre el nitrógeno y el oxígeno del aire al ser sometido a elevadas temperaturas, como las de los motores de combustión de los automóviles. Los procesos de degradación de aguas residuales producen ácido sulfhídrico o sulfuro de hidrógeno H₂S que produce un olor nauseabundo a huevos podridos, ya perceptible en concentraciones superiores a 5 ppb. La presencia de NO_x está limitada en la Unión Europea a un máximo de 200 µg/Nm³ en una hora y a 40 µg/Nm³ de promedio anual. Junto a estos compuestos gaseosos, aparecen otros de naturaleza inorgánica asociados a las partículas en suspensión, que también están limitadas en su fracción PM10 (de tamaño inferior a 10 µm) a 50 µg/Nm³ en promedio diario (sólo se pueden superar 35 días al año) y 40 µg/Nm³ en promedio anual en PM2,5 (de tamaño inferior a 2,5 µm) que fácilmente alcanzan y se introducen en los alvéolos pulmonares. Están sometidas a estudio las llamadas nanopartículas o UFPs (Ultrafine Particles) de tamaño inferior a 0,1 µm (100 nm), para su control y limitación, dado que por su tamaño nanométrico pueden pasar directamente a la corriente sanguínea desde los alvéolos pulmonares. Muchas de estas partículas están integradas por metales pesados tales como Cu y Sb (procedentes del desgaste de pastillas de frenos de automóvil; en el aire de Madrid se pueden medir hasta 90 ng/Nm³ de Cu, en cambio en Huelva donde hay una minería y metalurgia del cobre sólo se miden 70) o Zn (procedente del desgaste de neumáticos). Estas partículas además pueden llevar adsorbidas importantes tasas de COVs (2).

Por otro lado se estudia la eliminación de NO_x del aire ambiente utilizando bloques cerámicos impregnados con una película de TiO₂ logrando eliminar un 94 y 98% de NO_x usando varios bloques con simple y triple impregnación, respectivamente. Asimismo se ha estudiado la oxidación fotocatalítica de NO_x sobre placas de dióxido de titanio modificadas con compuestos metálicos.



Figura 1. Particulado viable.

Desde el punto de vista comercial han aparecido en el mercado diversas aplicaciones de depuración fotocatalítica basadas en elementos arquitectónicos pasivos externos, tales como aditivos a cementos, películas autolimpiantes de vidrios o vidriados cerámicos. En Japón estas aplicaciones arquitectónicas suponían en 2003 el 44% del mercado fotocatalítico del país. Asimismo han aparecido diversas aplicaciones para la depuración fotocatalítica de ambientes domésticos (Figura 2). La firma italiana "Cementera Financiera y Minera" aplicó esta técnica para garantizar el color blanco de la basílica "Dives in Misericordia" de Roma, obra del arquitecto norteamericano Richard Meier, que pretende un color blanco impoluto como símbolo de pureza, posteriormente ha patentado el aditivo como TX Active, capaz de eliminar la materia orgánica en la superficie (bactericida y fungicida), mantener el color de la superficie y eliminar los contaminantes del aire circundante entre el 20-60% en función de la intensidad de la luz. Este hormigón también se ha aplicado en la Jefatura de la Policía Nacional francesa en Burdeos (Francia) o la sede central de la compañía aérea Air France en el aeropuerto Charles de Gaulle (Francia). En los vidrios o vidriados autolimpiantes por un lado la superficie fotoactiva descompone la suciedad por la acción de la luz solar y oxida a los gases inorgánicos SO_2 o NO_x a sulfatos y nitratos (Efecto Fotocatalítico), por otro lado cuando llueve, el agua disuelve las especies oxidadas y se desplaza en forma de chorro sobre la superficie arrastrando la suciedad para que, cuando las ventanas se sequen, no queden marcas de goteo o estriado (Efecto Hidrofílico) (3). Sin embargo, en muchas ocasiones la eficacia de los materiales y dispositivos no está adecuadamente evaluada y su capacidad depurativa suele sobrevalorarse.

1. FOTOCATALIZADORES EN POLVO

El óxido de titanio TiO_2 es el semiconductor más utilizado para aplicaciones fotocatalíticas por diversos motivos:

(a) muchos compuestos orgánicos tienen el potencial de oxidación por encima de la banda de valencia del TiO_2 , y por este motivo pueden ser oxidados fotocatalíticamente por el TiO_2 ,

(b) el potencial redox del par $\text{H}_2\text{O}/\text{OH}^\cdot$ se encuentra dentro del dominio del salto de banda del material,

(c) alta estabilidad química frente a los ácidos y a las bases fuertes bajo irradiación y es químicamente inocuo y relativamente barato (6).

En el mercado existe un material TiO_2 comercializado por Degussa y denominado P25. El TiO_2 Degussa P25 se sintetiza a partir de la hidrólisis del tetracloruro de titanio en fase gas, en presencia de hidrógeno y oxígeno a una temperatura superior a 1200 °C. El óxido consiste en una mezcla 70:30 en peso de las estructuras anatasa y rutilo, respectivamente. Posee una elevada fotorreactividad, que se ha sugerido que es debida, precisamente, a la presencia de ambas estructuras (anatasa y rutilo), ya que promueve la separación del par de cargas electrón-hueco, inhibiendo su recombinación. Contiene pequeñas cantidades de otros óxidos ($\text{SiO}_2 < 0,2\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 < 0,3\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0,01\%$) y de HCl ($< 0,3\%$). Se trata de un material poroso, con una densidad de $3,7 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ y un área superficial BET de $55\pm 15 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$. Consiste en cristales con un tamaño medio de partícula de 21 nm, que forman agregados de un diámetro aproximado de 0,1 μm .

El óxido de titanio es la referencia como material fotocatalizador en la actualidad dada su alta actividad, relativa estabilidad, bajo coste y baja toxicidad, sin embargo, hay problemas a resolver como la baja velocidad de fotocatalisis, generación de intermedios de degradación tóxicos, desactivación del material y necesidad de irradiación ultravioleta al no acoplarse su *band gap* (banda prohibida) con la luz solar.

En general, si se trabaja con agregados nanoestructurados de anatasa (Figura 3.a), la actividad puede mejorarse por diferentes métodos:



Figura 2. Aplicaciones fotocatalíticas comerciales (3).

a) reduciendo tamaño de partícula y aumentando la porosidad que permite un aumento de la superficie específica sustancial, como es el caso de los nanotubos de anatasa (Figura 3.b).

b) dopando con otro semiconductor (casiterita SnO_2 o el propio rutilo en P25 de Degussa o también SiO_2) creando heterouniones que facilitan los procesos redox involucrados (Figura 3.c).

c) dopando el titanio con otros metales de transición tales como Sn^{4+} , V^{5+} o Zr^{4+} con el fin de aumentar la velocidad de reacción, sin embargo, la concentración de dopante debe ser baja ya que la distorsión reticular que implica de la red de anatasa aumenta la facilidad de recombinación electrón-hueco inhibiendo el proceso (Figura 3.d).

Una metodología usual para la obtención de polvos de fotocatalizadores de anatasa es el denominado "Sol-Gel", denominación que se utiliza, desde los años cincuenta en el campo de materiales cerámicos y vidrios, para referirse a los procesos de obtención de materiales mediante una preparación de una suspensión de partículas (sol), formación de un gel mediante la agregación de dichas partículas y eliminación del disolvente. Actualmente, se sugiere que el término Sol-Gel sea considerado como la abreviación de disolución-gelificación, ya que en numerosos procesos no se detectan soles en etapas previas a la gelificación.

La definición de "proceso Sol-Gel" debe considerarse en un sentido amplio, incluyendo todos los procesos de síntesis de óxidos inorgánicos mediante reacciones en fase líquida. En este sentido se incluyen también la formación de films, fibras y partículas no agregadas. En las figuras 3.e y f se presentan diferentes microestructuras de anatasa obtenidas por diferentes métodos.

La metodología clásica sol-gel se basa en la hidrólisis-condensación de alcóxidos metálicos (Si o Ti por ejemplo) en disolución alcohólica, a la que se le añade una cantidad determinada de agua para producir la hidrólisis de los precursores. La dispersión de partículas formadas por la condensación de los precursores recibe el nombre de sol (partículas entre 1 nm hasta 500 nm). Si se elimina el disolvente, se obtienen polvos nanoestructurados (Figura 3.c). El sol (o la solución de precursor) puede utilizarse para impregnar una fibra, un monolito o cualquier objeto que puede actuar como molde para la obtención de un film denso. Factores como la temperatura o el pH influyen en la evolución de un sol para formar una red de materia sólida en una fase líquida continua, denominada gel. La transición Sol-Gel se observa visualmente cuando la viscosidad aumenta considerablemente: el disolvente es atrapado en la red de partículas y dicha red polimérica impide que el líquido se separe, mientras el líquido previene que el sólido colapse en una masa compacta. La deshidratación parcial o total de un gel forma estructuras con poco volumen de po-

ro, denominadas "xerogel", que al aumentar la temperatura dan lugar a un material cerámico denso. La eliminación del disolvente, como pueden ser el secado supercrítico o la liofilización dan lugar a aerogeles, que se caracterizan por tener una elevada porosidad.

Ting Ke Tseng et al. (7) revisan los diferentes tipos de fotocatalizadores obtenidos mediante la técnica sol-gel utilizados en la literatura para la degradación en fase gaseosa de COVs. Galindo et al. (4,6) han desarrollado vidrios sol-gel en el sistema $\text{SiO}_2\text{-CaO-ZnO-B}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3$ modificados con adiciones de TiO_2 (0, 3, 5, 12 y 20% en peso.) preparados por sol-gel. Los geles fueron madurados, secados y estabilizados con un tratamiento térmico a 600 °C. Los vidriados obtenidos son amorfos a la difracción de rayos x y presentan agregados nanoestructurados con nanopartículas de entre 40-70 nm y *band gap* en torno a 3,5 eV en todos los casos. Todos presentan actividad fotocatalítica sobre Naranja II con un máximo de velocidad de degradación en la adición de TiO_2 al 3%, que también presenta la mayor superficie específica.

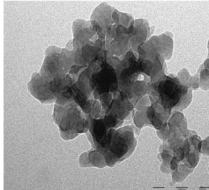
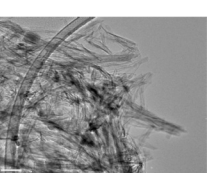
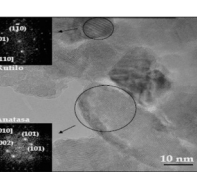
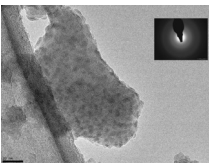
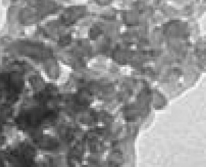
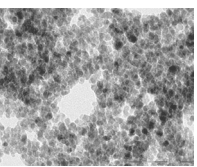
(a) anatasa sol-gel acuoso	(b) nanotubos anatasa	(c) nanocomposite anatasa-rutilo
		
(d) nanopartículas sílice-manganeso fotocatalíticas.	(e) partículas fotocatalíticas mesoporosa (5-50 nm tamaño medio poro) de disolución micelar	(f) partículas fotocatalíticas meso-macroporosa (50-500 nm poro) de emulsiones muy concentradas.
		

Figura 3. Microestructuras de fotocatalizadores (5,7).

2. FOTOCATALIZADORES SOPORTADOS

Con el fin de evitar las pérdidas de fluidización cuando se trabaja con fotocatalizadores en polvo dispersado, así como poder trabajar en régimen continuo, es necesario depositar el fotocatalizador en un soporte. El soporte utilizado debe cumplir algunas condiciones relevantes tales como:

■ a) Compatibilidad. El soporte no debe inhibir la potencia fotocatalítica del fotocatalizador que soporta.

■ b) Textura. La textura del soporte debe ser porosa en el caso de fotocatálisis de gases con la finalidad de facilitar el flujo y el contacto con el fotocatalizador. En el caso de disoluciones este aspecto no es tan importante, aunque la estructura porosa también puede facilitar el contacto.

■ c) Durabilidad. El soporte debe presentar resistencia mecánica y también a la radiación.

■ d) Iluminabilidad. El soporte no debe producir sombras sobre los granos del fotocatalizador con el fin de utilizar todos los fotones posibles.

En la tabla III se discuten las ventajas (oportunidades) y desventajas (amenazas) de diferentes tipos de soportes de fotocatalizadores.

El depósito de las capas de fotocatalizadores de base ti-

tanio se realiza por procesos de no-vacío por su economía, siendo los más significativos:

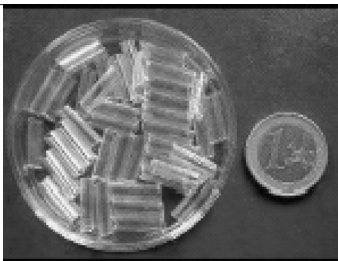
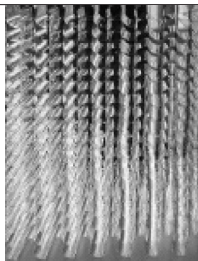
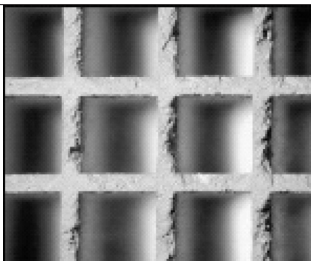
■ a) *Spray-pirólisis*. Con un sistema como el que se indica en la figura 4.a. se pueden depositar capas delgadas controlando la concentración de la disolución/suspensión que se pulveriza. La velocidad del gas portador (1-1,5 l/min), el ángulo de pulverización (30-60°, muy usual 45°), el tiempo de pulverizado (sobre 30 s), el número de pulverizadas y el tiempo entre ellas (30-300 s) así como la temperatura del tratamiento final, determinan el espesor de la capa final)

■ b) *Deep-coating*. Mediante un sistema de inmersión como el mostrado en la figura 4.b. se pueden depositar capas uniformes de material sobre sustratos planos o cilíndricos.

La velocidad de extracción (0,2-0,4 mm/s) y el número de inmersiones después del secado y/o tratamiento térmico de la capa anteriormente depositada, determinan el espesor final de la capa obtenida. También se puede utilizar la técnica de serigrafía más interesante desde el punto de vista industrial (5,7)

■ c) *Spin-coating*. Mediante el dispositivo de la figura 4.c. (*spinner*) se depositan capas de material colocando, en el centro y sobre el sustrato pegado al spinner, disoluciones de concentración conocida en disolventes volátiles, que son distribuidas por la fuerza centrífuga del spinner. La concentración, velocidad de giro (de 20 a 60 rps) y el número de veces que se repita la operación después del secado de la primera capa, determinan el espesor de la capa.

Tabla III. Ventajas (oportunidades) y desventajas (amenazas) de diferentes tipos de soportes de fotocatalizadores.

SOPORTE		
VIDRIO	POLÍMERO	CERÁMICA
		
Ventajas	Ventajas	Ventajas
Iluminación muy eficiente Buena adherencia. Buena resistencia química y térmica. Alta resistencia a radiación	Buena iluminación para los transparentes a UV. Ligero	Absorbente de gases. Durabilidad Buena adherencia.
Desventajas.	Desventajas.	Desventajas.
Frágil Pesado Difusión de cationes desde el vidrio	Baja resistencia a radiación. Baja adherencia de TiO ₂ .	Frágil Pesado Difusión de impurezas.

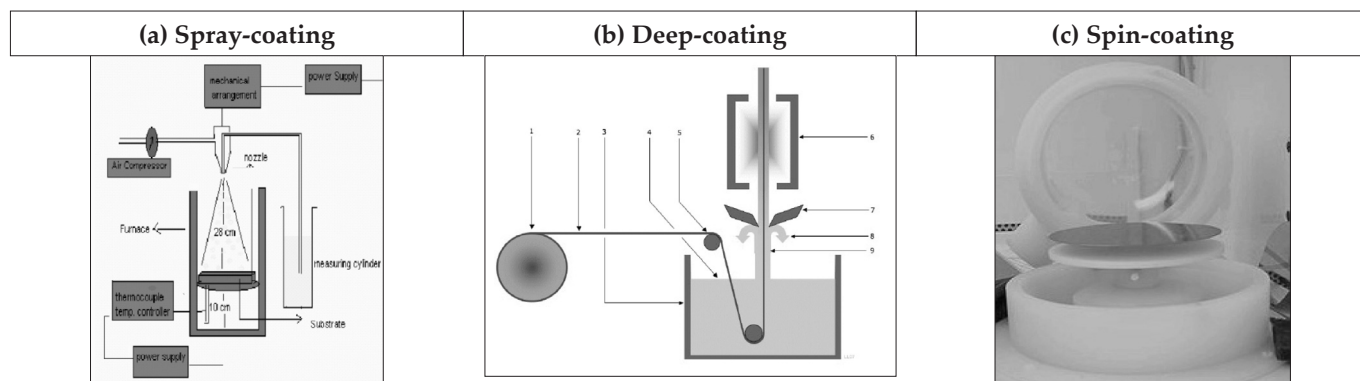


Figura 4. Sistemas de deposición de capas delgadas.

Las suspensiones o disoluciones utilizadas suelen ser:

a) Complejos poliméricos. Basados en la formación de complejos con ácidos hidropolicarboxílicos (oxálico, cítrico, láctico...) de los cationes de interés en medio poliol (etilenglicol, dietilenglicol...). En el proceso se forman policomplejos polihidroxilados de los diferentes cationes, que aseguran el mezclado a escala atómica de los átomos metálicos, lo que permite una mayor reactividad del sistema, al obviarse las etapas de difusión. La posibilidad de usar medios no acuosos y de relativa estabilidad térmica y polar, permite un manejo seguro de compuestos de fácil hidrólisis como los alcóxidos metálicos (7).

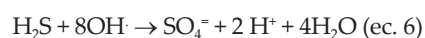
b) Suspensiones sol-gel. Basadas en la hidrólisis controlada de mezclas de alcóxidos metálicos en medios alcohólicos. La adición controlada de agua, el pH, el catalizador y los agentes acomplejantes permiten obtener suspensiones estables en las que los diferentes cationes alcanzan alta homogeneidad química, permitiendo una alta reactividad en el sistema (7).

Las limitaciones asociadas a la fotocatalisis tienen mucho que ver con la relativa estabilidad y eficiencia de los fotocatalizadores en los medios de operación. Las diferentes razones se discuten a continuación:

a) Selectividad del fotocatalizador. La formación de productos de reacción limita la concentración de contaminante que puede ser tratado de forma eficiente. Por ejemplo, la degradación de tricloroetileno con fotocatalizadores de óxido de titanio dopado con plata, produce el desprendimiento de dicloruro de carbonilo (gas fosgeno) de mayor toxicidad que el tricloroetileno que se pretende eliminar:



b) Desactivación de los fotocatalizadores. La durabilidad de los fotocatalizadores depende mucho de las condiciones de operación, de las características del fotocatalizador y del sustrato fotocatalizado. Habitualmente, la desactivación se produce por la adsorción de productos de reacción en la superficie del fotocatalizador que limita la reactividad. Por ejemplo, en la oxidación de H_2S con TiO_2 o $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$, la adsorción resistente al lavado de sulfatos en la superficie inhibe la fotoactividad:



La gran ventaja de la fotocatalisis es la posibilidad de utilizar la radiación solar como fuente irradiadora como se ha podido demostrar en plantas piloto como la de Arganda del Rey (Madrid) para la degradación de biocidas organohalogenados con tecnología desarrollada por un consorcio industrial europeo coordinado por el CIEMAT (España), dentro de un proyecto de investigación financiado por la Comisión Europea. (8). Los fotosensibilizadores de interés ambiental son los que absorben por encima de 290 nm, límite inferior de la radiación solar que llega a la superficie terrestre, asimismo los compuestos aceptores no deben absorber radiación por encima de 290 nm o su coeficiente de absorptividad molar (ϵ) debe ser muy pequeño.

REFERENCIAS.

1. I.S.A. Isaksen, S.B. Dalsøren, Getting a better estimate of an atmospheric radical, *Science* 331(2011)31-39.
2. S. Wang, H.M. Ang, M.O. Tade, "Volatile organic compounds in indoor environment and photocatalytic oxidation: State of the art" *Environment International* 33(2007)694-705.
3. (a) www.italcementigroup.com, (b) <http://ceracasa.com>, (c) Vidrio limpiante Activ, Vidriera Argentina, (d) Proyecto Fénix (www.proyectofenix.es).
4. C. Gargori, R. Galindo, M. Llusar, M.A. Tena, G. Monrós, J. A. Badenes, Photocatalytic degradation of Orange II by titania addition to sol-gel glasses, *J. of Sol-Gel Sci. and Tech.*, 50(2009)314-320.
5. S. Cerro, Fotocatalizadores sílice-titania modificados con fotosensibilizadores, Tesis doctoral, Universidad Jaume I, Castellón, 2012.
6. Ting Ke Tseng, Yi Shing Lin, Yi Ju Chen, and Hsin Chu A Review of Photocatalysts Prepared by Sol-Gel Method for VOCs Removal, *Int. J. Mol. Sci.* 11(6)(2010)2336-2361.
7. R. Galindo, Vidriados cerámicos fotoactivos, Tesis doctoral, Universidad Jaume I, Castellón 2008.
8. N. Klamerth, Aplicación de foto fenton solar para el tratamiento de contaminantes en efluentes de EDAR, Tesis doctoral, Universidad de Almería 2011.

Láseres ultraintensos: tecnología que revolucionará el siglo XXI

JESÚS ÁLVAREZ¹, JAVIER FERNÁNDEZ¹, JOSÉ MANUEL PERLADO¹ Y LUIS ROSO²

¹ Instituto de Fusión Nuclear, Universidad Politécnica de Madrid

² Centro de Láseres Pulsados, Universidad de Salamanca

INTRODUCCIÓN

Fue allá por 1960 cuando Theodore Maiman construyó el primer láser sin otro fin que la mera curiosidad. Sin embargo, apenas 50 años después, aquel instrumento que llegó a calificarse de “solución en busca de problemas” se ha convertido en una herramienta imprescindible en nuestra vida diaria. El láser está presente en cientos de aparatos, desde los cotidianos reproductores de CD, impresoras y lectores de código de barras hasta los más sofisticados equipos de medicina, de telecomunicaciones, de la industria metalúrgica o de investigación. Aunque parezca increíble, los recientes avances que están teniendo lugar en tecnología láser, hacen pensar que su impacto en nuestra sociedad no ha hecho más que comenzar. El desarrollo y fabricación de láseres cada vez más intensos está abriendo las puertas a otras aplicaciones que actualmente estaban reservadas a grandes y costosas instalaciones hospitalarias, industriales o de investigación y a campos completamente nuevos y revolucionarios. Es la intención de los autores de este artículo dar a conocer el estado actual de los sistemas láseres ultra intensos, así como las implicaciones de dichos sistemas en diversas áreas científicas y tecnológicas. Entre otros, estos avances están motivando que el 2015 sea proclamado el Año Internacional de la Luz [1] y que ya se empiece a designar al siglo XXI, como el siglo del fotón.

LA LLAVE A LAS ALTAS INTENSIDADES Y NIVELES ACTUALES

La clave para el desarrollo de láseres ultraintensos tiene su origen a mediados de los 80 en la invención de la técnica denominada Chirped Pulse Amplification, o CPA, por los científicos Gerard Mourou y Donna Strickland en la Universidad de Rochester, NY [2]. Por aquel entonces la intensidad de los pulsos láseres había llegado a unos valores (unos 10^{15} W/cm²) que inducen efectos no lineales en la propagación de la luz, causando daños a los propios sistemas ópticos por los que se amplificaba y desplazaba. Cuando la densidad de energía en el amplificador es tan grande que el cristal puede dañarse, la solución obvia es abrir espacialmente el haz. En

otras palabras, con una sección mayor se puede amplificar más. Esa era la solución empleada en los grandes laboratorios estadounidenses a principios de los 80, llegándose a láseres con cristales amplificadores de casi un metro de diámetro.

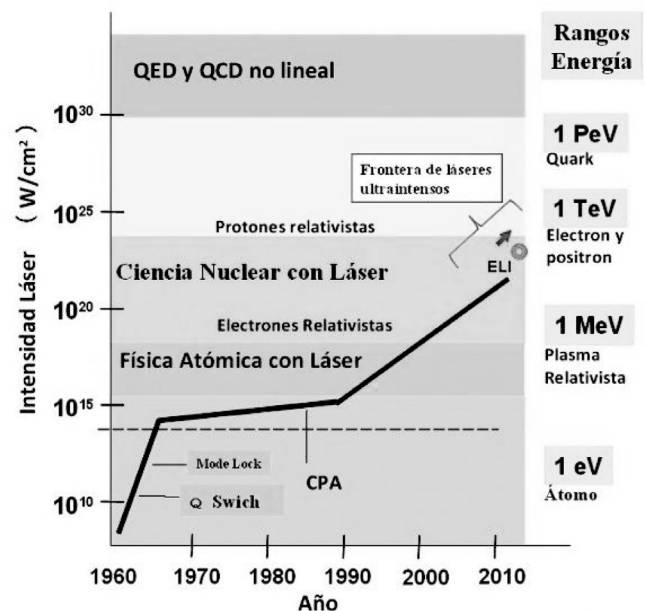


Figura 1. Esquema de evolución de la intensidad de los pulsos láser con el tiempo. A la derecha se encuentra el rango de energías que se pueden aportar a los electrones bajo esas intensidades láser, junto con el área de la física relacionado.

La genialidad de la idea de Mourou y Strickland consistió en abrir los pulsos en el tiempo, en lugar de en el espacio. Así, la técnica CPA alarga la duración de los pulsos (efecto que se consigue con redes de difracción u otros elementos dispersivos) antes de someterlo a una amplificación en energía, de modo que en ningún momento el pulso rebasaba la potencia umbral de daño de los componentes ópticos. Una vez amplificado, y de nuevo mediante una red de difracción u otro elemento dispersivo que compense la dispersión introducida en la etapa de estirado, se volvía a comprimir el pulso temporalmente consiguiéndose haces muy cortos y energéticos. Con diferencia el medio amplificador más común actualmente es el titanio:zafiro (corindón dopado con titanio) que es un sistema vibrónico capaz de emitir pulsos de hasta 5 femtosegundos (aunque en sistemas de alta potencia no se suele bajar de los 20 femtosegundos). Existen otros cristales basados en yterbio,

o en neodimio, pero son menos habituales. Además, como para generar pulsos más cortos se necesita banda de emisión más ancha, están cobrando cada día mas peso los amplificadores paramétricos, capaces de generar nuevas frecuencias mediante acoplamientos no lineales.

Gracias a estos avances, la intensidad de los láseres ha seguido creciendo hasta alcanzar en la actualidad unos valores de unos 10^{22} W/cm². La figura 1 muestra a grosso modo la evolución de la intensidad en los últimos 50 años y los rangos de interacciones físicas que ha permitido. Esas altas intensidades llevan asociadas campos eléctricos del orden de 10^{14} V/cm, que son capaces no sólo de arrancar electrones de los átomos (estos campos son diez mil veces mayores que los que hay entre los electrones y los núcleos) sino que además les pueden proporcionar energías de cientos de MeV, incluso GeV. Además, la corta duración de los pulsos en la mayoría de estos sistemas permite desacoplar la absorción inicial de la energía por los electrones de su transferencia a los iones, ofreciendo dinámicas electrón-ión nuevas con sorprendentes aplicaciones.

TIPOS DE LÁSERES ULTRAINTENSOS

Por convención se habla de sistemas láseres ultra intensos cuando sus haces son capaces de alcanzar intensidades superiores a 10^{17-18} W/cm² en el foco. Para alcanzar esas intensidades se requieren pulsos de alta potencia (> 1 TW) focalizados en algunas micras cuadradas. A su vez, esas altas potencias se consiguen o bien mediante pulsos poco energéticos (de algún J de energía) pero de muy corta duración -láseres de banda ancha-, del orden de femtosegundos, o bien mediante pulsos de centenares de J pero temporalmente más largos (entre picosegundos y nanosegundos). Esa diferenciación marca los dos principales tipos de láseres ultraintensos. Así, los primeros son sistemas de tamaño reducido con posibilidad de disparar varias veces por segundo. Los segundos son grandes instalaciones de varios cientos de metros cuadrados, necesarios para albergar grandes bahías de amplificadores para alcanzar las mencionadas energías y que sólo permiten algunos disparos a la hora. Una lista más o menos exhaustiva del número y localización de los láseres ultraintensos actualmente funcionando o en construcción puede consultarse en la figura 2.

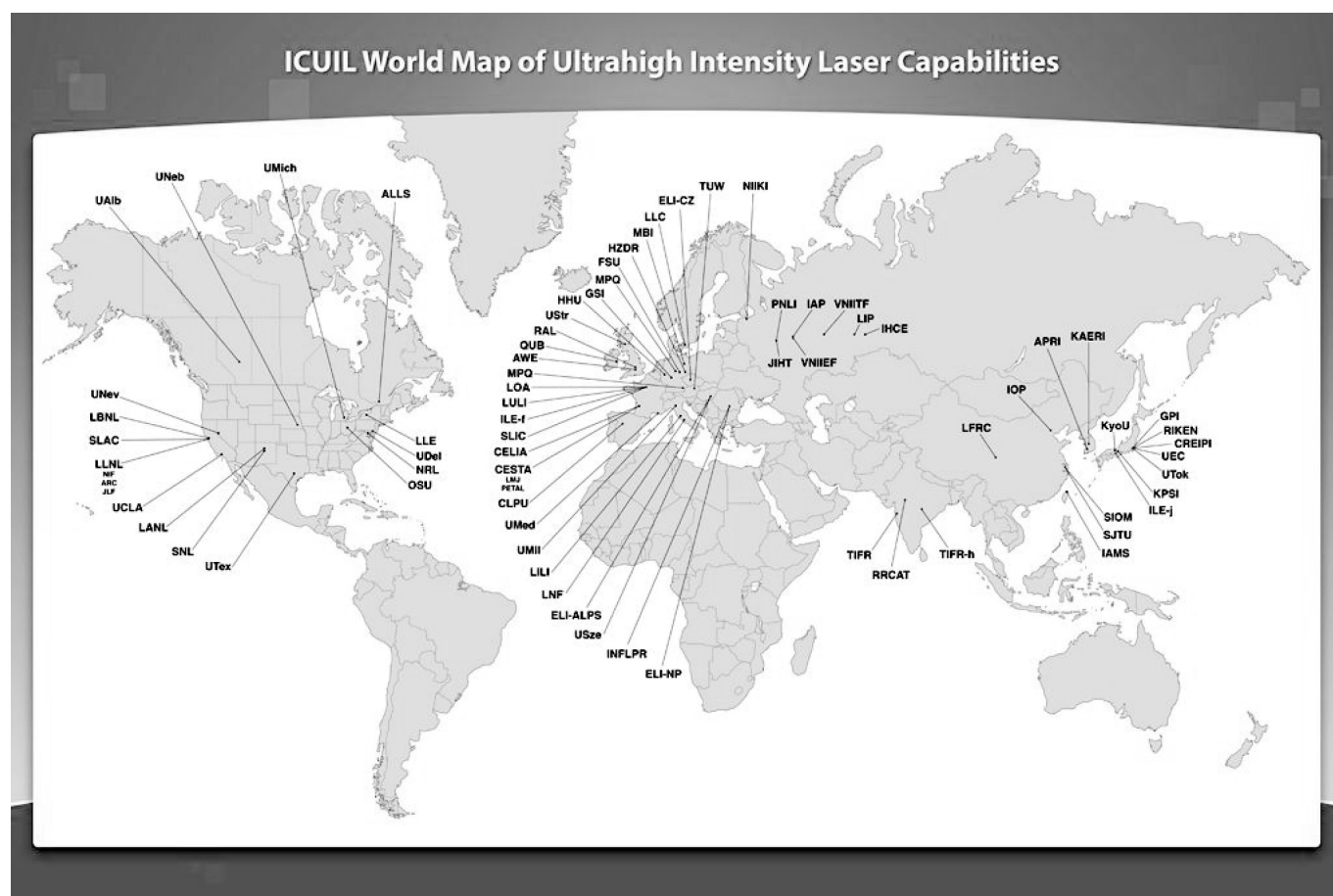


Figura 2. Mapa con los sistemas láseres con potencias dentro de dos órdenes de magnitud inferior al láser construido más potente a nivel mundial. [<https://lasers.llnl.gov/map/>]

LA FÍSICA DE LOS LÁSERES

ULTRAINTENSOS

No es la intención de este artículo entrar en los detalles de la compleja física de la interacción láser-materia que a menudo no está completamente entendida. Baste decir que se consiguen producir plasmas con electrones a velocidades relativistas, en el que electrones e iones no se encuentran en equilibrio térmico, lo que propicia toda una serie de fenómenos como la generación de corrientes de electrones de Mega amperios, campos magnéticos de 10^5 Teslas y altos potenciales eléctricos que dan lugar a toda una serie de procesos que en la mayoría de los casos terminan produciendo radiación y otras partículas con propiedades únicas (Figura 3). Así, los electrones pueden generar altos armónicos de la frecuencia del láser incidente y rayos X con duraciones de attosegundos con los que se espera poder manipular uno de los procesos más rápidos que ocurren en la naturaleza, el movimiento de los electrones alrededor de sus núcleos. Entre las partículas secundarias que se generan, encontramos positrones, neutrones y diseños experimentales para producir piones y neutrinos. Sin embargo, las partículas secundarias que tienen más interés por sus posibles aplicaciones son los haces de iones. Estos últimos, que pueden alcanzar energías de varias decenas de MeV en regímenes de propagación cuasi-direccional y de corta duración, se pueden utilizar como sonda de procesos ultrarrápidos, para inducir reacciones nucleares o para llevar a la materia a unos estados de temperatura y densidades (Warm Dense Matter, estados entre sólido y plasma) sólo alcanzables en el interior de los planetas.

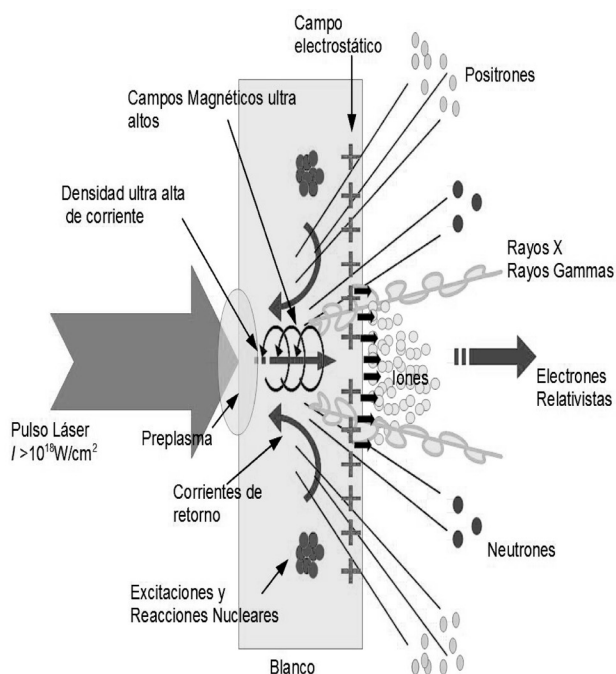


Figura 3. Esquema de la interacción de láseres ultra intensos con la materia [ref. 3].

APLICACIONES

Es esta capacidad de generar, en espacios muy reducidos, todo un rango de diferentes partículas y radiación muy energética y de corta duración donde se encuentra el potencial de los láseres ultraintensos para multitud de aplicaciones [4].

Desde un punto de vista más fundamental y de investigación tenemos que:

- Estos haces de electrones, iones, neutrones y rayos X se pueden emplear para el estudio radiográfico de la evolución estructural de materiales y sistemas biológicos con una resolución temporal y espacial nunca antes lograda.

- En astrofísica se utilizan como herramientas que reproduzcan condiciones interiores de planetas y estrellas, además de ayudar a entender fenómenos como las explosiones de supernovas, la formación de estrellas y los desconcertantes brotes de rayos Gamma.

- En el campo de la física nuclear se pueden utilizar para estudiar excitaciones nucleares y secciones eficaces.

- En el campo de la física de altas energías ya se está trabajando en desarrollar sistemas que complementen o sustituyan en algunos casos a los aceleradores lineales tradicionales. Los pulsos de láser ultra intenso son capaces de acelerar electrones a velocidades de GeV en cuestión de centímetros, en comparación con los metros que se necesitan en los sistemas tradicionales basados en radio frecuencia.

Si nos centramos en el impacto que dichos equipos pueden tener en la sociedad nos encontramos que:

- Pueden ser empleados en la industria nuclear para inducir reacciones de fisión y transmutación, pudiendo ser una solución para el tratamiento de residuos radioactivos o mejorar el proceso de enriquecimiento de uranio para las centrales nucleares.

- En el ámbito de la producción de energía son la pieza clave de la fusión por confinamiento inercial que, junto con la fusión por confinamiento magnético pretende convertirse en una solución económica y medio ambientalmente viable en un par de décadas.

- El papel que pueden llegar a jugar en el campo de la medicina y en los hospitales es especialmente relevante. Así, diversos centros de todo el mundo están realizando importantes esfuerzos para adaptar los haces de iones generados por láser para el tratamiento de tumores. Además, tiene posibles aplicaciones en imagen médica como fuente de radiación o para la producción in-situ de radio-isótopos utilizados en tomografía por emisión de positrones, PET.

■ En una fase aún muy temprana, también se está considerando su uso en el área de ciencias de la atmósfera. Proyectos como Teramobile [5] disponen de un láser intenso para distintos estudios atmosféricos, estando entre ellos el control de rayos y el efecto de pulsos láser como precursores de lluvia.

■ No hay que ignorar su vertiente militar y de defensa donde los láseres ultra intensos están encontrando varias aplicaciones. Por un lado, estamos hablando de un arma directa que podría ser dirigida sobre objetos blanco. Por otro lado está su uso para inspeccionar la seguridad y efectividad de armamento nuclear almacenado.

PERSPECTIVAS

La constante evolución de la tecnología láser y el impulso que proyectos como la fusión inercial están propiciando en su desarrollo, hacen pensar que los sistemas láser seguirán viendo incrementada su intensidad en los próximos años. Actualmente ya hay varias instalaciones en el mundo con láseres de potencia por encima del PW y hay múltiples proyectos para construir varias de 10 PW con las que se alcanzarán intensidades de 10^{23} W/cm^2 . Posiblemente el mayor esfuerzo en el desarrollo e investigación de láseres ultra intensos se esté realizando en Europa bajo el proyecto Extreme Light Infrastructure, ELI [6]. Este programa tiene previsto construir 3 laboratorios de 10 PW en torno a la ciencia y a la aplicación de pulsos ultra intensos, pulsos ultracortos y física nuclear. Estos laboratorios se están construyendo en la República Checa, Hungría y Rumanía y deberían estar operativos en los próximos 3 o 5 años. Sin embargo este proyecto no acaba ahí y ya se está hablando de construir un cuarto pilar que busque superar los 10^{24} W/cm^2 y sobre el que científicos españoles están trabajando para que se materialice en España (ELI4SPAIN).

La fusión nuclear –con pulsos ultraintensos de nanosegundo– también juega una baza importante en el panorama europeo. Siguiendo la estela marcada por la National Ignition Facility (NIF), en California, que busca la fusión nuclear mediante láseres, se está construyendo cerca de Burdeos, Francia, el Laser Megajoule (LMJ), con ese mismo objetivo. Además

está el proyecto europeo HiPER [7] que pretende demostrar la viabilidad de dichos reactores de fusión por láser como futuras plantas de energía (Figura 4). En este último, España, a través del Instituto de Fusión Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid, juega un papel importante en el diseño de la instalación.

A medio-largo plazo hay proyectos que estudian construir láseres de 100 PW, de EW o incluso de ZW que nos acerquen o sobrepasen el límite de Schwinger (intensidades de 10^{29} W/cm^2) para el cual el campo eléctrico del láser interactuaría directamente con el vacío ($E=10^{16} \text{ V/cm}$). Llegados a ese punto se podrían realizar experimentos directos que permitieran validar diversas predicciones de la electrodinámica cuántica como los fenómenos exóticos de producción de pares $e^+ e^-$ del vacío, la dispersión de luz por luz, la autofocalización de la luz, la división de fotones o la muy discutida radiación Unruh que servirá entre otras cosas para conocer con más detalle la radiación Hawking y poner a prueba algunos de los aspectos de la teoría general de la relatividad [8]. Por el camino se alcanzarían hitos como la aceleración de partículas a energías de TeV, del orden de las conseguidas en el Large Hadron Collider (LHC) del CERN, la inducción de reacciones nucleares directamente por láser, etc...

IMPLICACIONES SOCIALES Y ECONÓMICAS DE LOS LÁSERES ULTRINTENSOS Y TECNOLOGÍA RELACIONADA

La tecnología de los pulsos ultraintensos, en particular de femtosegundo, lleva ya más de dos décadas de rodaje y empieza a alcanzar una madurez que hace pensar en sus aplicaciones industriales. En este aspecto debemos distinguir entre aquellos sistemas en la vanguardia que llegan o superan el petavatio de potencia pico y los láseres de gigavatio o teravatio más probados tecnológicamente. Los primeros tienen una importante componente de experimentación tanto en el propio desarrollo de nueva tecnología láser (sistemas de amplificación y bombeo, de compresión, fabricación de nuevos cristales...) como en demostrar nuevas aplicaciones posibles. Los segundos, que disponen de cadencias de disparo por encima de los 1000 Hz (en comparación con los 10 Hz en el mejor de los casos de los anteriores) son perfectamente adaptables a entornos de producción y biomédicos.

Una de las aplicaciones novedosas más relevantes es, como ya hemos comentado, la fusión nuclear. Con el ritmo de demanda energética actual, la energía nuclear de fusión (mucho más limpia que la nuclear convencional o de fisión) es una alternativa muy prometedora. Mediante decenas, incluso centenas, de haces láseres que se focalizan sincronizadamente en una pequeña cápsula de combustible, se comprime y calienta una mezcla de deuterio y tritio hasta alcanzar las condiciones de fusión e ignición. Durante el proceso de fusión parte de la masa del deuterio y del tritio se convierte en energía transportada por neutrones y partículas alfa. Son

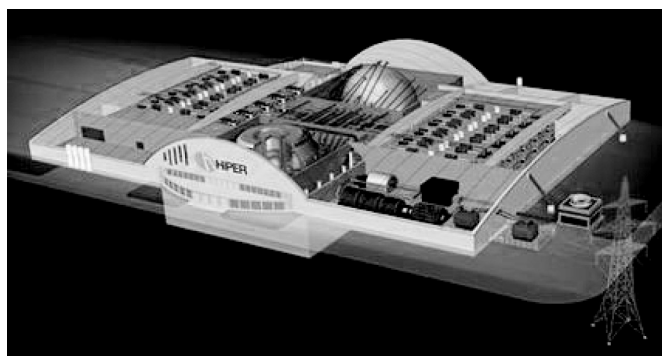


Figura 4. Diseño artístico para el proyecto HiPER de una planta de energía basada en fusión inercial por láser.

los neutrones, que se llevan un 75% de esa energía, los que posteriormente la depositarán en un sistema de extracción y de producción de electricidad.

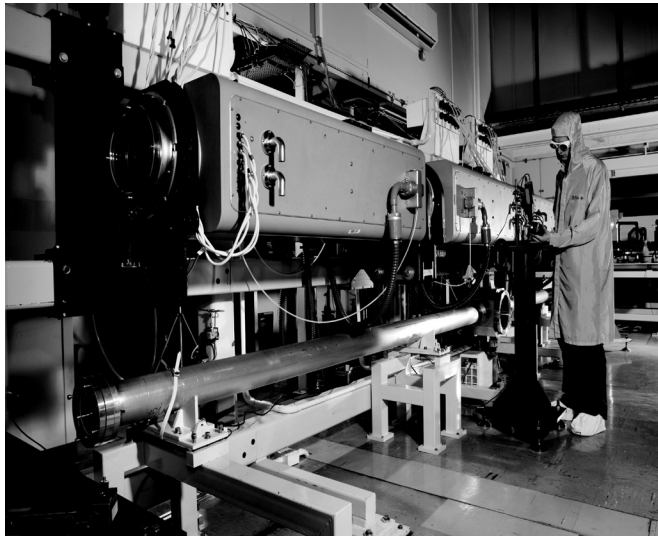


Figura 5. Uno de los amplificadores del sistema de Petavatio-Vulcan del Central Laser Facility en los Laboratorios Rutheford Appleton en Inglaterra.

La aceleración de partículas cargadas mediante láser y su aplicación en diversas áreas merece también gran atención. Las principales características de estas fuentes de pulsos son las altas energías que se alcanzan en espacios reducidos (son mucho más compactos que los aceleradores convencionales) y las cortas duraciones de esos pulsos. Así, las partículas aceleradas por láser se pueden aplicar en la producción de haces de electrones acelerados y de rayos X en los entornos médicos. También se está investigando el potencial de los sistemas de PW en acelerar protones y otros iones más pesados, como núcleos de carbono, a energías de centenares de MeV por nucleón para nuevos tratamientos de terapias contra el cáncer. Actualmente, comunidades como la de física de aceleradores o la de fuentes de neutrones están mostrando un gran interés en adaptar sistemas de láseres ultraintensos para sus necesidades, en algunos casos como herramientas complementarias en sus instalaciones o incluso en algunas aplicaciones como equipos autónomos e independientes debido a su inferior coste, reducido tamaño y más fácil apantallamiento en cuestiones de seguridad radiológica. Los láseres intensos tienen aplicación directa en campos que pueden parecer ciencia ficción como la futurista propulsión mediante presión por radiación de viajes interestaciales [9] o más cercanos como el mencionado sistema de guiado de rayos.

Cuando un pulso láser por encima de algunas decenas de GW se propaga en aire se produce el fenómeno de la fila-

mentación. Debido a efectos no lineales el haz se colapsa y la intensidad ioniza un porcentaje de las moléculas del aire. El resultado es un filamento, un canal de plasma, que funciona como un conductor eléctrico. Estos filamentos podrían encontrar aplicación como nuevos tipos de pararrayos o como sistema de alimentación de los trenes sin contacto físico del pantógrafo con la catenaria, por nombrar alguno. También se están realizando estudios sobre la siembra de nubes mediante filamentación, donde se sustituye el lanzamiento de cohetes que dispersen ciertos productos químicos por iones generados mediante el láser para que sirvan de centros de condensación.

Además del impacto social y económico que estas aplicaciones tienen, no hay que olvidar todo el desarrollo tecnológico que llevan asociado. Estamos hablando de fuertes inversiones en la industria de materiales ópticos para el diseño y fabricación de cristales amplificadores o dobladores más eficientes y resistentes, en la industria de la ciencia para el desarrollo de sistemas de diagnóstico de radiación y partículas ionizantes ultra rápidos, en ingeniería de materiales para el estudio y producción de materiales sometidos a condiciones extremas, etc. Los láseres ultraintensos están impulsando nuevos desarrollos teóricos en física del plasma, en física de altas energías, en física cuántica y en relatividad. En este último caso ya se lleva hablando un tiempo sobre la ingeniería relativista, donde se “fabriquen” objetos que alcancen velocidades cercanas a la de la luz. A raíz de su inmenso potencial, la OCDE presentó en 2001 un informe técnico en el cual instaba a los gobiernos de los países desarrollados a apostar decididamente por esta tecnología de láseres ultraintensos [10].

LÁSERES ULTRINTENSOS EN ESPAÑA

España se encuentra en un punto bastante razonable en cuanto a instalaciones láser. El primer láser de pocas decenas de femtosegundos se construyó en el Instituto de Óptica del CSIC a mediados de los 90, y posteriormente se instalaron los primeros sistemas españoles de gigavatio. El primer láser de clase teravatio se instaló en Salamanca en marzo del 2003. Es un sistema todavía operativo de titanio:zafiro que genera pulsos entorno a los 50 milijulios y 100 femtosegundos con una cadencia de 10 disparos por segundo. Posteriormente, en Salamanca se instaló un sistema de 20 teravatios (600 mJ en 30 fs) operativo desde septiembre del 2007. Actualmente se está finalizando la instalación de un sistema de 200 teravatios y en 2014 se instalará el petavatio español (30 julios en 30 femtosegundos). Estos láseres forman parte del sistema VEGA, un láser “world-class” que constituye el equipo principal del Centro de Láseres Pulsados (CLPU) (Figura 6 y referencia [11]). Este centro, una instalación encuadrada dentro del mapa de Instalaciones Científico-Técnicas Singulares del Ministerio de Economía y Competitividad, es el laboratorio de referencia en España de láseres pulsados de femtosegundos con potencias de pico al nivel de Gigavatios, Teravatios y Petavatio. El objetivo de esta instalación es dar servicio a la comunidad

científica e industrial proporcionando acceso a los más sofisticados láseres de alta potencia, así como asistencia técnica, a través de colaboraciones.

Desde Salamanca se coordina la red española de láseres pulsados ultracortos ultra intensos Consolider Ingenio 2010 SAUUL (Science and Applications of Ultrashort Ultraintense Lasers), una iniciativa conjunta de ocho laboratorios láser españoles que intenta formar el tejido base de conocimiento tanto en tecnología como en aplicaciones de esta tecnología. Actualmente existe en España un parque de más de veinte láseres con tecnología CPA capaces de superar la decena de gigavatios y, además de los de Salamanca, existen otros dos sistemas clase teravatio en Bilbao y Madrid, aparte de algún otro cuya construcción está planteándose a medio plazo. Sin embargo, salvo el sistema VEGA del CLPU, todos se encuentran por debajo de las intensidades mínimas de los láseres ultraintensos.

CONCLUSIONES

Cumplidos ya los 25 años desde su invención, la tecnología CPA está ya madura para empezar a dejar el entorno de laboratorio y entrar a formar parte del tejido industrial de nuestro país. Es una tecnología con aplicaciones singulares e inesperadas que puede revolucionar entornos como el de la aceleración de partículas (con aplicaciones en seguridad, medicina, radiofarmacia, materiales, ...), además de ser una herramienta de investigación básica (láseres de rayos X, atófica, física de altas densidades de energía, vacío cuántico). Esta tecnología está llamada a convertirse en un importante motor económico en el escenario mundial. España, gracias al esfuerzo global de muchos investigadores y al esfuerzo inversor que se ha realizado con la instalación singular que es

el CLPU, está posicionada para subirse al carro. Sin ninguna duda, al láser le espera un futuro brillante y como decíamos al principio, muy probablemente sea la llave de los descubrimientos en física y avances tecnológicos más espectaculares de los próximas décadas. ¡Estén al tanto del fotón!

REFERENCIAS

- [1] 2015 - International Year of Light. http://www.eps.org/?page=event_iyol
- [2] D. Strickland and G. Mourou, "Compression of amplified chirped optical pulses", *Opt. Commun.* 56, 219 (1985)
- [3] H. Daido, M. Nishiuchi and A. S. Pirozhkov, "Review of laser-driven ion sources and their applications" *Rep. Prog. Phys.* 75 (2012) 056401
- [4] K.W.D. Ledingham and W. Galster (2010), «Laser-driven particle and photon beams and some applications», *New Journal of Physics* 12: 045005
- [5] Teramobile. <http://www.teramobile.org/teramobile.html>
- [6] Extreme Light Infrastructure. <http://www.extreme-lightinfrastructure.eu/>
- [7] Laser Fusion HiPER project. <http://www.hiper-laser.org/>
- [8] M. Marklund and J. Lundin (2009), «Quantum vacuum experiments using high intensity lasers», *The European Physical Journal D* 55: 319-326 9
- [9] R. L. Forward, "Roundtrip Interstellar Travel Using Laser- Pushed lightsails," *J. Spacecraft and Rockets*, Vol. 21, pp 187-195 (Mar-Apr. 1989)
- [10] OECD Global Science Forum. Workshop on Compact High-Intensity Short-Pulse Lasers: Future Directions and Applications. (2001) <http://www.oecd.org/science/scienceandtechnologypolicy/2451461.pdf>
- [11] Centro de Láseres Pulsados Ultracortos y Ultraintensos. <http://www.clpu.es/>

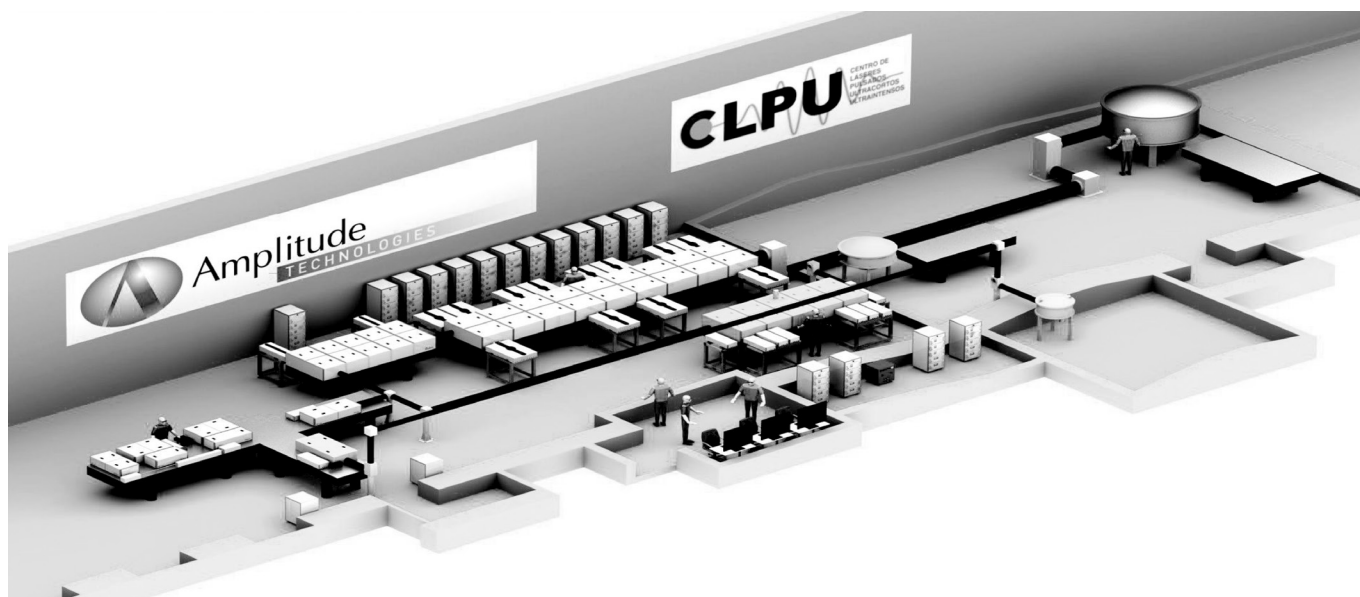


Figura 6. Esquema del Centro de Láseres Pulsados Ultracortos Ultraintensos de Salamanca, instalación científico-técnica Singular española dedicada a los láseres.

La Arqueometría en el estudio del vidrio antiguo. Cuentas centroeuropeas de la Edad del Hierro (siglos VI-IV a.C.)

J.F. CONDE¹, F. AGUA¹, U. KOBYLÍŃSKA², Z. KOBYLÍŃSKI²,
M.A. VILLEGAS¹ Y M. GARCÍA-HERAS¹

¹ Instituto de Historia, Centro de Ciencias Humanas y Sociales (CSIC).
Madrid. España.

² Instituto de Arqueología y Etnología, Academia Polaca de Ciencias
(PAN). Varsovia. Polonia.

RESUMEN

En los últimos años la Arqueometría se ha convertido en una aliada imprescindible para estudiar el vidrio antiguo hallado en los yacimientos arqueológicos. Como exponente de esta fructífera alianza, en esta contribución se presentan los resultados de un estudio arqueométrico realizado en un conjunto de cuentas de vidrio procedentes de yacimientos arqueológicos de la Edad del Hierro del Oeste de Polonia y del Sur de Alemania, fechado en los siglos VI-IV a.C. El estudio ha permitido obtener información sobre su composición química, su tecnología de producción y su estado actual de conservación. Estos datos han sido de gran utilidad para determinar su posible procedencia geográfica y evaluar su significado socio-económico.

Palabras clave: Arqueometría, Cuentas de vidrio, Edad del Hierro, Centroeuropa, Polonia, Alemania, Tecnología.

ABSTRACT

In recent years Archaeometry has become an essential ally to study ancient glasses found in archaeological sites. As an example of this fruitful alliance, the results derived from an archaeometric study undertaken on a set of glass beads from Iron Age archaeological sites located in western Poland and southern Germany and dated from sixth to fourth centuries B.C. are presented in this contribution. The study has provided outstanding information on their chemical composition, their production technology, and their current state of conservation. Such data have been of great utility to determine their probable geographic provenance and to assess their socio-economic meaning.

Keywords: Archaeometry, Glass beads, Iron Age, Central Europe, Poland, Germany, Technology.

1. INTRODUCCION

En las últimas décadas se ha producido un interés creciente en la arqueología prehistórica por extraer mayores niveles de información del registro arqueológico. Esto ha sido posible gracias al desarrollo de la Arqueometría, que es una disciplina que consiste en la aplicación de técnicas químico-físicas para estudiar los diferentes materiales arqueológicos. Los vidrios más antiguos recuperados a través de la arqueología son un buen ejemplo de aplicación de técnicas arqueométricas. Estas técnicas se utilizan para determinar su composición química, su tecnología de producción y su estado de conservación, lo cual resulta de gran importancia para determinar su posible procedencia geográfica y su significado socio-económico.

Esta contribución presenta los resultados de un estudio arqueométrico llevado a cabo en un conjunto de cuentas de vidrio procedentes de distintos yacimientos arqueológicos de la Edad del Hierro del Oeste de Polonia y del Sur de Alemania. La cronología de estas cuentas se encuadra entre los siglos VI y IV a.C. y constituyen los primeros vestigios de vidrio hallados en estos contextos. El estudio forma parte de un programa de caracterización de vidrio y materiales cerámicos históricos que se ha realizado a través de proyectos bilaterales entre el Instituto de Historia del CSIC y el Instituto de Arqueología y Etnología de la Academia Polaca de Ciencias (PAN). Este trabajo puede ser un buen exponente de lo que la Arqueometría puede aportar al estudio del vidrio antiguo, cuando se seleccionan vidrios bien contextualizados y se emplea una adecuada metodología arqueométrica de forma sistemática. Asimismo, también puede constituir un exponente destacado de lo que una colaboración internacional bien articulada puede aportar, desde una perspectiva arqueométrica, al estudio de este material, cuya aparición en la historia hay que situar a mediados del tercer milenio a.C. en distintas zonas de la antigua Mesopotamia [1].

En la Edad del Hierro europea las cuentas de vidrio se han hallado en necrópolis, en santuarios y en el suelo de las viviendas de los poblados. En las necrópolis solían formar parte de los ajueres de ciertas tumbas, en los santuarios constituyeron ofrendas y, en los suelos de las viviendas, es probable que se olvidaran o perdieran. Normalmente

se han interpretado como elementos de collar, ya que en algunos yacimientos se han encontrado hilos de oro utilizados para el engarce de las cuentas. También se aplicaron en otras piezas de joyería como fíbulas, brazaletes, pulseras y pendientes. En general, las cuentas se interpretan de dos formas. O bien se trata de expresiones simbólicas de estatus, o bien de objetos con un carácter mágico o profiláctico, sobre todo aquellas que muestran decoraciones oculadas, que se interpretan a menudo como elementos contra el mal de ojo [2]. Se conocen también cuentas de vidrio en yacimientos españoles de la Edad del Hierro. Son especialmente numerosas en zonas del este y sur peninsular, aunque también se han documentado en zonas del interior, como las halladas en la necrópolis celtibérica asociada a la emblemática ciudad de Numancia [3].

2. CUENTAS DE VIDRIO ANALIZADAS Y TÉCNICAS UTILIZADAS

2.1. Muestras y emplazamiento arqueológico

En este estudio se han analizado distintas muestras procedentes de un total de ocho cuentas de vidrio halladas en los yacimientos de la Edad del Hierro de Kozów, Starosiedle y Altdorf. Los dos primeros se sitúan en el Oeste de Polonia, mientras que el tercero se emplaza en el Sur de Alemania (Figura 1). Las cuentas provienen de un lugar de culto o santuario (Kozów) y de dos poblados (Starosiedle y Altdorf).

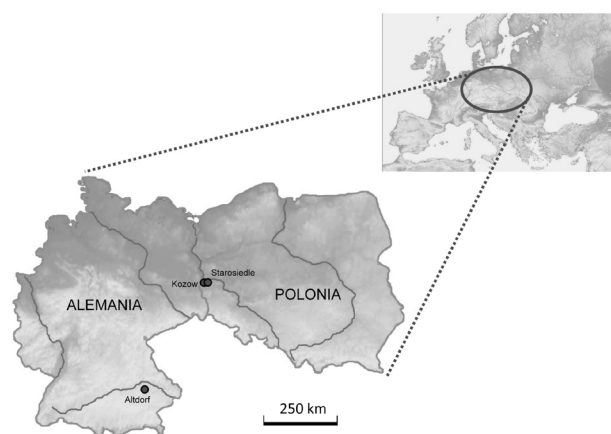


Figura 1. Mapa con la localización de los yacimientos de Kozów, Starosiedle y Altdorf.

El yacimiento de Kozów se excavó entre los años 2001 y 2004 por un equipo del Instituto de Arqueología y Etнологía (IAE) de la Academia Polaca de Ciencias (PAN). Se identificó un solo nivel de ocupación fechado entre los siglos VI y IV a.C. Tres de las cuentas de Kozów aquí analizadas se hallaron en un contexto ceremonial junto a otros

objetos de valor, como un pez hecho con oro o armas de parada. El poblado fortificado de Starosiedle se excavó primero en la segunda década del siglo XX, aunque se realizó una segunda campaña entre los años 2001 y 2004 por un equipo del IAE-PAN, para clarificar e interpretar correctamente las estructuras halladas en la primera campaña. La excavación más reciente identificó dos niveles de ocupación. Uno de la Edad del Hierro, también de los siglos VI y IV a.C.; y otro de época medieval fechado en el siglo X de nuestra era. La cuenta de vidrio analizada pertenece a la Edad del Hierro. Por último, el asentamiento de Altdorf se excavó por un equipo mixto de investigadores polacos y alemanes entre los años 1993 y 1996. Este poblado sólo mostró un único nivel de ocupación del siglo V a.C. Las cuentas de vidrio de Starosiedle y Altdorf se hallaron en el interior de los poblados.

La primera muestra (CV-1) analizada pertenece a la mitad de una cuenta de vidrio de color marrón oscuro con decoración oculada, realizada con un vidrio blanco empleado como fondo y un vidrio amarillo-verdoso para dibujar el ojo (Figura 2A y B). El vidrio base marrón muestra una masa heterogénea de aspecto granular que tiene abundantes infundidos. La muestra CV-2 se compone de tres piezas de una cuenta de vidrio de color verdoso, que presenta decoración oculada con protuberancias (Figura 2C y D). La decoración está realizada con vidrio blanco como base en el que se han añadido pequeñas gotas de vidrio azul turquesa. La muestra CV-3 es una cuenta de vidrio negro opaco con huellas de una posible decoración oculada perdida (Figura 2E). La muestra CV-4 es una cuenta de vidrio transparente de color verde de forma agallonada y

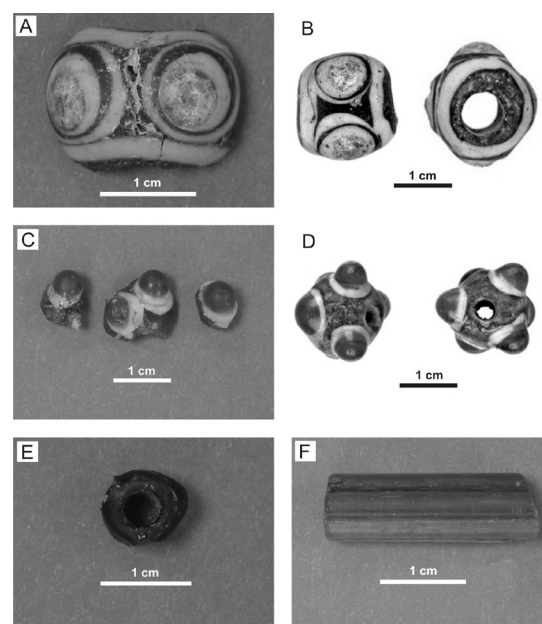


Figura 2. Fotografías de las muestras analizadas del yacimiento de Kozów. Los ejemplares completos de las fotografías B y D muestran cuentas de vidrio de cronología similar procedentes de otras ubicaciones. A) Muestra CV-1. C) Muestra CV-2. E) Muestra CV-3. F) Muestra CV-4.

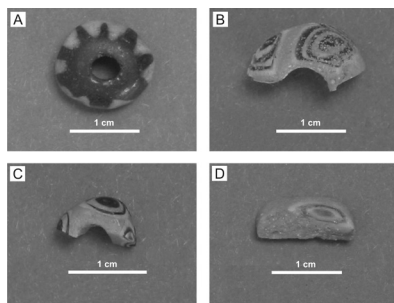


Figura 3. Fotografías de las muestras analizadas de los yacimientos de Starosiedle y Altdorf. A) Muestra CV-5. B) Muestra CV-6. C) Muestra CV-7. D) Muestra CV-8.

alargada (Figura 2F). Las cuentas CV-1, CV-2 y CV-3 son las que se hallaron en el contexto ceremonial mencionado anteriormente, mientras que la muestra CV-4 se localizó en un área completamente diferente. La muestra CV-5 es la única cuenta analizada procedente de Starosiedle. Se trata de una cuenta de vidrio azul que tiene una decoración compuesta por líneas en zig-zag de vidrio blanco (Figura 3A). Por último, las muestras CV-6, CV-7 y CV-8 son fragmentos de tres cuentas distintas pero de aspecto similar, procedentes del asentamiento alemán de Altdorf. Son de vidrio de color amarillo y decoración oculada doble, realizada con vidrio blanco de fondo y azul intenso para dibujar los ojos (Figura 3B, C y D).

2.2. Técnicas utilizadas

Se utilizaron las siguientes técnicas de caracterización: lupa binocular, microscopía electrónica de barrido (MEB) equipada con microanálisis de energía de dispersión de rayos X (EDS) y espectrofotometría visible (VIS). Las observaciones mediante lupa binocular se llevaron a cabo con una lupa Leica MZ16, equipada con una cámara Leica DC300. La microscopía electrónica se realizó con un microscopio Hitachi S-3400-N (CCHS-CSIC, Madrid), utilizando tensiones de aceleración de entre 20 y 25 kV y electrones retrodispersados. Las observaciones se realizaron sin utilizar ningún tipo de recubrimiento conductor sobre la superficie de las muestras. El microanalizador EDS fue un espectrómetro Bruker AXS acoplado al MEB. Los microanálisis químicos se realizaron en la superficie de todas las muestras, así como en una sección pulida de las muestras CV-2 y CV-4. La espectrofotometría VIS se llevó a cabo con un equipo Ocean Optics HR4000CG en modo reflexión. Para reproducir el vidrio base de las muestras CV-1 y CV-2 y el vidrio azul de la decoración de la muestra CV-2, se formularon varios vidrios experimentales utilizando reactivos químicos comerciales. Para fundir las mezclas vitrificables se empleó un horno eléctrico Pyrox en un intervalo de temperatura de entre 1100 y 1400 °C.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El examen mediante lupa binocular sirvió para determinar el estado de conservación de las cuentas de vidrio. La super-

ficie de la cuenta CV-1 se mostró muy degradada y la zona central de la decoración oculada muy fracturada. El vidrio base marrón presentó un aspecto muy granular y heterogéneo (Figura 4A). La muestra CV-2 también presentó una superficie bastante degradada. El vidrio base de color verdoso y el vidrio azul de la decoración mostraron cierto grado de transparencia, mientras que el vidrio blanco apareció opaco (Figura 4B). La superficie de la muestra CV-3 es heterogénea, mostrando un vidrio opaco de color negro, que presentó pequeñas inclusiones y burbujas (Figura 4C).

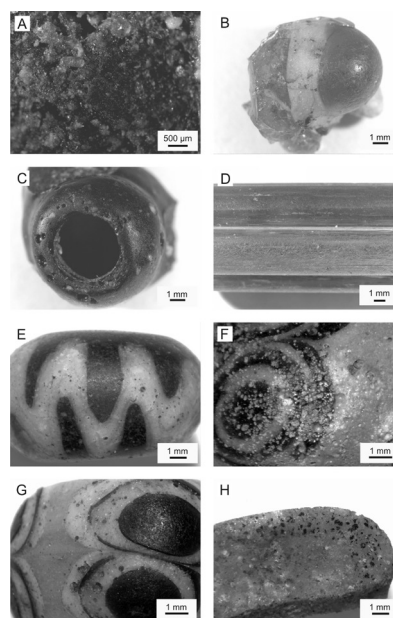


Figura 4. Fotografías de lupa binocular de las muestras analizadas. A) Vidrio base de la muestra CV-1. B) Muestra CV-2. C) Muestra CV-3. D) Muestra CV-4. E) Muestra CV-5. F) Muestra CV-6. G) Muestra CV-7. H) Vidrio base con infundidos de la muestra CV-8.

Su aspecto es muy semejante al del vidrio base marrón de la cuenta CV-1. La cuenta CV-4 mostró un vidrio de color verde transparente, con evidencias de deterioro mecánico en las partes salientes de la forma agallonada (Figura. 4D). En la muestra CV-5 la superficie presentó abundantes picaduras, a veces interconectadas y formando grietas, dando un aspecto traslúcido al vidrio (Figura 4E). La superficie de la muestra CV-6 exhibió abundantes cráteres y picaduras, especialmente en la decoración oculada (Figura. 4F), mientras que en el cuerpo del vidrio se observaron numerosas burbujas. En la cuenta CV-7 las picaduras de la superficie eran más escasas aunque de mayor tamaño (Figura 4G). Asimismo, el vidrio presentó un aspecto más homogéneo con menos burbujas, lo que puede indicar que este vidrio se fundió a una temperatura superior que el vidrio de la muestra anterior. Finalmente, la cuenta CV-8 presentó un aspecto superficial muy similar al de la cuenta CV-6, aunque en este caso se observaron también abundantes burbujas y granos infundidos en el cuerpo del vidrio (Figura 4H).

La observación mediante MEB permitió conocer con ma-

yor detalle la extensión y profundidad del deterioro detectado a través de la lupa binocular. La morfología de dicho deterioro, observado en la zona de vidrio amarillo-verdoso de la decoración oculada de la cuenta CV-1 (Figura 5A) y en el vidrio blanco de la cuenta CV-2 (Figura 5B), sugiere que las pequeñas picaduras han ido creciendo progresivamente en tamaño y profundidad como consecuencia del ataque químico llevado a cabo por el agua durante el enterramiento. En la muestra CV-3 se detectaron distintos patrones de deterioro entre la superficie y las huellas de la decoración oculada perdida (Figura 5C), lo cual indica que se utilizaron distintos vidrios con distinto coeficiente de dilatación térmica, que han respondido de modo diferente a las condiciones de enterramiento.

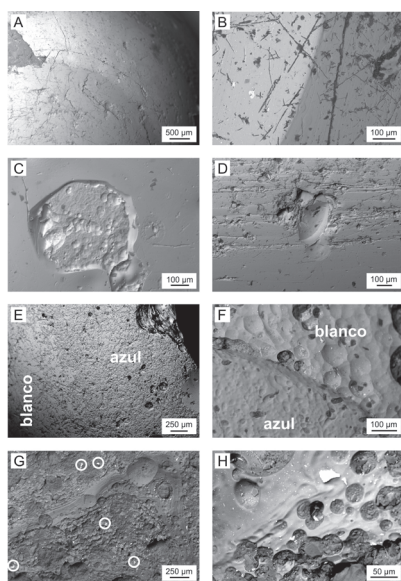


Figura 5. Micrografías de MEB de las muestras analizadas. A) Muestra CV-1. Zona de vidrio amarillo-verdoso. B) Muestra CV-2. Zona de vidrio blanco. C) Muestra CV-3. Huella de la decoración perdida. D) Muestra CV-4. E) Muestra CV-5. Diferencia textural entre vidrio azul y blanco. F) Muestra CV-6. Diferencia textural entre vidrio azul y blanco. G) Muestra CV-7. Zona de vidrio base amarillo. Las inclusiones se señalan con círculos. H) Muestra CV-8. Burbujas en el vidrio base amarillo.

En la muestra CV-4 sólo se observaron signos de deterioro alineados y de morfología alargada, así como algún pequeño impacto de origen mecánico (Figura 5D). La muestra CV-5 mostró diferencias texturales entre el vidrio base azul y la decoración de vidrio blanco (Figura 5E). Las áreas de vidrio blanco exhibieron menor degradación que el vidrio azul. Un patrón similar se observó en las cuentas de Altdorf, en el que los vidrios blanco y azul de dicha decoración mostraron texturas distintas, como se observa en la muestra CV-6 (Figura 5F). El vidrio base de color amarillo de la muestra CV-7 presentó abundantes inclusiones de tamaño inferior a 30 μm (Figura 5G), mientras que en la muestra CV-8 se detectaron numerosas burbujas (Figura 5H).

Debido al alto valor y singularidad de estas cuentas, se descartó la utilización de análisis destructivos. La composi-

ción química se determinó mediante EDS en sus superficies o, cuando fue posible, en secciones pulidas. En la muestra CV-1 se determinó un vidrio de silicato sódico cálcico muy desalcalinizado, tanto en el vidrio amarillo-verdoso como en el vidrio blanco de la decoración. En este último también se determinaron óxidos de estaño (SnO_2) y de plomo (PbO), que proporcionan un aspecto blanco opaco a este vidrio [4]. Por el contrario, la composición química del vidrio base marrón difiere bastante de la de un vidrio común de silicato sódico cálcico, ya que presentó concentraciones elevadas de óxido de magnesio (MgO). Esto indica que podría haberse realizado utilizando cenizas de plantas calcinadas como materia prima alcalina. Podría tratarse, por tanto, de un vidrio conocido en la bibliografía con el término inglés *high magnesium soda lime glass* (HMG) [5]. La fusión experimental en el laboratorio de un vidrio de similares características demostró que los iones hierro $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ eran responsables del color marrón oscuro cuando la temperatura de fusión se aproximaba a 1100 $^{\circ}\text{C}$, mientras que proporcionaban un color verdoso cuando la temperatura de fusión alcanzaba 1400 $^{\circ}\text{C}$.

En la muestra CV-2, tanto en el vidrio base de color verdoso como en el vidrio azul turquesa de la decoración, se determinó un vidrio de silicato sódico cálcico de composición química muy similar, con un bajo contenido de óxido de magnesio (MgO). Ambos se asignan a los llamados *low magnesium soda lime glass* (LMG) [5], elaborados muy probablemente a partir de natrón como fuente de materia prima alcalina. El natrón es un mineral rico en carbonato de sodio. En el vidrio blanco de la decoración también se determinó un vidrio de silicato sódico cálcico, menos desalcalinizado que en el caso de la muestra CV-1. En este vidrio blanco se detectaron igualmente concentraciones notables de óxidos de estaño (SnO_2) y de plomo (PbO), responsables de su aspecto blanco opaco, que se confirmó mediante MEB por la presencia de pequeños microcristales ricos en estos óxidos (Figura 5B). El color verdoso del vidrio base se atribuyó a la presencia de iones hierro $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$, mientras que el color azul turquesa de la decoración se debe a la presencia de iones Cu^{2+} .

El vidrio negro de la muestra CV-3 mostró una composición química muy similar a la del vidrio base marrón de la cuenta CV-1, aunque con un mayor contenido de óxido de hierro (Fe_2O_3). Podría asignarse también a un vidrio HMG realizado con cenizas de plantas calcinadas. El color negro es debido a la mayor presencia de iones hierro $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$. La composición química del vidrio CV-4 también es asimilable a un vidrio de silicato sódico cálcico con bajo contenido de óxido de magnesio (LMG). En este vidrio también se detectaron concentraciones notables de óxidos de hierro (Fe_2O_3) y de manganeso (MnO). El primero es responsable del color verde del vidrio, mientras que el segundo se añadió probablemente como decolorante. El uso de manganeso como decolorante era conocido desde el siglo VIII a.C por los vidrieros asirio-babilónicos de Mesopotamia [1] y se basa en la compensación cromática de los iones hierro Fe^{2+} (azul verdoso) con el óxido

de manganeso. La reacción redox de oxidación-reducción resulta en la formación de iones Fe^{3+} (amarillo claro) e iones Mn^{2+} (incoloro). En cualquier caso, la proporción relativa de óxido de hierro (más elevada) y óxido de manganeso no permite que el vidrio se muestre incoloro sino verde. La composición química del vidrio base azul de la muestra CV-5 se correspondió con un vidrio de silicato sódico cálcico desalcalinizado, muy similar al de la cuenta CV-2. Es por tanto, un vidrio LMG. La presencia de iones Co^{2+} , identificados por espectrofotometría VIS, demostró que eran estos iones los responsables de la coloración azul, en vez de los iones Cu^{2+} como ocurría en la muestra CV-2. En la decoración blanca también se identificaron pequeños cristales de óxido de estaño (SnO_2) como opacificantes.

Tanto en los vidrios base de color amarillo como en los vidrios azul y blanco de las decoraciones de las cuentas CV-6, CV-7 y CV-8, se determinó un vidrio de silicato sódico cálcico con bajo contenido en óxido de magnesio (MgO), por lo que también pueden clasificarse como LMG. En el vidrio amarillo se identificaron pequeñas inclusiones ricas en óxidos de plomo (PbO) y de antimonio (Sb_2O_3), lo cual indica que probablemente se utilizó un antimoniato de plomo como opacificante. En el vidrio blanco de la decoración se detectaron pequeñas inclusiones ricas en óxidos de calcio (CaO) y de antimonio (Sb_2O_3), lo que podría indicar asimismo que se empleó en este caso un antimoniato de calcio como opacificante. Por lo que respecta a la decoración azul, en la composición química se determinó la presencia de óxidos de hierro (Fe_2O_3) y cobre (CuO) como cromóforos, aunque la contribución principal debe atribuirse a iones Co^{2+} .

4. IMPLICACIONES FINALES Y

CONCLUSIONES

El estudio arqueométrico realizado en este conjunto de cuentas de vidrio ha permitido determinar su composición química, su tecnología de producción y su estado de conservación. Todas las cuentas pueden asimilarse a vidrios de silicato sódico cálcico. No obstante, la distinta concentración de óxido de magnesio, permite su clasificación como vidrios con elevado contenido en este óxido (HMG): muestras CV-1 y CV-3; y vidrios con bajo contenido (LMG): muestras: CV-2, CV-4, CV-5, CV-6, CV-7 y CV-8. Esto indica que no todas las cuentas de vidrio del santuario de Kozów se realizaron con la misma tecnología, ya que dos de ellas se elaboraron con vidrio obtenido con cenizas de plantas calcinadas como fuente de materia prima alcalina, lo cual sugiere que podrían ser imitaciones centroeuropeas de cuentas de vidrio procedentes del mediterráneo oriental y Egipto, elaboradas con natrón mineral como fuente alcalina. Las cuentas CV-1 y CV-3, además, se elaboraron a una menor temperatura de fusión, como indica su masa de aspecto granular, la presencia de infundidos o las réplicas realizadas en el laboratorio en

las que el color marrón oscuro sólo se conseguía cuando la fusión no superaba 1100 °C. Por otro lado, la muestra CV-4, aunque es un vidrio LMG, tiene características tecnológicas distintivas, como la adición de manganeso como decolorante, que la sitúan en una posible cronología posterior, quizás relacionada con una composición química típica ya de vidrio romano. A ello hay que unir que es la única cuenta de Kozów que no se halló en el contexto ceremonial de este santuario.

Por lo tanto, las comunidades de la Edad del Hierro de los asentamientos de Kozów, Starosiedle y Altdorf debían otorgar un elevado valor a estas cuentas de vidrio ya que, excepto en dos de los casos de Kozów, las cuentas procedían con toda probabilidad, según los datos aportados por la composición química y la tecnología utilizada en la elaboración de las decoraciones, de lugares ubicados en el mediterráneo oriental y Egipto. Estas cuentas alcanzarían estos asentamientos centroeuropeos mediante intercambio o comercio. Debían ser un bien preciado no sólo porque se han hallado en muy escasa cantidad, sino también porque se trataban de imitar, como demuestran los dos ejemplos del santuario de Kozów. Desde el punto de vista tecnológico, la mayor variedad cromática también se asocia a los vidrios importados. Así, el vidrio azul turquesa se obtiene con iones Cu^{2+} , el blanco opaco con la combinación de óxidos de estaño y plomo o con antimoniato de calcio, el amarillo opaco con antimoniato de plomo, mientras que el azul de las muestras de Altdorf se obtuvo con una combinación de iones de hierro, cobre y cobalto, si bien la intensa coloración que imparten los iones Co^{2+} enmascara la contribución de los otros dos cromóforos. ■

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación parcial de los proyectos bilaterales CSIC-PAN refs. 2008PL0012 y 2010PL0003, así como el apoyo profesional de la Red de Ciencia y Tecnología para la Conservación del Patrimonio Cultural (Techno-Heritage).

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] García Heras, M., Fernández Navarro, J.M^a, Villegas, M.A. (2012). *Historia del vidrio. Desarrollo formal, tecnológico y científico*. CSIC-PIE 200460E594, Madrid (ISBN 978-84-8198-871-0).
- [2] Ruano, E. (2000). Las cuentas de collar. Orígenes, características y fabricación. Historiografía de las cuentas de vidrio. En E. Ruano, P. Pastor, R. Castelo (eds.): *Joyas prerromanas de vidrio*. Fundación Centro Nacional del Vidrio, La Granja de San Ildefonso, pp. 8-12.
- [3] García-Heras, M., Rincón, J.Ma., Jimeno, A., Villegas, M.A. (2005). Pre-Roman coloured glass beads from the Iberian Peninsula: a chemico-physical characterisation study. *Journal of Archaeological Science* 32 (5), 727-738.
- [4] Fernández Navarro, J.M^a (2003). *El vidrio*. Madrid, CSIC, 3^a ed.
- [5] Sayre, E.V., Smith, R.W. (1961). Compositional categories of ancient glass. *Science* 133, 1824-1826.

Cáncer e inmunidad

José R. REGUEIRO

Inmunología. Facultad de Medicina

Universidad Complutense de Madrid e Instituto

de Investigación Sanitaria Hospital 12 de Octubre

RESUMEN

La inmunidad evolucionó para defendernos de las infecciones, pero ¿nos protege frente a tumores? Este segundo papel, llamado inmunovigilancia, fracasa cuando vence el cáncer, que por tanto sería una inmunodeficiencia. Como las infecciones, debería ser susceptible de inmunoprolifaxis y de inmunoterapia. Sin embargo la inmunovigilancia es todavía una teoría. De hecho la inmunoprolifaxis y la inmunoterapia antitumorales actuales no la apoyan. Así, la vacuna del papiloma no es antitumoral, sino que protege de un oncopatógeno que sólo después de mucho tiempo y en algunos casos impredecibles causa cáncer. Dos estrategias de inmunoterapia antitumoral con monoclonales destacan por su efectividad: la pasiva (como el anti-CD20) y la activa, que bloquea con la inhibición del linfocito T (como el anti-CTLA-4). Pero en ambos casos se interfiere con la autotolerancia y se causa autoinmunidad, y en ninguno se identifica realmente al tumor, como predice la inmunovigilancia. La tozuda realidad es que la evolución tumoral es ciega y acumula mutaciones al azar que sólo el control celular intrínseco, la apoptosis inducida o los antimitóticos pueden parar. En algunos casos puede producirse su inmunoección, pero sólo para seleccionar variantes tumorales que, por azar y si existen señales adicionales de peligro, caen dentro de las competencias de la inmunidad

ABSTRACT

Immunity evolved to defend us against infections, but does it protect us against tumours? The second role, called immunosurveillance, fails when cancer succeeds, meaning that cancer is a sort of immunodeficiency. Cancer should thus, like infections, be amenable to immunoprophylaxis and immunotherapy. Immunosurveillance is however still a theory. In fact current antitumor immunoprophylaxis and immunotherapy not support it. The papillomavirus vaccine is not antitumoral but rather protects against an oncopathogen which only after long time and in certain unpredictable cases causes cancer. Two cancer immunotherapy strategies with monoclonals are noted for their effectiveness: passive (such as anti-CD20) and active immunotherapy, which blocks T cell inhibition (such as anti-CTLA-4). But both interfere with self-tolerance and cause autoimmunity, and none actually identify the tumour, as predicted by immunosurveillance. The stubborn fact is that tumour progression is blind and accu-

mulates random mutations that only intrinsic cellular control, induced apoptosis or anti-mitotic drugs may stop. In some cases, immunoediting may occur, but only to select tumour variants which, by sheer chance and if there are additional danger signs, fall in the realm of immunity.

INTRODUCCIÓN

El sistema inmunitario, como todo sistema biológico, está sometido a la presión evolutiva de la selección natural, que actúa sobre las poblaciones preservando a los individuos que, por azar, resulten más adaptados a su entorno. En el caso de los mamíferos la selección natural ha alcanzado con la inmunidad adaptativa un grado de sofisticación muy elevado, ya que se precisa mantener con vida al individuo durante los años suficientes para su reproducción, y a ese objetivo contribuye la memoria inmunitaria, que es una de sus propiedades. En contraste, los organismos con ciclos de vida más breves, como los insectos, sólo tienen inmunidad innata. Una propiedad intrínseca de la inmunidad innata es la autotolerancia, de la que es responsable la selección natural, por ejemplo eliminando fetos que, por azar, sufran mutaciones que hagan que sus receptores de LPS reconozcan los eritrocitos propios y causen anemia.

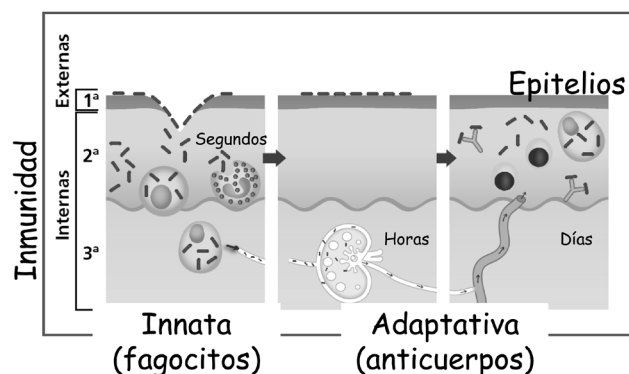
La inmunidad adaptativa, como su nombre indica, funciona también con criterios evolutivos, pero en este caso actúa a nivel somático, sobre células (los linfocitos T y B) con capacidad de generación de receptores distribuidos clonalmente (TCR y BCR). El objetivo en este caso es preservar a los linfocitos que, por azar, han expresado receptores por un lado potencialmente útiles frente a patógenos futuros, y por otro autotolerantes.

El primer objetivo (la utilidad futura) se consigue mediante la generación de la diversidad, que desarrolla sobre apenas 600 segmentos génicos complejos malabarismos genómicos diseñados para ese único fin y sujetos al azar, alcanzando la increíble cifra de más de 10^{10} especificidades distintas en cada linaje, a las que en conjunto se denomina el repertorio posible. Este repertorio excede con mucho la propia diversidad del resto del genoma de cualquier ser humano, que apenas llega a las 10^5 proteínas distintas. El repertorio nos permite, por tanto, identificar un universo antigénico inmenso. Además, al ser individual por estar sujeto al azar, confiere a la población una capacidad adaptativa muy superior a la que se conseguiría si todos los individuos expresaran un conjunto de receptores idénticos, por más grande que fuera su número, ya que los patógenos podrían, por azar y posterior selección, mutar alejándose de las especificidades estáticas de dicho conjunto

de receptores y finalmente eliminar a toda la población. Por tanto, al ser distinto el repertorio linfoide en cada individuo, el de la población es casi infinito, lo cual hace más difícil que un patógeno concreto sea letal para toda ella.

El repertorio posible de cada individuo incluye desde luego a los antígenos de los patógenos (incluso los de los que aún no existen o, si pudiéramos viajar en el tiempo, los del pasado), pero también a los de todas sus células y moléculas, puesto que se genera al azar en el núcleo de los linfocitos y sin referencia previa a las especificidades resultantes. Pero la realidad demuestra que nuestro sistema inmunitario adaptativo no es normalmente autorreactivo, sino autotolerante. Para lograr este segundo objetivo (la autotolerancia) se requiere un proceso activo denominado selección negativa, que purga el repertorio posible de las especificidades propias (los receptores que reconocen autoantígenos). El resultado es el repertorio útil, que sigue siendo inmenso ya que los autoantígenos son en realidad un pequeño subconjunto de los antígenos del universo. El repertorio útil, no obstante, es suficientemente grande para que un ratón cualquiera consiga la inútil hazaña de hacer anticuerpos contra la gonadotropina coriónica humana, que son la base del test del embarazo. Es obvio que de nada sirve cargar con especificidades absurdas como esa, pero esa capacidad garantiza el reconocimiento de antígenos de verdadero interés evolutivo, como los que se generan cada día en infinidad de patógenos y que la inmunidad adaptativa con exquisito detalle distingue de los propios.

Por otro lado, el cáncer es una genopatía generalmente adquirida sujeta también a la presión evolutiva, en este caso para la supervivencia de la célula tumoral en el hostil entorno de un ser vivo, que naturalmente tiene multitud de mecanismos antitumorales, sobre todo intrínsecos ya que la oncogénesis es un problema universal pero intrínseco. Puesto que la célula tumoral acumula mutaciones, algunas de las cuales, por azar, sortean los mecanismos intrínsecos de control celular y por tanto se seleccionan, es posible que algunas generen epítomos T o B para los cuales la autotolerancia no existe. Por tanto resulta atractivo pensar que la inmunidad adaptativa realiza misiones de inmunovigilancia antitumoral (Figura 1).



LA INMUNIDAD EVOLUCIONÓ PARA PREVENIR Y ELIMINAR INFECCIONES

Los individuos sin sistema inmunitario (disgenesia reticular, 1) o con la inmunidad muy comprometida (inmunodeficiencia combinada grave) no son viables porque no logran sobrevivir a las infecciones, a no ser que se les proporcione un nuevo sistema inmunitario mediante trasplante de médula ósea. De hecho el campo de las inmunodeficiencias congénitas suele estar relacionado con la Pediatría, porque es en edad pediátrica cuando se manifiestan casi todas. Así, las inmunodeficiencias congénitas en humanos específicas de células o moléculas típicamente implicadas en la inmunovigilancia se asocian más bien a infecciones en la infancia que a cáncer: la falta de linfocitos NK a herpesvirus, la de linfocitos T a diversos virus, bacterias y hongos, la de linfocitos B o complemento a bacterias.

Por tanto, la selección natural elimina rápidamente de la población las mutaciones que, por azar, reducen la inmunidad, y ha acumulado lentamente las que, por azar, la mejoran, aunque el trasplante de médula ósea y los fármacos antiinfecciosos están cambiando esta tendencia. El cáncer es el menor de los problemas de esos pacientes, ya que tarda meses o años en desarrollarse, mientras que las infecciones lo hacen en horas o días.

Otro ejemplo son las inmunodeficiencias adquiridas por supresión farmacológica (trasplante) o por infección (HIV), que se asocian fundamentalmente a cáncer por oncopatógenos víricos (3, 9). De existir la inmunovigilancia, estos tumores deberían ser de cualquier tipo (menos del 20% de los cánceres son de origen vírico), y sin embargo parece que priman los que se deben a la incapacidad del sistema inmunitario para eliminar células infectadas por virus que eventualmente inducen cambios oncogénicos.

A pesar de los esfuerzos de la inmunidad, la prevalencia de las infecciones es muy importante en individuos inmunocompetentes (más del 30% de la humanidad sufre infecciones en este momento, en buena parte por micobacterias). En comparación, la prevalencia global del cáncer es menos del 1% (tabla 1) y el cáncer no está entre las 10 principales causas de muerte en países pobres, donde la evolución es más comparable a la que ha ocurrido en la historia de la humanidad (tabla 2).

Figura 1. La inmunidad detecta y destruye patógenos...y lo recuerda. ¿Se utiliza también para eliminar tumores? ¿Existe la inmunovigilancia?

Tabla 1. La prevalencia mundial del cáncer (<1%) es escasa en comparación con la de las enfermedades infecciosas (>30%)

Patología	Afectados (millones)
Tuberculosis	2.000
Malaria	200
Ascariasis	200
Tétanos	60
SIDA	50
Cáncer	40

Causa	Países ricos	%	Países pobres	%
1	Cardiopatía isquémica	15	Cardiopatía isquémica	12
2	Enfermedad cerebrovascular	9	Enfermedad cerebrovascular	11
3	Cáncer sistema respiratorio	6	Infecciones respiratorias	6
4	Demencia senil	4	Enf. pulmonar obstructiva crónica	6
5	Infecciones respiratorias	4	Enfermedad diarreica	5
6	Enf. pulmonar obstructiva crónica	3	SIDA	4
7	Cáncer de colon o recto	3	Tuberculosis	3
8	Diabetes mellitus	2	Accidentes de tráfico	2
9	Hipertensión cardíaca	2	Diabetes mellitus	2
10	Cáncer de mama	2	Prematuridad y bajo peso al nacer	2

Tabla 2. El cáncer no está entre las diez principales causas de muerte en países pobres, pero sí las infecciones (datos en %).

LA INMUNOVIGILANCIA ES UNA TEORÍA

La inmunidad, por tanto, está diseñada por la presión evolutiva para detectar, eliminar y recordar patógenos muy diversos. La enorme eficacia de las vacunas acredita esta capacidad, que ha logrado erradicar algunas enfermedades infecciosas de la tierra. Por homología con esta realidad, la inmunovigilancia propone que la inmunidad, además de su papel antiinfeccioso, mantiene un nivel de inspección de los tejidos propios que le permite detectar, eliminar y recordar los cambios genéticos que dan lugar a los tumores, de manera que éstos no progresen y, lo que es más importante, no se repitan gracias a la memoria inmunitaria.

Sin embargo la inmunovigilancia no es una propiedad establecida del sistema inmunitario, sino una teoría. De hecho, en el año 2000 la capacidad de evadir la inmunovigilancia no figuraba entre las 6 propiedades del cáncer (4) (Figura 2 superior), que sí listaba otros aspectos intrínsecos mucho más claros de la progresión tumoral, como la autoseñalización para la proliferación junto a la resistencia a los supresores de la misma y a la apoptosis, y por tanto la replicación infinita seguida de la angiogénesis, la invasión tisular y la metástasis.

Más recientemente se han añadido 6 nuevas propiedades emergentes del cáncer (Figura 2 inferior), 5 relacionadas con el estrés celular (oxidativo, por daño en el ADN, mitótico, proteotóxico y metabólico) y por fin la capacidad de inmunoevasión (5), pero en un contexto no de reconocimiento adaptativo de proteínas mutantes, sino más bien de identificación de células estresadas que el sistema inmunitario puede tomar por infectadas, sin conocer la causa de ese estrés ni identificar cambios específicos. inmunosupresores que se seleccionan en ciertos tumores y podrían inactivar a la inmunovigilancia (7, 11). En todo caso, resulta clarificador de la verdadera medida de la inmunovigilancia.

Dejando a un lado los estudios en ratón, que apenas dan información sobre los tumores espontáneos que son el grueso de los que se producen en humanos, existen datos sugerentes, pero no concluyentes, de cierta inmunidad antitumoral en algunos tipos de tumores humanos. Así, la infiltración linfocitaria T y NK se asocia a un mejor pronóstico en cáncer de colon u ovario (8). Por otro lado, existen mecanismos analizados con detalle su alcance en las dos situaciones en las que la inmunidad claramente tiene un papel antitumoral relevante: la inmunoprolifaxis y la inmunoterapia.

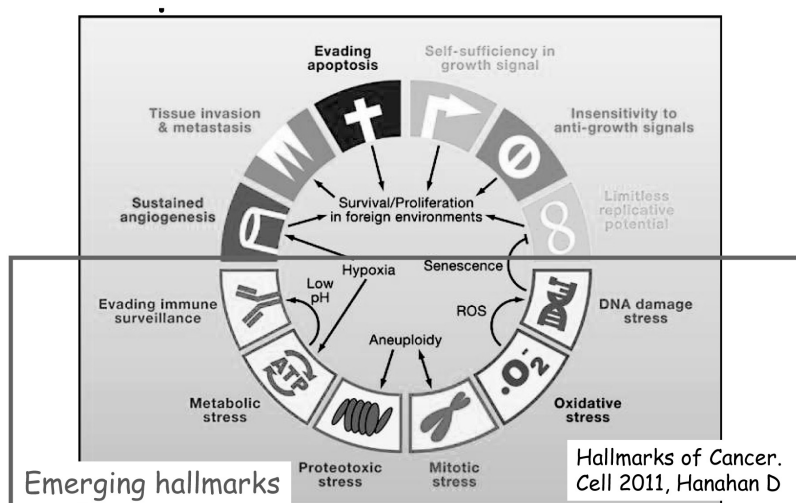
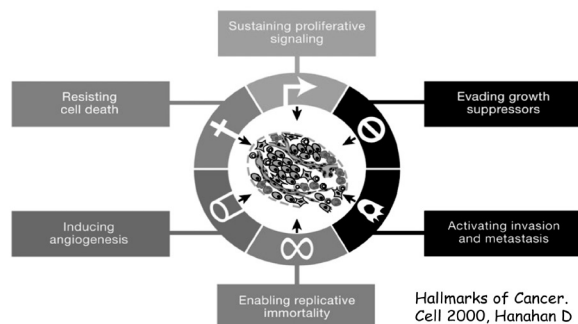


Figura 2. Entre las características del cáncer no figuraba la inmunoevasión en 2000, y aparece como “emergente” en 2011.

LA INMUNOPROFILAXIS ANTITUMORAL

NO LO ES EN REALIDAD

La vacuna frente al papiloma es tildada a menudo de anti-tumoral, ya que protege a las adolescentes del cáncer de cuello de útero. Su uso terapéutico sugiere también una respuesta tumor-específica. Sin embargo la realidad es otra: se trata de una vacuna dirigida frente al virus del papiloma, algo que desde luego está dentro de las competencias de la inmunidad, en este caso para prevenir la infección (anticuerpos) y quizá para eliminar células epiteliales infectadas (linfocitos T). Ni siquiera protege de todas las cepas oncogénicas, lo cual nos recuerda la exquisita especificidad del sistema inmunitario, que ignorará completamente aquellas células epiteliales infectadas por cepas no cubiertas por la vacuna. Obviamente los linfocitos en este caso se dirigen al patógeno, no al tumor, salvo por el hecho de que resulta que las células tumorales

que surgen con el tiempo y sólo en ciertos individuos son las infectadas por el virus del papiloma. Esto significa que las células epiteliales no infectadas no son objeto de inmunovigilancia alguna, y pueden convertirse en tumorales con total impunidad si el origen de la transformación no es vírico.

No es muy distinto el caso de la vacuna de la hepatitis B, que desde luego protege del cáncer de hígado, pero tampoco es directamente antitumoral.

En ambos casos la inmunidad vigila al virus, no al tumor.

LA INMUNOTERAPIA ROMPE LA AUTOTOLERANCIA

Dos estrategias de inmunoterapia antitumoral con monoclonales destacan por su efectividad: la pasiva (como el anti-

CD20) y la activa, que interfiere con la inhibición del linfocito T (como el anti-CTLA-4). La primera ha acreditado su enorme efectividad, por ejemplo, en linfomas, la segunda en cánceres para los que el arsenal terapéutico era aún escaso, como el melanoma. Pero en ambos casos se interfiere con la autotolerancia y se causa autoinmunidad, y en ninguno se identifica realmente al tumor, como predice la inmunovigilancia. Por ejemplo, el anti-CD20 identifica desde luego a los linfocitos tumorales, pero no por serlo, sino por ser linfocitos del linaje B. De hecho el tratamiento elimina tanto a los linfocitos tumorales como a los normales (Figura 3). Y otro detalle: nadie hace espontáneamente anti-CD20 por la sencilla razón de que es una proteína propia, y la autotolerancia lo impide. Se hace necesario, por tanto, recurrir a un ratón, que sí puede sintetizar anti-CD20 humano, con objeto de eliminar a las células tumorales humanas que resultan ser del linaje B. ¿Por

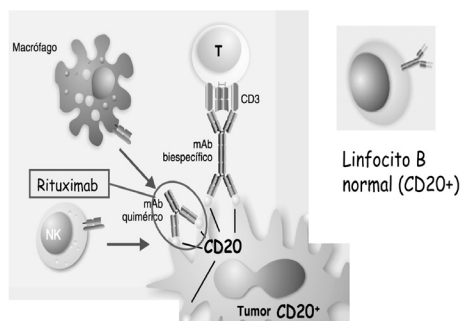


Figura 3. La inmunoterapia antitumoral pasiva con anti-CD20 (Rituximab, izquierda) no distingue el linfoma del linfocito B normal (derecha), ya que ambos son CD20+. ¿Por qué no hace anti-CD20 el paciente?

LA EVOLUCIÓN TUMORAL ES CIEGA

Los resultados más recientes de secuenciación masiva de células tumorales, aunque se trate del mismo tipo de tumor, del mismo individuo o de distintas zonas de una misma biopsia indican que las distintas células de un mismo tumor son todas diferentes y acumulan mutaciones sin control (12) (Figura 5 izquierda). De hecho más del 70% de las mutaciones son específicas de células concretas, y menos del 30% son comunes a varias células. Para que se pueda producir la inmunovigilancia, ha de coincidir que esas mutaciones ocurran en zona codificante (lo cual es en sí improbable ya que el exoma es minoritario), que alcancen el citosol para poder llegar al MHC de la membrana, que sean potencialmente presentables en dichas moléculas MHC, que esa presentación revista condiciones de coestimulación suficiente (que habitualmente sólo alcanzan

qué no se utiliza más este sistema? Porque son pocos los tumores que afectan a linajes celulares que pueden reponerse como los linfocitos B.

El caso del anti-CTLA-4 es aún más claro si cabe. CTLA-4 es un regulador negativo de la activación de los linfocitos T (Figura 4). Su uso en forma soluble induce inmunosupresión, lo cual es de utilidad en enfermedades auto- y aloinmunitarias. Su bloqueo con anticuerpos induce inmunoestimulación, lo que resulta en la reactivación de clones que en condiciones normales no habrían progresado. Esto resulta en un efecto antitumoral, pero también y simultáneamente en graves efectos adversos de origen inmunitario (10). Esto significa que el tratamiento, sin quitarle méritos, en realidad consiste en romper la autotolerancia.

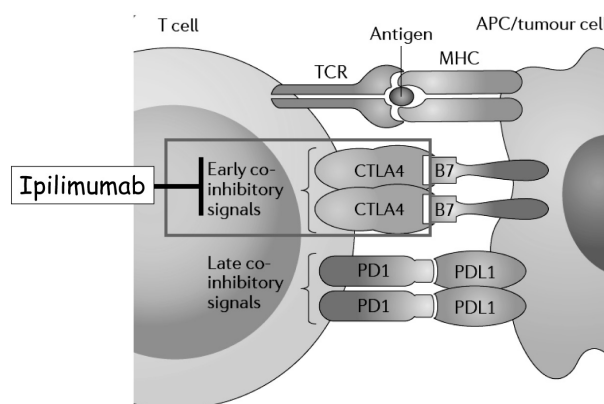


Figura 4. La inmunoterapia antitumoral activa con anti-CTLA-4 (Ipilimumab) bloquea la autotolerancia frente al tumor, pero también frente a otras células propias, por lo que causa autoinmunidad.

ciertos leucocitos como las células dendríticas) y que existan linfocitos T específicos de dichas combinaciones pMHC. Esto ocurre sin duda con cierta frecuencia, pero es más probable que no ocurra y el tumor entonces (o las células en las que no se den esas circunstancias) seguirá siendo invisible para la inmunidad adaptativa.

LA INMUNOEDICIÓN DE LOS TUMORES ES TAMBIÉN CIEGA, Y POTENCIA EL CÁNCER

En modelos murinos uno de los autores más reputados por sus aportaciones a favor de la inmunovigilancia es Robert D. Schreiber, que ahora sin embargo promueve el concepto de la inmunoección o cincelado del tumor por la inmunidad

adaptativa T (Figura 5 derecha). Dos artículos recientes abundan en esta idea. Uno de ellos utiliza tumores inducidos por metilcolantreno (6), el otro, tumores inducidos por lentivirus (2). En ambos casos se observa la inmunoselección T-dependiente de las células tumorales preexistentes que, por azar, tenían menor inmunogenicidad. Los tumores, sin embargo,

finalmente acababan con los ratones. Es decir, la inmunoedición no tiene efectos curativos, es más bien un epifenómeno en las condiciones de esos experimentos, sujeto al azar y por tanto sin objetivo alguno. El segundo trabajo demuestra además que la inmunogenicidad ni siquiera es una característica universal del desarrollo de tumores.



EVOLUCION TUMORAL



INMUNOEDICION TUMORAL

Figura 5. Las células tumorales mutan continuamente (izquierda) de manera impredecible. Si, por azar, aparecen variantes inmunogénicas, éstas pueden sufrir inmunoedición (derecha), pero ello no obsta para que el tumor siga creciendo, ya que nuevas variantes no inmunogénicas sustituyen a las primeras.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro trabajo de investigación en Inmunología ha sido financiado por la Fundación LAIR (2012/0070), el MICINN (SAF2011/24235), la CAM (S2011/BMD-2316), y el ISCIII (RD08-0075-0002).

REFERENCIAS

1. Al-Herz W, Bousfiha A, Casanova JL, et al. Primary immunodeficiency diseases: an update on the classification from the international union of immunological societies expert committee for primary immunodeficiency. *Front Immunol.* 2:54 (2011).
2. DuPage M, Mazumdar C, Schmidt LM, et al. Expression of tumour-specific antigens underlies cancer immunoediting. *Nature.* 2012;482(7385):405-9.
3. Grulich AE et al. Incidence of cancers in people with HIV/AIDS compared with immunosuppressed transplant recipients: a meta-analysis. *Lancet.* 2007; 370:59-67.
4. Hanahan D, Weinberg RA. The hallmarks of cancer. *Cell.* 2000, 100:57-70.
5. Hanahan D, Weinberg RA. Hallmarks of Cancer: the next generation. *Cell* 2011; 144, 646-74.
6. Matsushita H, Vesely MD, Koboldt DC, et al. Cancer exome analysis reveals a T-cell-dependent mechanism of cancer immunoediting. *Nature.* 2012; 482(7385):400-4.
7. Mougiakakos, D., Choudhury, A., Lladser, A., et al. (2010). Regulatory T cells in cancer. *Adv. Cancer Res.* 107, 57–117.
8. Pages, F., Galon, J., Dieu-Nosjean, M.C., et al (2010). Immune infiltration in human tumors: a prognostic factor that should not be ignored. *Oncogene* 29, 1093–1102.
9. Vajdic CM et al. Cancer incidence and risk factors after solid organ transplantation. *Int J Cancer.* 2009; 125:1747-54.
10. Weber JS, Köhler KC, Hauschild A. Management of immune-related adverse events and kinetics of response with ipilimumab. *J Clin Oncol.* 2012 Jul 20;30(21):2691-7.
11. Yang, L., Pang, Y., and Moses, H.L. (2010). TGF-beta and immune cells: an important regulatory axis in the tumor microenvironment and progression. *Trends Immunol.* 31, 220–227.
12. Xu X, Hou Y, Yin X, Bao L, et al. Single-cell exome sequencing reveals single-nucleotide mutation characteristics of a kidney tumor. *Cell.* 2012 Mar 2;148(5):886-95.

ACLIDINIO, NUEVA MOLÉCULA PARA EL TRATAMIENTO DE LA ENFERMEDAD PULMONAR OBSTRUCTIVA CRÓNICA (EPOC)

JOSÉ LUIS DÍAZ, XAVIER LLAURADÓ Y PERE BERGA

Almirall

Barcelona

DEFINICIÓN DE LA EPOC

Las guías GOLD (Iniciativa Global para la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica), son unas guías consensuadas por las sociedades médicas más importantes en el ámbito respiratorio que definen la EPOC como una: "enfermedad evitable y tratable, con algunos efectos extrapulmonares significativos que pueden contribuir a la gravedad de la condición de algunos pacientes".

Su componente pulmonar se caracteriza por una limitación del flujo aéreo, el cual no es completamente reversible. Dicha limitación del flujo aéreo es, generalmente, progresiva y se asocia con una respuesta inflamatoria anormal del pulmón a partículas o gases nocivos.

EPIDEMIOLOGÍA

Según la Organización Mundial de la Salud, 250 millones de personas en todo el mundo padecen la EPOC. En 2009 más de 5 millones de personas murieron por esta enfermedad, lo que supuso el 8% del total de las defunciones registradas en aquel año. Se estima que en España la padece el 10.2% de la población entre 40 y 80 años y representa el 2% del presupuesto sanitario anual.

La OMS pronostica que en el 2030 la EPOC será la causante del 7,8% de todas las muertes y del 27% de las muertes relacionadas con el tabaco, solo superada por el cáncer (33%) y por las enfermedades cardiovasculares (29%). Además de estas cifras de mortalidad se prevé que su prevalencia también aumente hasta bien entrado el siglo XXI debido a que hoy en día hay más personas que fuman que en cualquier otro momento de la historia de la humanidad y a que los cambios demográficos asociados al envejecimiento de la población favorecen el incremento de la prevalencia de la EPOC.

PATOLOGÍA

Los síntomas característicos de la EPOC incluyen disnea (falta de aire) crónica y progresiva, tos y producción de esputo, que se manifiestan sobretudo en relación al esfuerzo, pero que al avanzar la enfermedad se pueden hacer manifestas y continuas, incluso en reposo. Esta enfermedad afecta profundamente la calidad de vida del paciente y produce una gran discapacidad. Además, a pesar de que la EPOC es principalmente una enfermedad pulmonar, también presenta manifestaciones sistémicas significativas. Los pacientes con EPOC corren mayor riesgo de padecer enfermedades concomitantes como enfermedad cardiovascular, diabetes, atrofia muscular y osteoporosis.

ELECCIÓN DEL BRONCODILATADOR

La terapia depende de la disponibilidad y la respuesta individual en términos de mejora de los síntomas y la tolerabilidad. Los nervios parasimpáticos son la vía neuronal predominante en el origen de la broncoconstricción de las vías respiratorias, y el tono colinérgico es el principal componente reversible en la EPOC. Los mecanismos colinérgicos son también importantes en la regulación de la secreción de las glándulas submucosas, que se halla incrementada en la EPOC. Los nervios parasimpáticos ejercen su efecto broncoconstrictor y el incremento de la secreción de moco a través de la activación de los receptores muscarínicos en el músculo liso bronquial y las glándulas submucosas, respectivamente. El bloqueo de estos receptores muscarínicos con antagonistas de larga duración proporcionan un beneficio clínico en EPOC, regulando la secreción mucosa y reduciendo la contracción de la musculatura bronquial, minimizando con ello el uso de recursos sanitarios, y reduciendo el impacto que tiene la enfermedad sobre las instituciones sanitarias y la sociedad.

DIANA FARMACOLÓGICA

Los receptores M3, son los que median la contracción del músculo liso en el tracto respiratorio y la secreción de moco, por lo que son un objetivo importante para el alivio

sintomático de la EPOC. En consecuencia, en las vías respiratorias, la principal acción de los antagonistas muscarínicos es la broncodilatación y la reducción de la secreción de moco a través del bloqueo de los efectos de la acetilcolina liberada por sistema nervioso parasimpático.

LOS TRATAMIENTOS DISPONIBLES PARA

EL TRATAMIENTO DE LA EPOC

Desde los años 70 se han utilizado los fármacos antagonistas inhalados de corta duración para el tratamiento sintomático en pacientes con EPOC como primera línea de tratamiento y se conoce que son broncodilatores seguros y eficaces. Una limitación de estos agentes es la necesidad de una dosificación frecuente (que en algunos casos llega hasta a seis veces al día). En la actualidad existen cuatro broncodilatores de larga duración que están disponibles para los pacientes con EPOC; un antagonista muscarínico de acción prolongada (tiotropio), y tres β_2 -agonistas de larga duración (formoterol, salmeterol e indacaterol). La EPOC es, por tanto, no sólo una enfermedad con una alta prevalencia y con morbilidad y mortalidad significativas, sino también con limitadas opciones de tratamiento.

Es bien conocido que el tratamiento con antagonistas muscarínicos puede ocasionar efectos secundarios que dependen del nivel de exposición sistémica, y que el tratamiento con agonistas del receptor β_2 puede inducir efectos cardiovasculares indeseables.

PROCESO DE INVESTIGACIÓN DEL

PROGRAMA ANTIMUSCARÍNICO.

DE LA IDEA A LA INNOVACIÓN

En este contexto, en el año 1996, tras un minucioso análisis de las necesidades de los pacientes de EPOC, Almirall inició un programa de investigación basado en la búsqueda de un antagonista muscarínico específico de larga duración, que cumpliera una serie de premisas identificadas como necesidades médicas no cubiertas.

- Mejorar el control de los síntomas de la enfermedad desde el primer día de tratamiento, y asegurando un control de los síntomas a lo largo de 24 horas.
- Fármaco con bajos y transitorios niveles plasmáticos así como con un metabolismo 'limpio' que evite interacciones medicamentosas, para poder emplearlo en pacientes polimedicados.
- Desarrollar un dispositivo de inhalación para mayor comodidad de los pacientes y mejorar el cumplimiento en la toma de la medicación.

Para la obtención de un producto que cumpliera estas premisas básicas se decidió diseñar moléculas con propiedades antagonistas de los receptores muscarínicos con elevada afinidad y largo tiempo de residencia en los receptores M3, pero con una estructura susceptible de rápida hidrólisis plasmática y que cumpliera los requisitos para ser administrado con un inhalador de polvo seco y multi-dosis.

Es así como en febrero de 1999, se identificó un compuesto que cumplía con todos estos requisitos, denominado en aquel momento LAS 34273 (posteriormente bromuro de aclidinio), iniciándose su desarrollo preclínico, farmacéutico y clínico.

La molécula LAS 34273, representaba la culminación de tres años de investigación intensa a lo largo de cual Almirall aplicó por primera vez metodologías de síntesis química en paralelo, también conocidas como química combinatoria, que contribuyeron conjuntamente con la química clásica a la síntesis de alrededor de 1.200 nuevos compuestos. Todos estos compuestos fueron evaluados a través de una compleja cadena de ensayos biológicos y modelos preclínicos novedosos, destinada a la identificación de un potencial fármaco que mostrase los requerimientos necesarios para ser considerado como candidato a desarrollo.

SELECCIÓN DE ACLIDINIO Y PERFIL-

FARMACOBIOLOGICO

Aclidinio muestra afinidad potente y selectiva por los receptores muscarínicos humanos, mayor selectividad cinética por los receptores M3 que por los M2 y de larga duración de acción en modelos preclínicos. El receptor M3, como se ha mencionado anteriormente, es el subtipo de receptor clave a través del cual se producen los efectos terapéuticos relevantes de los antimuscarínicos: relajantes musculares y broncodilatores. En consecuencia, la vida media de residencia en el receptor M3 obtenida para aclidinio sugiere una larga duración de acción in vivo.

El hecho de que la residencia de aclidinio en el receptor M2 sea inferior que la que posee en el subtipo de receptor M3 es un fenómeno positivo ya que minimiza el potencial efecto taquicardizante de este compuesto con larga duración de acción broncodilatadora.

Una de las características más particulares y únicas del aclidinio es que a diferencia de otros antagonistas muscarínicos, como el tiotropio, el ipratropio o el glicopirrolato, aclidinio muestra una rápida hidrólisis en el plasma humano, lo que resulta en una exposición sistémica muy baja y transitoria.

El resultado de esta hidrólisis son dos metabolitos desprovistos de actividad, que se traduce en un perfil de seguridad excelente y similar al del placebo.

SELECCIÓN Y DISEÑO DEL DISPOSITIVO

GENUAIR

En el año 1999, y tras un amplio screening farmacológico, se seleccionó aclidinio para el tratamiento local de la EPOC en el pulmón de los pacientes, y por lo tanto se requería de un dispositivo de inhalación para su administración

Tecnología de inhalación de Almirall: Genuair

Con el objeto de diseñar un nuevo inhalador que cumpliera estos requisitos exigidos, en junio de 2006, Almirall incorporó a su estructura de I+D la empresa Sofotec (ubicada en Bad Homburg, Alemania) para ampliar las capacidades de desarrollo inhalatorio de la compañía. Los 40 años de experiencia de este grupo en el desarrollo de dispositivos de inhalación, junto con el trabajo realizado en el equipo de investigación del Centro de I+D de Sant Feliu, han sido las claves para el éxito del desarrollo de la tecnología de inhalación de Almirall. Dicha tecnología tiene como plataforma el inhalador Genuair (también llamado Pressair en los EE.UU.), un inhalador de polvo seco basado en un sistema de reservorio.

Genuair: Características



Chrystyn and Niederlaender, Int J Clin Pract 2012

Reproduced with permission of Elsevier

DESARROLLO CLÍNICO DE ACLIDINIO

Tras varios análisis en profundidad de los resultados de estudios clínicos exploratorios se llegó a la conclusión de la dosis y la pauta de administración de aclidinio para obtener su óptimo efecto.

Los estudios clínicos definitivos se iniciaron en el año 2009. El primero de ellos fue un pequeño estudio de Fase II, en el que se compararon aclidinio contra tiotropio y placebo en una selección de pacientes EPOC.

En este estudio, aclidinio (400 µg /12h) demostró un efecto broncodilatador a lo largo de 24 horas, que fue no sólo estadísticamente superior sino también clínicamente mayor al

del placebo. Además, el tratamiento con aclidinio dio lugar a una broncodilatación significativamente mayor que la del tiotropio desde el día 1 hasta el día 15 de tratamiento. Dichos resultados fueron vitales para confiar de nuevo en el potencial de aclidinio. Tras este estudio se iniciaron de nuevo las actividades clínicas destinadas al registro de la nueva dosis de aclidinio en el dispositivo, Genuair

Almirall y su colaborador norte-americano Forest Laboratories, se embarcaron de nuevo en un extenso programa de desarrollo clínico global para aclidinio 400 µg dos veces al día (BID), que se llevó a cabo en Europa, Norte América y Suráfrica, e incluía dos estudios de Fase II, tres estudios pivotaes de eficacia, tres estudios de seguridad a largo plazo de Fase III y cinco estudios complementarios.

Eficacia clínica de aclidinio

La eficacia preliminar de aclidinio BID se investigó en varios estudios de Fase II, lo cual permitió determinar su perfil broncodilatador, en relación con el del tiotropio y formoterol, dos broncodilatadores bien conocidos y ampliamente empleados en el tratamiento de la EPOC.

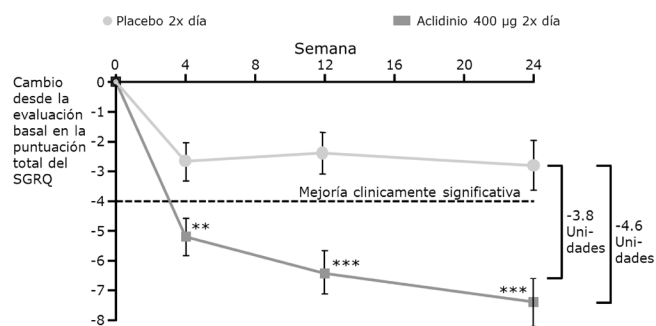
El programa pivotal confirmatorio de eficacia de Fase III constó de tres grandes estudios doble ciego, "aleatorizados", de grupos paralelos y controlados con placebo, los cuales evaluaron dos dosis de aclidinio, 400 µg y 200 µg administrados dos veces al día. Uno de dichos estudios (llevado a cabo en Europa y Sudáfrica) fue de 24 semanas de tratamiento y los otros dos (llevados a cabo en Estados Unidos de América y Canadá) de 12 semanas de tratamiento. Los diseños de los estudios y la población objetivo de todos ellos fueron similares. Además, tres estudios adicionales de hasta 52 semanas de duración aportaron más datos sobre la seguridad y eficacia mantenida a largo plazo.

Los resultados de todos los estudios clínicos llevados a cabo ofrecen evidencia de un perfil de producto que se puede resumir en los siguientes puntos:

■ **Broncodilatación:** El efecto principal y más inmediato y directo

Aclidinio 400 µg administrado cada 12 horas se asocia con efectos broncodilatadores clínicamente significativos que son evidentes a lo largo de todo el día. Dichos efectos, inician dentro de los 30 minutos tras la primera dosis. La broncodilatación máxima se alcanza dentro de las 3 horas después de la dosis y su efecto se mantiene durante todo el periodo de tratamiento.-Disnea

Un porcentaje estadísticamente mayor de pacientes tratados con 400 µg aclidinio BID tuvieron una mejoría clínicamente significativa en la dificultad para respirar en comparación con placebo.

ACLIDINO: Estado de salud

■ Síntomas diarios, síntomas nocturnos y síntomas matutinos

La administración de 400 µg/12h de acilidinio mostró mejoras estadísticamente significativas en los síntomas diarios como dificultad para respirar, síntomas torácicos, tos y esputo, en la producción nocturna de esputo y en los síntomas nocturnos y matutinos de falta de aliento y tos en relación al-placebo.

■ Control de las exacerbaciones agudas de la EPOC

Los estudios mostraron una reducción en la frecuencia de exacerbaciones (aproximadamente del 30%) con el acilidinio que fue estadísticamente significativa, independientemente del método utilizado para su determinación.

Perfil de seguridad:

La tolerabilidad del medicamento es un desafío particular para los pacientes con EPOC dado que regularmente experimentan comorbilidades y, por lo tanto, reciben medicamentos concomitantes a menudo. La incidencia general de eventos adversos fue similar en los grupos tratados con acilidinio y en el grupo tratado con placebo. Además, la incidencia de eventos adversos anticolinérgicos posibles individuales fue baja; no se reportó un evento en más del 1.1% de los pacientes tratados con 400 µg de acilidinio.

Además, no se observaron diferencias en los niveles de acilidinio en sangre ni en el perfil de eventos adversos en los pacientes de edad avanzada, ni tampoco en los pacientes con insuficiencia renal, en comparación con el de pacientes jóvenes y sanos.

Dado que acilidinio se metaboliza por escisión química y enzimática en el plasma, no es muy probable que la disfunción hepática altere su exposición sistémica.

Requerimientos regulatorios. Abordaje innovador en la presentación del Registro

Además de la complejidad científica y técnica de este desarrollo, otro aspecto del que nos sentimos muy orgullosos es

en la estrategia utilizada en la presentación del Registro a las Autoridades Sanitarias, consiguiendo que acilidinio fuera la primera molécula de origen español aprobada por el Proceso Centralizado.

Compilación del Dossier de Registro

La presentación del dossier de registro para obtener la autorización de comercialización de acilidinio ha sido la culminación de numerosos años de esfuerzo de multitud de personas que cubren todas las disciplinas contenidas en una empresa farmacéutica. El proceso de compilación de lo que se denomina "Dossier de Registro" o "Solicitud de Autorización de Comercialización" empezó con los resultados primarios de los estudios clínicos pivotales, unos seis meses antes de su presentación a las Autoridades

Sin embargo, durante todos los años anteriores, y especialmente durante la fase de desarrollo, ha sido necesario pensar que el objetivo último es obtener la autorización para poder comercializar acilidinio y, por tanto, hubo que tener en cuenta los intereses de las diferentes partes involucradas, así como las necesidades de las áreas de marketing y comerciales, considerando las limitaciones impuestas por normativas vigentes y los requerimientos de las autoridades sanitarias. Por lo tanto, el contenido del dossier de registro refleja el fruto de innumerables estrategias, reuniones con autoridades sanitarias, informes y resúmenes que en conjunto justifican el Beneficio/Riesgo del producto.

Durante el desarrollo de acilidinio se elaboraron informes de todos los estudios realizados por las diferentes disciplinas (químico-farmacéuticos, no-clínicos y clínicos) representando más de 1.200 documentos.-En el momento de empezar a compilar el dossier de registro se elaboraron los denominados "Resúmenes" de todos estos datos.-Estos documentos son extremadamente importantes dado que es lo primero que leen los evaluadores de los medicamentos. Estos resúmenes tienen que ser interesantes de lectura y comprensión y deben discutir de una forma relativamente crítica sobre el beneficio y riesgo del producto.

Estos resúmenes representan en el caso de acilidinio aproximadamente 4000 páginas de documentación.

Un documento crítico es la Ficha Técnica, que resume en pocas páginas los aspectos más relevantes del producto, y es la base de lo que se podrá comunicar a la comunidad médica. Cada una de las frases en este documento ha sido fruto de innumerables discusiones tanto a nivel del Equipo de Proyecto, como en los Comités ejecutivos de la compañía.

En el pasado, la compilación se realizaba en papel y actualmente en el formato electrónico denominado "Electronic Common Technical Dossier" (e-CTD) siguiendo una guía regulatoria que tiene más de 200 páginas, El eCTD de acilidinio

nium tiene más de 11.500 hipervínculos que en el proceso de Control de Calidad tienen que funcionar al 100%.

Asimismo, cabe recalcar que no estamos hablando de ordenar dos o tres mil páginas sino de ordenar en el caso de aclidinio un total de 480.000 páginas que en formato electrónico han supuesto unos 4 Gygabites de información.

Una vez hecho todo lo anterior el e-CTD fue remitido vía mensajero en DVDs a la Agencia Europea del Medicamento, a los Rapporteurs (Países Evaluadores que en el caso de aclidinio fueron Gran Bretaña y Polonia) y a todas las Agencias de evaluación de medicamentos que forman parte de la Unión Europea. En este momento empezó el proceso de evaluación del ratio Beneficio/Riesgo del medicamento para su autorización de comercialización. En el caso de los Estados Unidos el e-CTD se remitió a la FDA donde se siguió un proceso de evaluación específico y completamente independiente del de la Unión Europea.

CONCLUSIONES

■ Aclidinio es una nueva molécula diseñada, investigada y desarrollada por Almirall, para el tratamiento de pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). Aclidinio es un compuesto de acción prolongada, perteneciente a una familia de moléculas conocidas como “antagonistas de larga duración de los receptores muscarínicos” (LAMA), que se administra dos veces al día a través de un novedoso inhalador de polvo seco, desarrollado también por Almirall llamado (Genuair).

■ Los estudios preclínicos han demostrado que aclidinio es un antagonista potente y competitivo de los receptores M3 sobre los de tipo M2. Aclidinio tiene una larga residencia en los receptores M3 y los resultados de los estudios preclínicos y clínicos primarios en sujetos sanos indican que el aclidinio proporciona una protección duradera contra la broncoconstricción. Esto ha sido confirmado durante todo el completo desarrollo clínico con pacientes de EPOC moderada a grave, demostrando que produce broncodilatación sostenida a lo largo del tratamiento, así como una importante mejora en la calidad de vida de los pacientes. En el plasma humano, el aclidinio se hidroliza rápidamente en dos metabolitos inactivos principales. La exposición sistémica de aclidinio es muy baja y transitoria, hecho muy consistente con un excelente perfil de tolerabilidad,

■ El 20 de julio del 2012 la Comisión Europea autorizó oficialmente la comercialización de aclidinio en Europa con las marcas Eklira y Bretaris y el 23 de julio hizo lo mismo la FDA para los EEUU, con la marca Tudorza.

La autorización de aclidinio en Europa representa la primera Nueva Entidad Química de origen español autorizada

por la vía centralizada y en Estados Unidos representa la segunda NCE autorizada por un laboratorio español (la primera fue almotriptan un producto para la migraña también descubierto y desarrollado por Almirall). ■

BIBLIOGRAFIA

1. Abrams P, Andersson KE, Buccafusco JJ et al. Muscarinic receptors: Their distribution and function in body systems, and the implications for treating overactive bladder. *Br J Pharmacol* 2006; 148(5): 565-78.
2. Beleta J, Discovery of Aclidinium bromide: A New Long-Acting Muscarinic Antagonist for COPD. Emerging therapies for respiratory disorders. Society for Medicines Research. 11th September 2007. Hinxton Hall, Cambridge.
3. Dahl MJ, Vestebø J, Lange P, Bojesen SE, Tybjaerg-Hansen A, Nordestgaard BG. C-reactive protein as a predictor of prognosis in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 2007; 175:250-255.
4. Gavalda A, Miralpeix M, Ramos I, et al. Characterization of aclidinium bromide, a novel inhaled muscarinic antagonist, with long duration of action and a favorable pharmacological profile. *J Pharmacol Exp Ther* 2009; 331(2):740-51.
5. Gavalda A., Garcia-Gil E. Aclidinium bromide, a novel long-acting muscarinic antagonist. *PROGRESS IN RESPIRATORY RESEARCH Vol. 39: New Drugs and Targets for Asthma and COPD*, S. Karger AG, 33-38, 2010.
6. Hegde SS. Muscarinic receptors in the bladder: From basic research to therapeutics. *Br J Pharmacol* 2006, 147(Suppl. 2): S80-7
7. Jansat JM, Lamarca R, Garcia Gil E, et al. Safety and pharmacokinetics of single doses of aclidinium bromide, a novel long-acting, inhaled antimuscarinic, in healthy subjects. *Int J Clin Pharmacol Ther* 2009a; 47:460-8.
8. Jansat JM, Lamarca R, de Miquel G, et al. Safety and pharmacokinetics of multiple doses of aclidinium bromide, a novel long-acting muscarinic antagonist for the treatment of chronic obstructive pulmonary disease, in healthy participants. *J Clin Pharmacol* 2009b; 49:1239-46.
9. Jones PW, Rennard SI, Agusti A, et al. Efficacy and safety of once-daily aclidinium in chronic obstructive pulmonary disease. *Respir Res* 2011;26:55-DOI: 10.1186/1465-9921-12-55.
10. Maclay JD, McAllister DA, MacNee W. Cardiovascular risk in chronic obstructive pulmonary disease. *Respirology*. 2007; 12:634-641.
11. Miralpeix M, Carreño C, Otaño R et al. The inhaled anticholinergic agent, aclidinium bromide, reverses cholinergic-induced bronchoconstriction in guinea pigs with a fast onset of action and a long duration of effect. *European Respiratory Society Annual Congress*, Berlin, 04-08 October 2008.
12. Sentellas S, Ramos I, Alberti J, et al. Aclidinium bromide, a new, long-acting, inhaled muscarinic antagonist: in vitro plasma inactivation and pharmacological activity of its main metabolites. *Eur J Pharm Sci* 2010; 39:283-90.
13. Wess J, Eglen RM, and Gautam D (2007) Muscarinic acetylcholine receptors: mutant mice provide new insights for drug development. *Nat Rev Drug Discov* 6:721-733.

Avances en biotecnología del polen ayudarán a obtener variedades agrícolas mejoradas en tiempos records

PILAR S. TESTILLANO

Investigadora Científica del CSIC en el CIB

Presidente del congreso 'Pollen 2013'

Más de 150 expertos se dieron cita en la sede del CSIC en Madrid en el congreso internacional 'Pollen 2013'

El polen, organismo microscópico cuya misión fundamental en la naturaleza es la fertilización de las plantas con flores para formar semillas y frutos, es también una potente herramienta en investigación en áreas tan diversas como la biotecnología agraria y forestal, la salud, el medioambiente, la evolución climática, la paleogeografía, o la certificación alimentaria. Los últimos hallazgos en investigación del polen se han presentado recientemente en Madrid en el congreso internacional 'Pollen 2013', celebrado del 17 al 20 de septiembre en la sede central del CSIC, donde más de 150 expertos de todo el mundo han debatido sobre los últimos avances en biotecnología del polen aplicados a mejora agrícola, los registros de polen fósil para predecir la evolución del clima, el declive de los polinizadores naturales y sus consecuencias para la productividad agrícola o los alérgenos del aire y su impacto en la salud y el medioambiente, entre otros temas.

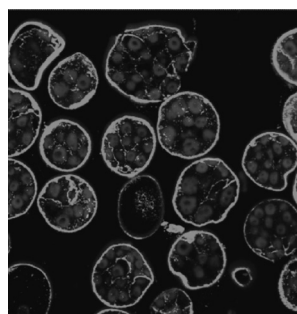
El encuentro, bajo el lema *Pollen Biotechnology, Diversity and Function in a Changing Environment*, ha sido organizado por las investigadoras del Centro de Investigaciones Biológicas del CSIC, Pilar S. Testillano (Presidente del Comité Organizador) y M^a Carmen Risueño, y la profesora de la Facultad de Farmacia de la Universidad Complutense Cristina Pardo. Promovido por las Asociaciones de Palinólogos Española (APLE) y Francesa (APLF), el congreso reunió a expertos de 15 nacionalidades y de cuatro continentes, con una importante participación europea.

La reprogramación del polen *in vitro* permite obtener rápidamente nuevas líneas isogénicas acortando la duración de los programas de mejora y la producción de nuevas variedades agrícolas

El polen inmaduro o microspora, por efecto de un tratamiento de estrés *in vitro*, puede reprogramarse para que abandone su programa de desarrollo gametofítico y se desvíe hacia la ruta de embriogénesis originando un embrión haploide que regenerará plantas doble-haploides. Este sistema denominado embriogénesis del polen es una potente herramienta

biotecnológica en mejora vegetal para generación rápida de líneas isogénicas y nuevas variedades mediante la obtención de plantas doble-haploides. Este proceso, de gran interés tanto en plantas herbáceas como leñosas ya que acorta el ciclo reproductor de propagación de plantas mejoradas, está siendo cada vez más utilizado por compañías de semillas y viverísticas en sus programas de mejora, pero todavía presenta una eficiencia muy baja en algunas especies de interés económico e incluso en otras no puede inducirse.

La investigación en este campo se centra en la comprensión de los mecanismos que regulan la reprogramación celular y la adquisición de competencia embriogénica mediante estrés. Los últimos hallazgos, presentados en el congreso 'Pollen 2013', han identificado algunos genes y procesos implicados, así como la intervención de mecanismos epigenéticos y el efecto de factores endógenos y exógenos estimuladores de la inducción embriogénica. En el encuentro se presentaron avances importantes en la inducción de embriogénesis de polen en variedades comerciales de cítricos (mandarino y naranja roja), cultivos hortícolas y alcornoque. Los nuevos datos permitirán optimizar la eficiencia del proceso en otras plantas de interés económico, además de sentar las bases para el diseño de futuras estrategias de transformación, permitiendo explotar el proceso de una forma más productiva y sin las limitaciones actuales en cultivos de interés para la industria agroalimentaria y forestal, especialmente para empresas que emplean la tecnología de los doble-haploides, contribuyendo a dirigir sus actuaciones de forma más eficaz en especies de interés económico.



Pólenes reprogramados a embriogénesis en cebada (Grupo de Biotecnología del Polen de Plantas Cultivadas del CIB-CSIC, dirigido por Pilar S. Testillano).

El polen, herramienta insustituible para modelos de predicción de la evolución del clima

La cubierta o pared que rodea el grano de polen tiene una arquitectura muy compleja y característica de cada especie

vegetal, constituyendo un marcador inequívoco de la planta que lo ha generado. Esta propiedad se ha usado clásicamente para estudios de clasificación botánica, empleando la estructura de la pared del polen como carácter sistemático que define familias y especies de plantas. Además, esta pared del polen es muy resistente a procesos degradativos lo cual ha permitido que el polen de épocas geológicas pasadas haya dejado huellas fósiles en sedimentos marinos y terrestres.

La investigación en paleopalinología ha tenido un fuerte impulso en los últimos tiempos con el desarrollo de nuevas técnicas de prospección y análisis de marcadores geológicos y climáticos o “proxis”. Los últimos registros de polen fósil en sedimentos han permitido identificar la vegetación presente en épocas geológicas pasadas en regiones geográficas concretas y sus cambios y dinámica con el tiempo. Estos cambios de paisaje y vegetación están en íntima relación con los cambios climáticos hasta ahora desconocidos que afectaron a esas regiones en el pasado. Estos datos están permitiendo en la actualidad el desarrollo de nuevos modelos de predicción de la evolución del clima presente y futuro. También los registros de palinomorfos fósiles oceánicos procedentes de organismos que formaban el plancton marino han permitido elaborar modelos sobre la evolución de la temperatura o el contenido en dióxido de carbono en los océanos en distintas edades geológicas, aportando datos esenciales para el análisis de la evolución actual y futura del medioambiente.

Estudios recientes revelan un grave descenso de polinizadores naturales que está afectando a la producción agrícola y al sector apícola

Las abejas son los polinizadores naturales más importantes en la mayor parte de los cultivos agrícolas a nivel mundial. Los datos revelan que el 68% de las 57 especies cultivadas que proporcionan cerca del 95% de productos para alimentación humana y animal se benefician de insectos polinizadores. En los últimos años se ha identificado un grave descenso tanto en la densidad y número como en la biodiversidad de las poblaciones de abejas, lo que ya ha empezado a afectar a la productividad agrícola mundial y al medio ambiente,



Abeja polinizadora sobre una flor.

con un impacto creciente. Por otra parte, se ha detectado un drástico descenso en las colonias de abejas melíferas en todo el mundo debido fundamentalmente a efectos de patógenos y

pesticidas sobre las colonias y a la severa mortalidad durante el invierno. Datos recientes han revelado que la primera causa del descenso de las colonias en áreas apícolas españolas es la infección natural con un patógeno emergente en abejas, *Nosema ceranae*, un microsporidio. Estos datos se están utilizando para elaborar estrategias de control del descenso de abejas tanto a nivel europeo como regional y reducir su impacto en los sectores agrícola y apícola, así como en medioambiente.

Avances en bioinformática y análisis de imagen para identificación automática de polen

La búsqueda de sistemas informáticos que permitan la identificación automática de imágenes de polen para clasificación de muestras de polen aéreo o de mieles está siendo objeto de gran interés en los últimos años. Los registros de partículas aéreas y la identificación de especies alergénicas de polen son esenciales en las predicciones de alertas sanitarias y se emplean en los análisis poblacionales de alergias al polen de determinadas plantas. Por otra parte, en la certificación y denominación de origen de mieles es esencial la identificación inequívoca de las plantas cuyas flores visitan las abejas y que dan las propiedades específicas a las mieles de distintos orígenes. Esta identificación de la especie de polen presente en una muestra heterogénea con pólenes de múltiples plantas se basa en la captura de imágenes al microscopio y su clasificación por características estructurales (forma, tamaño, relieve, contorno, densidad, etc...) que son específicas de la especie vegetal de la que procede el polen.

Los últimos avances en bioinformática y sistemas de aprendizaje automático o “machine learning” están siendo aplicados en el desarrollo de programas de análisis de imagen específicos para identificación, clasificación y cuantificación de imágenes de polen. Los últimos avances y datos generados por estos modernos abordajes se presentaron y discutieron en el Workshop dedicado a nuevas metodologías, dentro del congreso ‘Pollen 2013’ celebrado en Madrid.



Sesión de clausura del congreso ‘Pollen 2013’.

“PLANTéatelo: la Ciencia es divertida”, una iniciativa para fomentar las vocaciones científicas en la escuela

LUIS A. CAÑAS¹ Y JUAN CARBONELL²

¹ Investigador Científico del CSIC.

Vicedirector de Cultura Científica del IBMCP.

lcanas@ibmcp.upv.es

² Profesor de Investigación del CSIC.

Miembro de la Comisión de Divulgación Científica del IBMCP.

jcarbon@ibmcp.upv.es

INSTITUTO DE BIOLOGÍA MOLECULAR Y CELULAR DE PLANTAS (CSIC-UPV). CIUDAD POLITÉCNICA DE LA INNOVACIÓN, EDE. 8E. AVDA. INGENIERO FAUSTO ELIO SN. 46022, VALENCIA.

RESUMEN

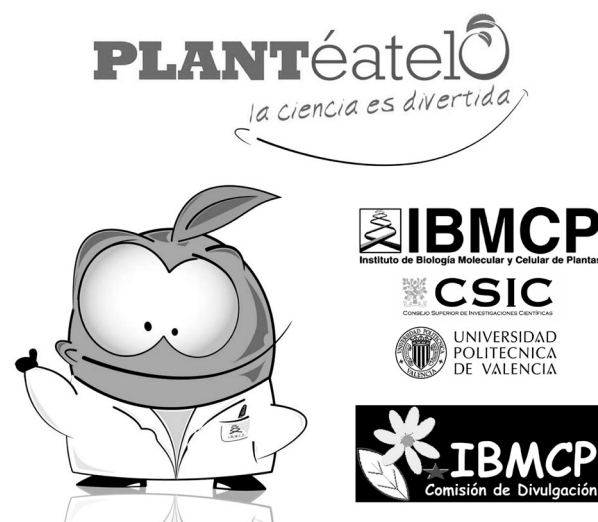
“PLANTéatelo: la Ciencia es divertida” nació con el objetivo de ofrecer a maestros de educación primaria y profesores de secundaria la posibilidad de realizar prácticas de laboratorio de Biología Vegetal que les sirvieran para introducir de forma rápida y sencilla a sus alumnos en el método científico. Esta actividad fue financiada por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) durante su primer año. La inesperada alta demanda de participación y los alentadores resultados obtenidos en la evaluación de la actividad por parte de los profesores asistentes y sus alumnos, nos animó a repetir la experiencia con el apoyo financiero fue de la Federación Española de Biotecnólogos (FEBiotec) obteniendo idéntico éxito de participación.

La actividad consistió en el diseño y realización de una serie de ejercicios prácticos presenciales en los laboratorios del Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas (CSIC-UPV) por parte de los miembros de la Comisión de Divulgación Científica (Talleres de prácticas). Las prácticas que planteamos estaban dirigidas a responder una serie de interesantes cuestiones sobre la Biología de las Plantas: ¿por qué son verdes las plantas?, ¿cómo se forma un tomate?, ¿tienen ADN los plátanos?, ¿pueden tener hijos las patatas?, etc. Se trataba de conseguir un mejor conocimiento de la Biología de las plantas a través de experimentos sencillos basados en la utilización de materiales baratos y de uso cotidiano.

Como material de apoyo a esta actividad se diseñó y entregó un manual con la descripción del procedimiento para la realización de cada práctica, material audiovisual con videos de las prácticas y un kit con todo el material necesario para la realización de los experimentos con unos 60 alumnos

en sus respectivos Centros Educativos. Todo el material de laboratorio entregado era reutilizable, y el material vegetal podía conseguirse fácilmente en el entorno escolar o casero. La mayoría de los reactivos utilizados son productos de uso cotidiano (alcohol, sal, zumo de piña, lavavajillas, betadine, etc.) muy asequibles para los Centros Educativos.

Finalmente el material divulgativo (manual y videos de las prácticas) se alojó en una página web para que los profesores interesados puedan tener acceso al mismo de forma gratuita en cualquier momento y lugar.



INTRODUCCIÓN

Las plantas constituyen la fuente más importante de oxígeno de la atmósfera terrestre, por lo que su presencia en la Biosfera es imprescindible para el mantenimiento de las condiciones actuales de vida en nuestro planeta. También son fuente de alimento para gran número de seres vivos y de materias primas tan diversas como fibras, madera, compuestos químicos, etc., que son utilizados como tejidos, materiales de construcción, fuente de energía, medicinas, etc. La comprensión de su anatomía y fisiología ha avanzado rápidamente en las últimas décadas con la introducción de abordajes bioquímicos y moleculares que han permitido un gran avance en el

conocimiento de procesos tan fundamentales como el control de su crecimiento y desarrollo, la fotosíntesis, la fijación del nitrógeno, la respuesta a condiciones adversas, etc.

En la base de cualquier avance científico y tecnológico existe siempre un principio de curiosidad por saber, por lo que el fomento de la curiosidad se ha de hacer en edades tempranas para que los niños se planteen preguntas y aprendan a responderlas con estrategias adecuadas. Con todas estas premisas, en el Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas (IBMCP) “Eduardo Primo Yúfera”, Centro Mixto de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), además de acometer nuestros principales objetivos, la investigación y la docencia a nivel superior, nos planteamos hace tiempo contribuir a la divulgación de nuestras actividades científicas y crear elementos de apoyo a niveles tempranos de la educación mediante la creación de una Comisión de Divulgación Científica. Esta comisión se ocupa de coordinar la difusión de los trabajos que se realizan en el Instituto a los distintos sectores sociales mediante la organización de jornadas científicas, conferencias divulgativas, visitas guiadas a sus instalaciones y otras actividades como la que aquí referimos. La importancia de su labor divulgativa ha sido reconocida durante los últimos años, habiéndose creado en el IBMCP una Vicedirección de Cultura Científica para coordinar todas sus actividades.

El objetivo a largo plazo del IBMCP es generar conocimientos que permitan el desarrollo de una agricultura menos agresiva con el entorno mediante la obtención de plantas con una mejor productividad, calidad de fruto o más resistentes a enfermedades y a entornos ambientales desfavorables. La actividad divulgativa se enmarca dentro de este objetivo y pretende dar una visión amplia sobre el funcionamiento de las plantas para motivar desde un nivel elemental el estudio del mundo vegetal.

“PLANTéatelo: la Ciencia es divertida”, un proyecto divulgativo para fomentar las vocaciones científicas en la escuela

Esta actividad divulgativa comenzó a realizarse en el IBMCP hace tres años financiada inicialmente por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT; FCT-11-1578) y, posteriormente, por la Federación Española de Biotecnólogos (FEBiotec). En esta acción se contempló el diseño y realización de un total de 14 prácticas de Biología Vegetal con 3 niveles de dificultad (bajo, medio y alto), 7 de ellas aplicables al nivel de Primaria y 7 al de Secundaria (ESO). Con todas ellas se elaboró un Manual de Prácticas. La primera edición de este Manual se editó con ISBN: 978-84-695-1524-2 (Depósito legal: V-141-2012). Las prácticas se diseñaron de forma sencilla para ser abordables con materiales domésticos y cotidianos teniendo en cuenta los escasos medios existentes en

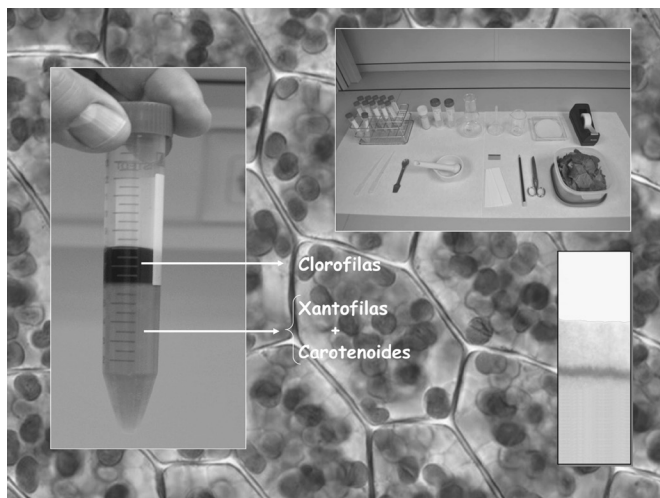
los Centros Públicos de Enseñanza. Por ejemplo, para extraer el ADN de un plátano se utiliza un mortero, sal, lavavajillas, zumo de piña, alcohol, etc. Algunos materiales más difíciles de conseguir por el profesorado se suministrarían en un kit de prácticas. Todos los pasos de cada práctica fueron filmados en video paso a paso mediante una colaboración con el Instituto de Ciencias de la Educación de la Universidad Politécnica de Valencia (<http://www.upv.es/entidades/ICE>) y quedaron grabados en un vídeo demostrativo que se alojó en una memoria USB de 2Gb. Del Manual de Prácticas y del USB se entregó un ejemplar a cada profesor que asistió a los Talleres. Para que los profesores interesados que no pudieron asistir tuvieran acceso a toda la información se depositó una copia del manual en pdf y el conjunto de los vídeos en la página web de la actividad (<http://www.planteatelo.es/manual-de-practicas>). Estos materiales también están disponibles en la página web del IBMCP>Actividades-Divulgación (<http://ibmcp.upv.es>) y en YouTube (<http://www.youtube.com/PLANTeateIoIBMCP>).

Por último, se elaboró el kit de prácticas que contenía todos los materiales necesarios para realizarlas con los alumnos incluyendo todo el material de laboratorio de plástico, y algunos reactivos, semillas y preparaciones de tejidos vegetales para microscopio, de difícil adquisición, y necesarios en alguna de las prácticas.

El título de cada práctica planteaba una pregunta o un enunciado relacionado con aspectos concretos del desarrollo, fisiología, anatomía o genética de las plantas. La realización de la práctica debería conducir a tomar datos relevantes para obtener una respuesta y/o algunas conclusiones.



- P1. ¿Cómo se forma un tomate? (ciclo de vida de una planta, reproducción sexual).
- P2. ¿Por qué son verdes las plantas? (estudio de la clorofila y pigmentos fotosintéticos).
- P3. ¿Pueden tener hijos las patatas? (reproducción asexual en plantas).
- P4. El increíble mundo interior de las plantas (estructura de órganos y tejidos vegetales)
- P5. ¿Las plantas tienen venas? (estudio de los vasos conductores de las plantas).
- P6. Las plantas y la Hidra de 7 cabezas (modificación del crecimiento en plantas)
- P7. Cómo alargar la vida de las flores cortadas (concepto de senescencia en plantas).
- P8. Persiguiendo la luz sin piernas (concepto de fototropismo en plantas).
- P9. La col chivata (utilización de pigmentos naturales como indicadores de pH).
- P10. ¿Tienen ADN los plátanos? (extracción y observación del ADN de una planta).
- P11. ¿Tienen ojos las plantas? (concepto de fotorreceptores y fotomorfogénesis).
- P12. ¿Cómo crecen las plantas? (fitohormonas reguladoras del crecimiento).
- P13. Pintando con plantas (estudio de las fases de la fotosíntesis).
- P14. ¿Se puede cultivar un huerto en un tarro? (introducción al cultivo in vitro de plantas).



¿Eres profesor de PRIMARIA o SECUNDARIA?

¿Quieres hacer prácticas de laboratorio con tus alumnos?

¿No dispones de medios para realizarlas?

¿No sabes exactamente cómo empezar?

¡Nosotros te ayudamos!

PLANTéatelo
la ciencia es divertida

Informate:
www.planteatelo.es
envíanos tu inscripción a:
cdiulga@ibmcp.upv.es

Organiza:
IBMCP

Financia:
FECYT

Colabora:
CSIC

Financiado por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología - Ministerio de Ciencia e Innovación

Divulgación de las actividades y realización de los Talleres de Prácticas para profesores

El inicio de esta actividad tuvo lugar en el mes de noviembre de 2011. Se organizaron 4 Talleres, dos dirigidos a Maestros de Enseñanza Primaria y dos a Profesores de Enseñanza Secundaria. También se elaboró y se puso en marcha una página web del proyecto "PLANTéatelo: la Ciencia es divertida" (<http://www.planteatelo.es>). En ella publicitamos las distintas actividades que se iban a realizar y se habilitó una zona para la solicitud de admisión. En paralelo, se elaboraron sendos carteles y folletos informativos, que fueron enviados por correo a 1200 Centros Educativos de la Provincia de Valencia. La inscripción se realizó mediante el envío por correo electrónico a la dirección cdiulga@ibmcp.upv.es de la correspondiente hoja de inscripción que se podía descargar de la página web de la acción. Recibimos un total de 312 inscripciones de profesores tanto de Primaria como de Secundaria para los Talleres de Prácticas. Tuvimos que seleccionar un total de 60 profesores (30 de Primaria y 30 de Secundaria) utilizando criterios de orden de inscripción, de admitir un solo profesor por Centro y de que la muestra de profesores fuera lo más representativa posible de toda la provincia de Valencia.

Los Talleres de Prácticas tuvieron lugar los días 18 y 19 de Enero de 2012 para profesores de enseñanza primaria y los días 25 y 26 de enero de 2012 para los de secundaria de 16:00 a 20:00h en los laboratorios del IBMCP. Los programas de ambos talleres están disponibles en la página web de la acción (<http://www.planteatelo.es/noticias>). En dichos Talleres se

realizaron demostraciones de cada una de las prácticas paso a paso por parte del equipo de investigadores participantes en la acción. Al finalizar los Talleres se hizo entrega a los profesores del Manual de Prácticas, el USB con los vídeos y una caja que contenía el kit con el material necesario para realizar las prácticas con sus alumnos.



EVALUACIÓN DEL ÉXITO DE LA ACTIVIDAD

Con objeto de que los profesores participantes evaluaran las distintas actividades realizadas y la utilidad del material didáctico entregado, se colocaron en la página web del proyecto (<http://www.planteatelo.es/encuesta>) dos encuestas de valoración. Una para contestar tras finalizar los Talleres en Enero, sobre el grado de satisfacción de los profesores respecto a la organización de la actividad, la utilidad del material elaborado y el programa de los Talleres, y otra para contestar unos meses después para evaluar el número de prácticas realizadas en los Centros y la acogida de las prácticas por parte de sus alumnos (Mayo-Junio).

Información previa sobre la formación de los profesores

La titulación de la mayoría de los profesores seleccionados era Licenciado en Biología (21), de los cuales 2 tenían además otra titulación (Psicología o profesor de EGB) y Maestros/Profesores de Primaria/EGB (15) de los que 3 tenían otra titulación (Biología, Geografía, Psicología). Psicología 3 (2 con otra titulación) y 1 de las siguientes titulaciones: Farmacia, Filosofía y C. Educación, Físicas y Pedagogía). 28 de los participantes eran mujeres y 11 hombres (1 respuesta en blanco). 20 no conocían anteriormente el IBMCP, 17 sí y 3 no respondieron. Sólo 6 habían visitado la página web, 36 no la conocían y 4 sin respuesta. El número variable de respuestas podría deberse en parte a un mal funcionamiento en la introducción de las respuestas.

Valoración de diferentes apartados (míni 1 – máx 5)	Valor medio	Desviación	Mínimo	Máximo
La valoración global (34 respuestas)	4,8	0,4	4	5
Anuncio de la actividad (39 resp.)	3,8	0,8	2	5
Contenido y planteamiento (40 resp.)	4,5	0,6	3	5
Explicación y realización (25 resp.)	5,0	0,0	5	5
Información en el manual (39 resp.)	4,6	0,6	3	5
Información en el vídeo (39 resp.)	4,7	0,5	3	5
La atención de los investigadores (39 resp.)	4,9	0,3	4	5

Lo que más ha gustado (39 respuestas) es el material suministrado (11) la aplicabilidad, sencillez o facilidad de las prácticas (10), la iniciativa y planteamiento didáctico o práctico (9), el desarrollo y las explicaciones claras o sencillas (5), el interés la ilusión o disponibilidad mostrados por los investigadores (5) y "todo" (4). En particular han gustado las prácticas con el tomate MicroTom (1) y la de "pintando con plantas" (1).

Lo que menos ha gustado (30 respuestas), "nada, todo bien" (11), el programa es demasiado denso o intensivo (10), no poder tener participación en la realización de las prácticas (5), el horario de tarde y/o estar de pie (4), el que hubiera habido pocas plazas (2), que sólo se hayan difundido en castellano (1) y dificultad para rellenar la encuesta en el ordenador (1).

Entre las observaciones, opiniones y sugerencias a la organización y desarrollo de las prácticas (27 respuestas) se propone repetir la actividad añadiendo nuevas prácticas (5), editar el material en valenciano (4), una valoración positiva de la organización de la sesión (4), el interés que supone para iniciar a los alumnos en el método científico (3), la poca disponibilidad de plazas (2), aunque compensada por la difusión de todo el contenido en la web (1). Con una mención, la dificultad de trasladar las prácticas a grupos grandes en los centros, poder realizar las actividades y no sólo verlas, hacer un mayor hincapié para bachillerato en los fundamentos teóricos, una mayor adaptación al vocabulario de primaria, desdoblarse el tiempo para poder realizar alguna práctica y la valoración positiva de haber podido compartir una tarde con un grupo de científicos, haber aprendido vocabulario para utilizar con los niños y la recepción de material para poder realizar completamente las prácticas.

En cuanto a la segunda encuesta para valorar el número de prácticas realizadas por los profesores en sus Centros y la acogida de las prácticas por parte de sus alumnos, la mayoría de los profesores realizaron una media de 5-6 prácticas con sus alumnos y la acogida de las actividades fue, como cabía esperar, muy positiva (9 sobre 10). Los profesores valoraron muy positivamente la utilidad del kit que les suministramos y la reutilización de dicho material para los cursos venideros. También realizamos un concurso entre los alumnos de los Centros participantes para premiar las dos mejores presentaciones en Power Point sobre las prácticas realizadas por ellos. Los cinco alumnos ganadores pasaron una jornada completa visitando el IBMCP y participando en algunos experimentos.

Por último, el número de descargas del material didáctico (manual, videos) colocado en nuestra web ha sido relativamente elevado en España (1700) y también ha sido visitada desde otros países sobre todo de habla hispana (más de 40 en México y Argentina, entre 10 y 20 en Chile, Colombia, Perú, Estados Unidos, Venezuela, Francia, Puerto Rico y Alemania, hasta un total de 30 países. Las visitas a los vídeos en YouTube alcanza el valor de 28098, siendo en México de 6591, España 3993 y Argentina 3252, los primeros en número de

visitas. Entre 1000 y 3000 están Perú, Colombia, Colombia y Chile y entre 100 y 1000, Ecuador, Estados Unidos, Uruguay, Venezuela, Brasil, Costa Rica, Guatemala, El Salvador, Honduras, Panamá, Bolivia y Paraguay. Destaca pues una especial repercusión de la actividad en los países de habla hispana.

De los resultados expuestos anteriormente se deduce la buena acogida de nuestra iniciativa y que este tipo de actividades tienen una respuesta muy positiva por parte del profesorado que valora por un lado el esfuerzo realizado por nuestro equipo para la preparación del material didáctico, así como la previsible repercusión sobre sus alumnos al fomentar su interés por la Ciencia y el método científico. ■



AGRADECIMIENTOS

Esta iniciativa ha sido posible gracias a la financiación recibida de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FCT-11-1578) y de la Federación Española de Biotecnólogos (FEBiotec). Agradecemos también la participación en todas las actividades de los demás miembros de la Comisión de Divulgación del IBMCP: Alejandro Atarés, María Dolores Gómez, Isabel López, Purificación Lisón, Amparo Pascual-Ahuir y Alejandro Sarrión, sin cuya dedicación no habría sido posible desarrollar nuestro proyecto. Por último, queremos agradecer la participación de Elias Garnelo en el diseño de la página web de la actividad y la de José Gabriel Ríos del Instituto de Ciencias de la Educación de la UPV por su magnífica labor en la grabación y montaje de los videos de las prácticas.

REFERENCIAS

- <http://www.planteatelo.es>
- <http://ibmcp.upv.es>
- <http://www.upv.es/entidades/ICE>
- <http://www.youtube.com/PLANTeateloIBMCP>
- <http://www.fecyt.es>
- <http://www.febiotec.es>

Breve nota sobre la conferencia titulada “Mecanobiología: nuevos retos de investigación en Ingeniería Mecánica”

PEDRO JOSÉ SÁNCHEZ-SOTO

Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, Centro mixto CSIC-US, c/Américo Vespucio 49, 41092-Sevilla

Impartida por José Antonio Sanz Herrera, Doctor Ingeniero, Profesor Contratado Doctor en la Universidad de Sevilla y Premio Jóvenes Investigadores (2011)

El pasado año tuvimos la satisfacción de conocer la concesión de uno de los Premios a Investigadores Jóvenes de la Real Maestranza de Caballería de Sevilla, en colaboración con la Real Academia Sevillana de Ciencias (RASC), convocatoria de 2011, a José Antonio Sanz Herrera, Doctor Ingeniero, en la actualidad Profesor Contratado Doctor en la Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla. Dicho Premio resaltó las aportaciones de este investigador y científico en las áreas de especialización de Biomecánica, Mecanobiología Computacional e Ingeniería Biológica, en las que ha desarrollado una intensa actividad encaminada a determinar el papel que juega la Mecánica sobre la célula en un contexto biológico.

Las investigaciones que el Dr. Sanz Herrera ha realizado en este campo, tanto en nuestro país como en diversos centros de investigación extranjeros de prestigio internacional, poseen importantes implicaciones en la biofabricación artificial de órganos e Ingeniería Tisular (Ingeniería de los Tejidos). Los trabajos a que han dado lugar estas investigaciones han sido publicados en revistas de mayor índice de impacto de la especialidad. El jurado de la RASC destacó a este candidato por encima de otros concursantes, cuyo número en total fue de 52 presentados que compitieron para la concesión de estos Premios. Se conceden anualmente dos premios a investigadores jóvenes denominados “Premio de la Real Maestranza de Caballería de Sevilla” y un premio denominado “Real Academia Sevillana de Ciencias”, siendo todos de igual cuantía, prestigio y relevancia, dotados con 6.000 euros, además de un diploma acreditativo. Estos premios se destinan a jóvenes investigadores, nacidos con posterioridad a 1976, que hayan realizado sus estudios e investigaciones de calidad vinculados a Sevilla en el ámbito de alguna de las ramas que cultiva la Real Academia Sevillana de Ciencias y que son las siguientes: Biología, Física, Matemáticas, Química, Ciencias de la Tierra o Tecnología, ya sea en su aspecto fundamental o bien en el aplicado y técnico.

En esta breve reseña se quiere destacar el contenido de la conferencia que impartió este joven premiado el pasado

11 de marzo. La conferencia fue realizada por invitación de la RASC, teniendo como marco el Salón de Grados del Edificio Rojo del Campus Universitario de Reina Mercedes de la Universidad de Sevilla. Por su interés para nuestra revista “Acta Científica y Tecnológica”, resumimos a continuación los principales aspectos abordados.

LOS INGENIEROS MECÁNICOS

Desde tiempos inmemoriales el ser humano ha aplicado los conocimientos técnicos de la época (en Matemáticas, Geometría o Física) a favor de la Medicina. Baste citar brevemente al genio renacentista de Leonardo da Vinci, quien además de aportar importantes avances en las áreas de Arquitectura e Ingeniería, destacó por sus estudios anatómicos en animales. Ejemplos más recientes en este ámbito lo constituyen los ingenieros (de ingenio, “genie” en francés), quienes han aplicado sus conocimientos para el estudio de problemas clínicos.

En particular, los ingenieros mecánicos han contribuido notablemente en el desarrollo de prótesis e implantes ortopédicos, en el estudio de circulación de fluidos en el cuerpo humano o en el análisis biomecánico del movimiento.

El denominador común de los citados ejemplos es que se trata de problemas eminentemente mecánicos, pero con un contexto clínico. Es decir, los parámetros que gobiernan los ejemplos anteriores son fuerzas, presiones, velocidades y temperaturas.

LA FABRICACIÓN DE UN CORAZÓN ARTIFICIAL

En los últimos años, los ingenieros mecánicos se han planteado retos y proyectos más ambiciosos en el ámbito clínico, donde ya no sólo se manejan parámetros propios de la Mecánica, sino también cuestiones asociadas con la Medicina y la Biología. En este sentido cabe plantearse preguntas tales como: ¿serían capaces los ingenieros, expertos en el desarrollo de artefactos abordar la fabricación de un corazón artificial?. A día de hoy no se tiene respuesta a esa pregunta, aunque se está investigando activamente en ella y en otras muchas relacionadas.

Efectivamente, existe toda una comunidad de ingenieros y médicos que trabajan e investigan conjuntamente para el desarrollo de órganos y tejidos artificiales en el laboratorio. Este nuevo campo de investigación se trató en las líneas de investigación que señaló el conferenciante como un nuevo reto de investigación en Ingeniería Mecánica, dentro de la Mecanobiología considerado una novedosa área de conocimiento asociado a tales investigaciones.

Volviendo al ejemplo de la fabricación de un corazón artificial, para su desarrollo se necesita disponer de un molde con la forma del músculo que haría la función de la matriz extracelular del corazón. Aunque este tejido posee una gran complejidad a escala microscópica, se podría decir que los ingenieros serían capaces de fabricarlo en las próximas décadas. Mención aparte requieren las células que se encuentran sobre este tejido y que realizan las funciones propias del corazón.

LA INGENIERÍA TISULAR

A día de hoy no se tiene la capacidad de fabricar artificialmente células animales, con las correspondientes cuestiones éticas y morales que ello implicaría, por lo que se necesita recopilarlas del propio paciente y sembrarlas sobre el tejido artificial desarrollado en el laboratorio. Una vez obtenido un “corazón funcional latente”, se implantaría en el paciente que lo necesitara. Esta técnica se denomina Ingeniería Tisular y es una prometedora alternativa al trasplante en el citado caso del corazón y en otros muchos órganos y tejidos.

Sin embargo, según se ha referido anteriormente, no se dispone a día de hoy de la tecnología necesaria para fabricar, con éxito, un corazón artificial en el laboratorio. No obstante, se están dando pasos en esta dirección con otros órganos y tejidos menos complicados como la reconstrucción del pabellón auricular sobre el lomo de un ratón de laboratorio, realizada a finales de los años noventa del pasado siglo, según puede apreciarse en la figura adjunta.

En la figura se muestra la reconstrucción de un pabellón auricular humano sobre el lomo de un ratón de laboratorio siguiendo la metodología de la Ingeniería Tisular.

Primero se realiza un molde del pabellón auricular con un biomaterial artificial lo más parecido posible al natural. Acto seguido se siembra con células del propio paciente este molde a fin de tener un tejido funcional, con las mismas funciones y propiedades que el natural. Finalmente, se implanta sobre el humano (en este caso sobre un ratón de laboratorio al estar en fase de experimentación).

La imagen fue obtenida por Cao y colaboradores en 1997, publicándola en el artículo titulado “Transplantation of chondrocytes utilizing a polymers construct to produce tissue-engineered cartilage in the shape of a human ear”, que apareció en la revista *Plast. Reconstr. Surg.*



Reconstrucción de un pabellón auricular humano sobre el lomo de un ratón de laboratorio siguiendo la metodología de la Ingeniería Tisular.

Todos estos aspectos, tratados de forma resumida en esta Nota, se expusieron con más detalle por el conferenciante en su intervención. Concluyó que estas novedosas técnicas de investigación poseen un gran componente ingenieril, donde los ingenieros y, más concretamente, los ingenieros mecánicos, juegan un papel fundamental para el desarrollo de tales proyectos.

Desde estas páginas felicitamos a este joven premiado investigador y científico por su brillante conferencia y le animamos a proseguir sus trabajos en estas líneas de investigación con un futuro tan prometedor. Como anécdota, mencionar que el joven premiado y el autor de esta Nota somos naturales de la misma ciudad (Utrera, Sevilla) y, además, el padre del premiado y el autor coincidimos en la infancia cuando éramos compañeros de juegos y las casualidades que nos depara la vida de volvernos a encontrar pasados los años y gracias a la investigación científica.

Agradecimientos: El autor agradece la aportación realizada por el Dr. Sanz Herrera para realizar la presente Nota.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Y. Cao, J.P. Vacanti, K.T. Paige, J. Upton, C.A. Vacanti, “Transplantation of chondrocytes utilizing a polymers construct to produce tissue-engineered cartilage in the shape of a human ear”, *Plast. Reconstr. Surg.*, 100 (1997) 297-304.

En memoria de la profesora Luisa Pelagia Díaz Viruliche

Universidad Agraria de la Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez"
Facultad de Agronomía

Se pretende hacer un sentido homenaje a la doctora Luisa Pelagia Díaz Viruliche que nos ha dejado recientemente. Gran profesional y conocedora de la que era su especialidad, la Fitotecnia y el manejo agronómico del suelo. Profesora en la Universidad de La Habana, realizó su doctorado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Politécnica de Madrid, teniendo como Directores a dos Investigadores que compartieron sus conocimientos de Fitotecnia con el profesor Urbano y del manejo de fitoparásitos edáficos con el profesor Bello. Es destacable que esta tesis doctoral fue la primera en España en abordar la técnica de Biofumigación: "Interés Fitotécnico de la Biofumigación en los Suelos Cultivados". En este trabajo se amplía el sentido del término originalmente aplicado al uso de brasicas para el manejo de hongos edáficos, e incluye la aplicación al suelo de numerosas fuentes de materia orgánica tanto de origen animal como vegetal y el efecto que se produce sobre la nematofauna edáfica, así como sobre las propiedades del suelo. Para el desarrollo de este amplio estudio, trabajó con agricultores, cooperativas, empresas, técnicos y científicos de diversos puntos del país. Este trabajo estaba incluido en el proyecto de ámbito europeo de búsqueda de alternativas para la eliminación del fumigante del suelo bromuro de metilo (BM).

En la Universidad Agraria de La Habana, ella siguió desarrollando, aplicando y compartiendo los conocimientos obtenidos en España, fundamentalmente sobre Fitotecnia, Alternativas de la Producción Agrícola, Sistemas de Manejo de Cultivos, siendo autora de tres libros de texto para complementar su actividad docente. Fue Jefa de la Disciplina de Fitotecnia y Profesora Principal de Fitotecnia, fue Miembro del Consejo Científico de la Facultad de Agronomía, Presidenta de la Comisión Científica Departamental, Coordinadora y miembro del Comité Académico de la Maestría de Ciencias Agrícolas y del curso de Sistemas de Producción, así como

miembro del claustro de la maestría Extensión Agrícola y del Tribunal de Categoría Docente en la Facultad de Agronomía. Durante un tiempo estuvo en Costa Rica y colaboró en la búsqueda de alternativas agroecológicas al uso del BM como asesora de la Oficina del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) para el Ministerio de Agricultura. Cabe mencionar que en la actualidad, Costa Rica es el primer país en Centro América que ha dejado de utilizar este fumigante del suelo. En el año 2010 regresó a España para participar en el I Encuentro Iberoamericano sobre Agroecología y Sostenibilidad, organizado en conjunto por la Universidad de Alcalá y el CSIC, donde se reencontró con muchos de sus colegas de Doctorado y otros científicos de varios organismos españoles y de varios países de América. Los mejores especialistas abordaron temas relacionados con la gestión de los recursos agrarios, de la calidad y seguridad alimentaria, manejo agronómico de suelos, diversidad funcional en agricultura, y en general, la búsqueda conjunta de un proyecto iberoamericano de gestión de recursos agrarios.

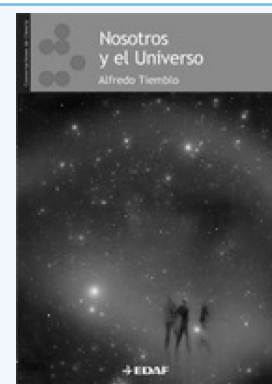
Recientemente se encontraba realizando una estancia en Ecuador con la misma línea de trabajo. Participó activamente en el seguimiento de los ensayos de biodesinfección de suelos utilizando recursos locales desarrollados en La Mancha bajo la coordinación de José Antonio López Pérez (Centro Agrario de Marchamalo, Comunidad de Castilla La Mancha). El doctor Iván Castro Lizazo, alumno de la profesora Díaz Viruliche, actualmente Decano de la Facultad de Agronomía de la Universidad Agraria de la Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez" y su Equipo, garantizan la continuidad de las Líneas de Investigación iniciadas por la profesora Díaz Viruliche, así como su proyección internacional.

IVÁN CASTRO, JOSÉ ANTONIO LÓPEZ PÉREZ, ANTONIO BELLO,
PEDRO URBANO

NOSOTROS Y EL UNIVERSO

Alfredo Tiemblo. EDAF. 2011

El cielo estrellado es una provocación a la que el hombre nunca ha podido sustraerse. Tal vez movidos por el presentimiento, una forma embrionaria de las ideas, los humanos han creído que, tras esos puntos de luz que nos miran desde lejos, se esconde la respuesta que va a determinar nuestro destino. El conocimiento del Universo se ha transformando en una necesidad casi inmediata. La extraña relación que existe entre el hombre y el Universo, la complicidad que se establece entre ambos, es el origen de este libro.



La trayectoria innovadora de SENER

Fundada por el doctor ingeniero naval Enrique de Sendagorta Aramburu en 1956, SENER fue la primera empresa de ingeniería registrada como tal en España. Desde sus inicios se distinguió por alumbrar proyectos pioneros y afrontar trabajos en nuevos sectores de actividad. Con esta filosofía, SENER ha cumplido una larga trayectoria de 57 años de innovación y emprendimiento. Hoy en día, presidida por Jorge Sendagorta, es un grupo de ingeniería y tecnología que cuenta con 5.500 personas y oficinas en cuatro continentes.

En 2011 Enrique de Sendagorta Aramburu, actual presidente de Honor de SENER, recibió el Premio Nacional a la Trayectoria Innovadora, uno de los Premios Nacionales de Innovación y Diseño, los galardones españoles más relevantes que se otorgan como reconocimiento a empresas y profesionales que han destacado por una carrera ejemplar en el campo del diseño y de la innovación. El jurado del premio quiso destacar, durante la entrega el galardón "su carácter de figura emblemática y singular en el panorama de la innovación empresarial de España... y la versatilidad de sus empresas, que han sabido reutilizar los desarrollos tecnológicos conseguidos en unos sectores para las siguientes metas tecnológicas, pasando de la ingeniería naval a la aeroespacial y a las energías renovables y siempre liderando sectores llamados a ser protagonistas del desarrollo tecnológico español".

Y es que la historia de SENER se caracteriza por la conquista continua de nuevos sectores de actividad, a través de productos tecnológicos propios que deben cumplir un mismo requisito: aportar valor añadido a sus clientes y beneficiar al conjunto de la sociedad.

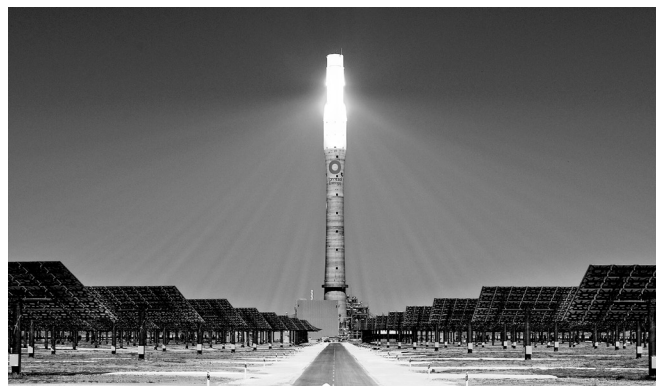


Pruebas del parasol desplegable del satélite Gaia ©ESA.

Nacida como una ingeniería naval, pronto empezó a diversificar su actividad y en 1966 ganó su primer proyecto espacial. Poco tiempo después entró en el diseño de plantas de procesos industriales, en el sector petroquímico, las infraestructuras civiles, el transporte y la aeronáutica. Desde entonces, SENER se ha convertido en un grupo de ingeniería y tecnología con presencia internacional en las actividades

de Ingeniería y Construcción, Energía y Medio Ambiente y Aeronáutica.

En Ingeniería y Construcción, es una empresa de referencia en los sectores aeroespacial, de infraestructuras y transporte, de energía y procesos, y naval; en todos ellos, ha participado en proyectos que se caracterizan por su componente innovador. Así, en el sector aeroespacial, SENER trabaja en numerosas misiones de la NASA y de la Agencia Espacial Europea (ESA), como las misiones científicas Mars Space Laboratory, Solar Orbiter, Gaia, Herschel y Planck. En Aeronáutica, ha llevado a cabo proyectos para Airbus, Bombardier y Boeing y trabaja actualmente en el programa de modernización de los helicópteros Augusta Bell 212 (AB212) para la Armada Española.



Planta solar Gemasolar, propiedad de Torresol Energy ©SENER.

En el sector de Infraestructuras y Transporte destacan trabajos como la línea 9 del metro de Barcelona, la estación de Cercanías de Sol, en Madrid, la línea de alta velocidad Figueras – Perpiñán, un proyecto transnacional España-Francia, o el estadio de fútbol de Fontenova, en Brasil. En Energía y Procesos, las centrales solares Gemasolar, Valle 1 y Valle 2, ubicadas en España, la terminal de regasificación Gate terminal, en Holanda, o la planta de cogeneración de Cydsa, en México, son algunas de sus referencias principales.

Por último, en el sector Naval ofrece servicios de ingeniería para buques y ha desarrollado el sistema de diseño y construcción naval FORAN, uno de los más comercializados del mundo.

En la industria Aeronáutica tiene una destacada presencia a través de la empresa ITP. Por último, en Energía y Medio ambiente, ha puesto en marcha iniciativas empresariales como la compañía de energía solar Torresol Energy, la planta de tratamiento de residuos urbanos Zabalgarbi, las centrales de tratamiento de purines Tracjusa, Valpuren Bañuelo y Valpuren Comatur, y la planta de regeneración de aceites usados BRF, entre otras. En todas ellas, SENER aplica sus propios desarrollos tecnológicos.