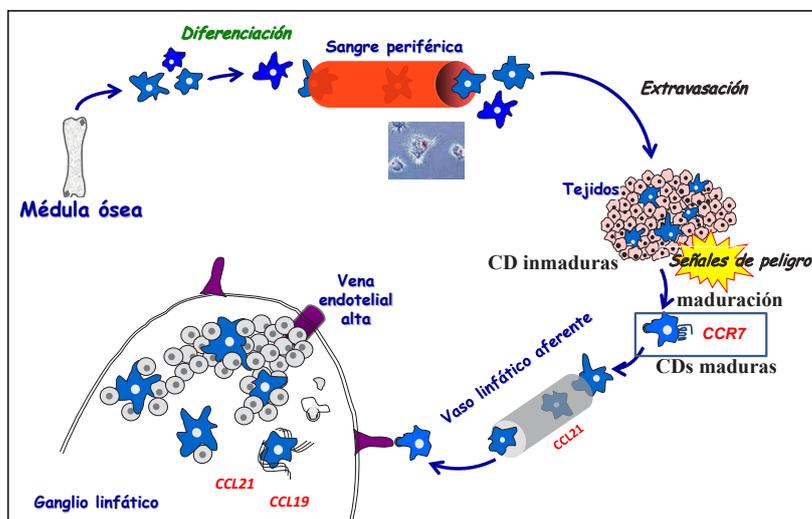




Rosetta copy ESA.



Flor de la jara (*Cistus ladanifer*) siendo polinizada por una abeja.



Ciclo vital de las células dendríticas.

Director: Jesús María Rincón López

Editor: Enrique Ruiz-Ayúcar

Consejo Editorial: Antonio Bello Pérez, Sebastián Medina Martín, 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: Antonio Bello Pérez, Marcial García Rojo, José María Gómez de Salazar, Luis Guasch Pereira, Manuel Jordán Vidal, Sebastián Medina Martín, María del Carmen Risueño Almeida, Jaime Sánchez-Montero, Pedro José Sánchez Soto, Julio César Javier Tello Marquina,

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.

INDICE

SENER participa en la plataforma y la carga útil de la sonda Rosetta	3	Reprogramación del polen a embriogénesis para obtención de doble-haploides: herramienta biotecnológica en mejora de plantas cultivadas y forestales	29
Nuestro universo se expande de forma acelerada probablemente justo con la cadencia de una pequeña constante cosmológica		El receptor de quimioquinas CCR7 en las células dendríticas, mucho más que un receptor quimiotáctico	36
PILAR RUIZ LAPUENTE, PEDRO F. GONZÁLEZ DÍAZ Y ANA ALONSO SERRANO	5	JOSÉ LUIS RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ	
Aleaciones de aluminio al manganeso. Características y retos del proceso de aleado	9	Fabricación de recubrimientos nanoporosos mediante pulverización por plasma: una técnica innovadora para producir materiales avanzados	40
RICARDO FERNÁNDEZ SERRANO		RAFAEL ALVAREZ, PEDRO J. SÁNCHEZ-SOTO Y ALBERTO PALMERO	
Caracterización de materiales cristalinos por difracción de rayos X	13	Aspectos sostenibles de la Real Fábrica de loza y porcelana del Conde de Aranda en L'Alcora, Castellón	42
JOSÉ ANTONIO JIMÉNEZ		JOAQUÍN CABRERA BACHERO, FRANCISCO PARDO FABREGAT, TEOFILO SANFELIU MONTOLIO, ANA BELEN VICENTE FORTEA Y MANUEL PASTOR PITARCH	
25 años de Olimpiadas de Física	18	LIBRO	
JAIME JULVE Y JUAN LEÓN		Mineralogía Aplicada	47
Caracterización botánica y geográfica de la miel de espliego (<i>Lavandula latifolia</i> Medicus) de la Denominación de Origen, D.O., Miel de La Alcarria	24	Salud y Medio Ambiente	
AMELIA VIRGINIA GONZÁLEZ-PORTO, TOMÁS MARTÍN ARROYO, CRISTINA PARDO MARTÍN			

SENER participa en la plataforma y la carga útil de la sonda Rosetta

El grupo de ingeniería y tecnología SENER ha suministrado parte del equipo de la sonda Rosetta, primera misión que estudiará en detalle un cometa, ayudándonos así a comprender mejor su naturaleza y a descifrar el origen y formación del Sistema Solar.

La sonda, un proyecto de la Agencia Espacial Europea (ESA), ha viajado durante 10 años, recorriendo más de 6.000 millones de kilómetros, hasta alcanzar su objetivo, el cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko, al que desde entonces acompaña en su viaje alrededor del Sol enviando a la Tierra imágenes de alto valor científico de su núcleo helado.

El pasado el 6 de agosto Rosetta marcó un hito al convertirse en la primera misión en realizar el *rendez-vous* y seguimiento de un cometa. En noviembre se produjo el segundo gran hito, cuando el módulo robótico o *Lander Philae* logró posarse en su superficie, pues hasta ese momento no se había efectuado ningún aterrizaje sobre un cuerpo celeste de este tipo.

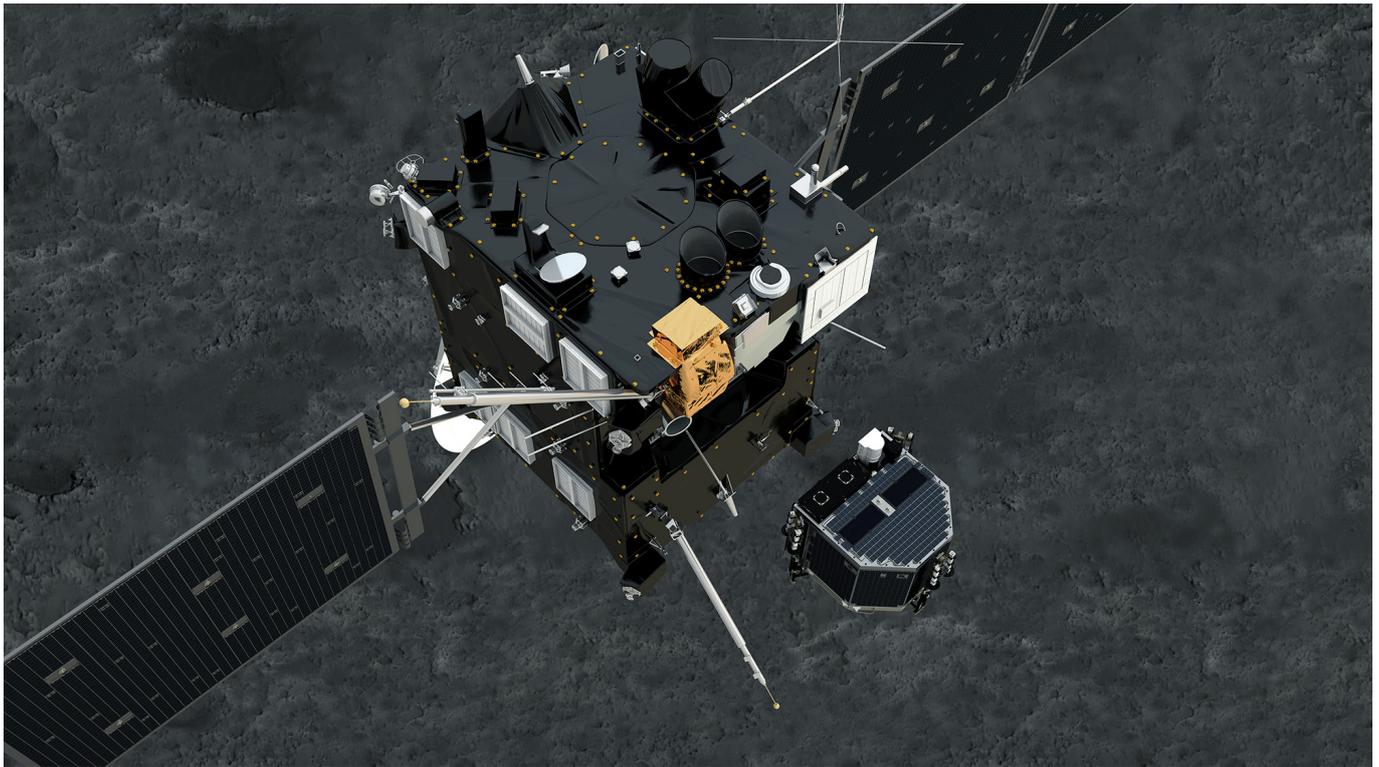
En esta misión, SENER participa tanto en la plataforma de la sonda como en la carga útil. En la plataforma, ha su-

ministrado el *Boom* para el despliegue de instrumentos, así como las persianas (*louvers*) de protección para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos embarcados y las pantallas ópticas para las cámaras y los seguidores de estrellas. En la carga útil, ha contribuido tanto en las cámaras del instrumento OSIRIS como en la electrónica del instrumento GIADA.

El instrumento *Boom* suministrado por SENER comprende dos mástiles desplegados compuestos por un tubo de fibra de carbono y un mecanismo de despliegue, en los que se sitúan cinco instrumentos científicos. Su cometido es alejar en órbita los instrumentos de las perturbaciones electromagnéticas del satélite. Además, la empresa ha llevado a cabo el sistema de 15 *louvers* de control térmico activo de la sonda, que constan de 16 hojas cada una. Dichas hojas deben abrirse o cerrarse en función de la temperatura de la sonda, para asegurar su estabilidad térmica, y sin aplicación de energía externa, para lo que están cubiertas de paneles fotovoltaicos. El modelo ideado por SENER para Rosetta reduce la masa y aumenta la capacidad de emitir calor, lo que supone una considerable mejora con respecto a sistemas anteriores.



Instrumento *Boom* (mástiles desplegables) de SENER.



Rosetta copy ESA.

Igualmente, SENER se ha encargado de las pantallas ópticas de atenuación de la radiación solar incidente sobre las dos cámaras de navegación y los dos rastreadores de estrellas.

SENER también ha participado, en este caso en colaboración con el INTA y el Instituto Astrofísico de Andalucía (IAA), en el diseño e integración de la unidad electrónica de control y del mecanismo de las ruedas de filtros (FWM, en su acrónimo en inglés) de las dos cámaras del instrumento OSIRIS (*Optical Spectroscopic and Infrared Remote Imaging System*), el principal sistema óptico de Rosetta, que ha servido para tomar imágenes del cometa y de la sonda Rosetta desde el comienzo de la misión. Se trata de las cámaras NAC - de banda estrecha, *Narrow Angle Camera* -, cuyo cometido será cartografiar con alta resolución el núcleo del cometa, y WAC - de banda ancha, *Wide Angle Camera* -, diseñada para trazar un mapa de las emisiones de gas y del polvo espacial que se encuentran en la proximidad del cometa. Por último, la empresa ha desarrollado la unidad electrónica de control de todo el instrumento GIADA (*Grain Impact Analyser and Dust Accumulator*) para la observación de las propiedades mecánicas, la velocidad y la masa de las partículas que se encuentran en la cola del cometa, un trabajo que SENER también ha realizado en colaboración con el IAA.

SENER ha ido creciendo en responsabilidad en los programas espaciales de Ciencia, hasta posicionarse como la empresa española líder en este tipo de proyectos, por sus aportaciones de ingeniería. Como muestra, SENER ha par-



Louvres diseñados por SENER.

ticipado en más de la mitad de las misiones de la ESA y en algunos componentes, como los mástiles desplegables o boom, es uno de sus principales proveedores en el contexto internacional. A día de hoy, SENER ha entregado más de 260 equipos y sistemas que han sido lanzados en satélites y vehículos espaciales de la NASA, la ESA, Roscosmos y JAXA, y que no han registrado ningún fallo. Entre sus numerosas referencias, además de Rosetta, destacan las misiones Proba-3, Gaia, Curiosity, BepiColombo, Seosat / INGENIO, Herschel y Planck, Solar Orbiter y Meteosat Tercera Generación.

www.sener-aerospace.com

Nuestro universo se expande de forma acelerada probablemente justo con la cadencia de una pequeña constante cosmológica

PILAR RUIZ LAPUENTE, PEDRO F. GONZÁLEZ DÍAZ† y ANA ALONSO SERRANO
Instituto de Física Fundamental, CSIC, Madrid, España

Justo a finales del siglo pasado, dos grupos internacionales de astrónomos, trabajando independientemente y en competición, descubrieron que la expansión del universo, descubierta unos 70 años antes por Hubble, en vez de irse frenando, se aceleraba (Riess et al. 1998; Perlmutter et al. 1999). Tal conclusión se basaba en la variación del brillo de un tipo de supernovas (explosiones estelares extremadamente luminosas) en función del corrimiento al rojo de las galaxias donde éstas se producían. Si la expansión del universo, en vez de acelerarse, se hubiese estado frenando, el brillo de cualquiera de esas supernovas, a su correspondiente corrimiento al rojo, hubiese debido ser mayor que el efectivamente medido. Las observaciones de supernovas lejanas, con el fin de confirmar y afinar ese resultado, se han multiplicado desde entonces. A partir de las ecuaciones de Einstein para la gravitación y de la hipótesis (acorde con todas las observaciones) de que el universo es homogéneo e isótropo a gran escala, se dedujo que debía existir una componente del mismo (“energía oscura”) que ejerciera una presión negativa (la materia ordinaria, formada por protones, neutrones y electrones, así como la “materia oscura fría”, tienen presión nula, mientras que la de la radiación es positiva), a causa de la aceleración. Era incluso posible estimar qué proporción de la densidad crítica (la correspondiente a un universo “plano”) representa en la actualidad esa energía oscura: algo más del 70%. De ser dicha densidad constante a lo largo de la expansión del universo, se deducía que ésta había pasado de frenarse a acelerarse hace unos 5,000 millones de años. Y efectivamente, poco después del descubrimiento inicial, Riess et al. (2001) confirmaron ese punto, a partir de observaciones de supernovas muy lejanas. Por otra parte, el análisis del espectro de fluctuaciones de la radiación cósmica de fondo de microondas, a partir de las observaciones del satélite *WMAP* (Spergel et al. 2003) indicaba un universo plano, con una densidad de materia del orden del 27% de la crítica, lo cual precisaba de un 73% extra, coincidente con la estimación anterior del contenido en energía oscura. Tal resultado ha sido, muy recientemente, afinado por las observaciones del satélite *Planck* (Ade et al. 2013): la densidad de materia es un 31.5% de la crítica. Los datos de *Planck* confirman asimismo que el universo sea

plano, con una precisión que es ya del orden del 1%, lo cual dejaría la densidad de energía oscura en un 68,5%. Por lo que hace a la posible variación de la densidad de energía oscura a lo largo de la expansión cósmica, un estudio reciente, basado en la compilación de observaciones de 557 supernovas, conocida como *Union2* (Amanullah et al. 2010), es coherente con una densidad de energía oscura y una presión ejercida por la misma constantes en un universo plano, aunque deja abierta la posibilidad de variación de dicha presión, en épocas lo bastante remotas.

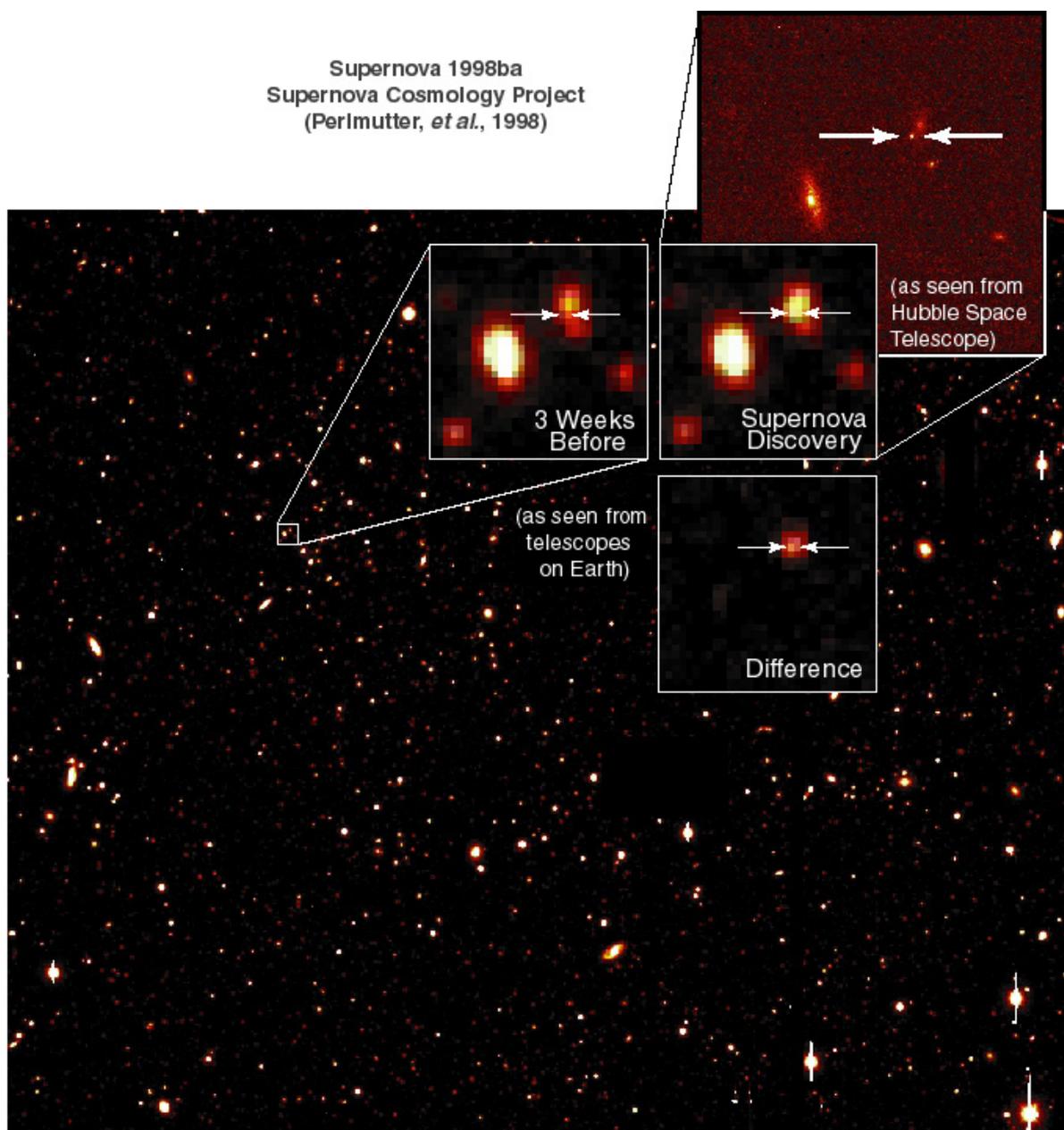
Además de la información aportada por las supernovas y por el fondo cósmico de microondas, otros tipos de observaciones confirman la realidad de la expansión acelerada del universo. Así, por ejemplo, el llamado “bosque Ly α ” (conjunto de líneas de absorción en el espectro de la radiación de cuásares muy lejanos, producido por las nubes de gas intergaláctico interpuestas), explora un amplio rango de corrimientos al rojo: hasta $z = 2,2$ (Viel 2006; Seljak et al. 2006). Los resultados, de momento, coinciden con los obtenidos a partir de las supernovas, aunque al combinarlos con éstos mejoran la precisión por un factor de entre 1,5 y 2.

Las observaciones de supernovas nos dan la variación de la distancia-luminosidad con el corrimiento al rojo (variable z). Tal distancia-luminosidad se obtiene a partir del brillo de las supernovas, combinado con el conocimiento de la luminosidad intrínseca de las mismas. Las supernovas termonucleares (el tipo de supernovas usado para estas mediciones) no tienen todas la misma luminosidad (no son “candelas estándar” perfectas), pero la misma se puede deducir de la rapidez con que decae su brillo tras alcanzar el valor máximo. La relación entre dicha rapidez y la luminosidad de las supernovas se calibra por medio de supernovas lo bastante cercanas como para que se conozcan sus distancias de modo independiente. Aunque puede explicarse de un modo general, en términos físicos, el hecho de que las supernovas más luminosas se “apaguen” más lentamente que las menos luminosas, se ha planteado desde el principio la duda de si la calibración basada en las supernovas cercanas mantiene su validez para las muy lejanas, es decir, de si habrá una evolución a escala cósmica de las supernovas que haga evolucionar a su vez la relación entre el máximo de luminosidad y la rapidez del declive a partir del mismo. La extrema continuidad de las propiedades físicas de estos

objetos, desde los más cercanos hasta los situados a los valores de z más elevados, pasando por los de z intermedios, descarta que haya habido evolución apreciable alguna. Por otra parte, sí se mantiene cierto grado de incógnita en cuanto a la medida en que la luz de las supernovas es atenuada por la absorción por polvo interestelar (*extinción*), dentro de las propias galaxias que las albergan, puesto que las propiedades de dicho polvo pueden ser distintas de las del de nuestra Galaxia. Esto no afecta ni al hecho mismo de la expansión acelerada ni a la evidencia de una fase anterior de desaceleración, pero sí tiene importancia a la hora de establecer la ecuación de estado (ver más abajo) de la energía oscura. Para minimizar tal fuente de error sistemático, las observaciones

de supernovas muy lejanas se están centrando en las que se producen en galaxias casi libres de polvo (galaxias elípticas).

Las observaciones de supernovas se extienden ya hasta valores de z muy elevados. Así, la colaboración *CANDELS*, que se propone explorar el primer tercio de la evolución de las galaxias, entre $z = 8$ y $z = 1,5$, mediante imágenes profundas de 250.000 galaxias, obtenidas con el *Hubble Space Telescope*, ha descubierto la supernova termonuclear más lejana hasta la fecha, a $z = 1,914$ (Jones et al. 2013). El espectro de su radiación concuerda con el de las supernovas cercanas del mismo tipo. Lo propio ha sucedido con su inmediata antecesora en el récord de distancias: la SCP-0401, a $z = 1,713$ (Rubin



Imágenes antes y después (en imagen del Hubble Space Telescope) de una supernova a alto corrimiento al rojo descubierta por el Supernova Cosmology Project en marzo de 1998 (Supernova Cosmology Project).

et al. 2013), para la cual ha sido posible una comparación detallada con espectros de supernovas a bajo z .

Como acabamos de ver, las supernovas son “candelas estándar” calibradas y su uso en cosmología se basa en comparar la relación entre distancia-luminosidad y corrimiento al rojo z , obtenida por medio de ellas, con la correspondiente a los modelos cosmológicos para diferentes proporciones de materia ordinaria y de energía oscura. Es posible, por otra parte, utilizar no “candelas estándar” sino “reglas estándar”. Es decir, medir cómo va variando, con z , el tamaño angular (y también el longitudinal) de objetos de dimensiones conocidas. Tales objetos son las llamadas “oscilaciones acústicas de los bariones” (habitualmente designadas por sus siglas en inglés, *BAO*). Durante la era inflacionaria de la expansión del universo, las fluctuaciones cuánticas del campo responsable de la inflación originan, al dar lugar dicho campo, al final de la inflación, a todo el contenido de masa-energía del universo actual, las correspondientes fluctuaciones de densidad de este último. Ello afecta tanto a la materia oscura no-bariónica como a la bariónica y a la radiación. Sólo la materia bariónica está acoplada con esta última. En las regiones de mayor densidad dicha materia es comprimida al caer en el correspondiente pozo de potencial gravitatorio, con lo que aumenta su presión. Tal sobrecompresión se propaga como una onda sonora, la cual, dado el acoplamiento bariones-electrones-fotones, va dejando su traza en la densidad de radiación y por consiguiente en la temperatura de ésta. Ello se mantiene hasta que el universo se hace transparente a los fotones, es decir, cuando se libera la radiación cósmica de fondo, a $z \approx 1,100$, y se refleja en el espectro de fluctuaciones de temperatura de la misma. De ahí se obtiene su tamaño angular a dicho z . Su tamaño físico corresponde al recorrido de las ondas de presión entre el momento de generarse éstas y la época en que el universo empieza a ser transparente. Esas zonas de sobrecompresión, al serlo también de sobredensidad, van a ser luego las más favorables para la formación de galaxias, por lo que ello va a reflejarse en la distribución a gran escala de las mismas, a lo largo de z . El efecto de las *BAO* en la distribución de galaxias fue primero detectado por Cole et al. (2005) y poco después por Eisenstein et al. (2005). Desde entonces, diversos análisis de la distribución a gran escala han permitido cubrir el rango $0,1 \leq z \leq 0,7$. Es asimismo posible medir las *BAO* no sólo en tamaño angular, sino también en profundidad: las observaciones del “bosque Ly α ”, mencionadas más arriba, han permitido ya hacerlo, a $z \approx 2,3$ (Busca et al. 2013; Slosar et al. 2013). Los resultados de las *BAO* concuerdan bien con los valores de los parámetros cosmológicos determinados por *Planck*.

Otro observable que depende de la cosmología subyacente es la distorsión de las imágenes de galaxias lejanas por efecto de las lentes gravitatorias creadas por la estructura a gran escala de la distribución de materia (fenómeno llamado “de lente gravitatoria débil” o también “cizalla cósmica”).

Los resultados más completos obtenidos hasta ahora (Heymans et al. 2013; Erben et al. 2013) discrepan moderadamente de los de *Planck* y también, por lo tanto, de los de las *BAO* (se deduce una densidad de materia que es sólo un 25,5% de la crítica), sin que haya sido posible todavía descubrir la causa de ello.

Es de notar, en esta línea, que el valor de la constante de Hubble obtenido por *Planck* ($H_0 = 67,3 \pm 1,2 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$) es inferior al dado por las observaciones de estrellas variables Cefeidas en galaxias huésped de supernovas, que es de $73,8 \pm 2,4 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ (Riess et al. 2011). El valor de *Planck* coincide exactamente, en cambio, con el obtenido a partir de los espectros de supernovas en la fase nebular (Ruiz-Lapuente 1996). La principal fuente de error, en las estimaciones directas basadas en Cefeidas, está en el primer peldaño de la “escalera de distancias” (la distancia a la Nube Grande de Magallanes es un ejemplo del mismo). Una subestimación de dicho error podría ser la causa de la tensión entre los dos tipos de mediciones (Ade et al. 2013).

El universo en el que vivimos se expande pues de forma acelerada y lo hace muy rápidamente. La pregunta ahora es, ¿hasta qué punto se acelera nuestro universo? Las aceleraciones más moderadas corresponden a cuando el vacío cósmico está dominado por un tipo de energía oscura caracterizada como un fluido (Zlatev et al. 1999) cuya ecuación de estado, presión= w x densidad de energía, requiere un valor del parámetro w mayor que -1 . Cuando $w < -1$, en lugar de energía oscura, nos enfrentaríamos con la energía fantasma (Caldwell 2002) y el régimen de expansión sería super-acelerado. La frontera entre estos dos regímenes viene marcada por el valor del parámetro de la ecuación de estado $w = -1$, el cual corresponde al llamado universo de Sitter, donde la energía acumulada en el vacío se manifiesta como una constante cosmológica positiva. A comienzos del siglo XX, razones relacionadas con la perfección y la estética hacían creer a la inmensa mayoría de los científicos que el universo era estático, que su tamaño y forma permanecían invariables con el paso del tiempo. Seguramente fue por ello que Albert Einstein encontró tan patológicas las soluciones cosmológicas que él mismo dedujo a partir de sus ecuaciones de campo. Estas soluciones presentaban un universo en expansión continuada, de forma que Einstein se atrevió incluso a modificar sus propias ecuaciones de campo gravitatorio incluyendo en las mismas un término adicional constante, uno de cuyos ajustes llegaba finalmente a producir un universo estático (aunque tal universo era, de todas maneras, inestable). Es una historia bien conocida que años después las observaciones del astrónomo norteamericano Hubble pusieron de manifiesto que el universo no es en forma alguna estático sino que, muy al contrario, se expande continuamente, como predecían las ecuaciones de Einstein no modificadas. Es más, los datos obtenidos recientemente de supernovas lejanas (confirmados, como hemos visto, por otras observaciones de muy diversos tipos)

han puesto de manifiesto que ni siquiera las ecuaciones de Einstein sin modificar son capaces de describir lo que ocurre con nuestro universo y que en efecto se precisa de un fluido anti-gravitatorio tipo energía oscura o fantasma, o de una constante cosmológica cuyo valor, lejos de convertir el universo en estático, haga que éste se expanda de forma acelerada. En principio, el valor del parámetro w que determina la causa última de la expansión acelerada del universo debe ser fijado mediante observaciones. Sin embargo, existen también razones teóricas que nos permiten predecir que el valor más probable del parámetro w es precisamente -1 , una constante cosmológica cuyo valor se asocia al de la densidad crítica.

Estos argumentos teóricos se basan en la consideración de la existencia de los llamados agujeros de gusano, que pueden considerarse túneles que unen diferentes regiones del espacio-tiempo, y en que el efecto producido por éstos influiría en la determinación del valor de la constante cosmológica (Coleman 1988; Hawking 1990). Podemos considerar que estos agujeros de gusano microscópicos están asociados a lo que se denomina universos bebé, que son pequeños universos que se forman como escisiones del universo original a través de esos agujeros de gusano. Calculando la función de onda del universo en presencia de estos universos bebé, al determinar la probabilidad que aparece para las diferentes constantes de la naturaleza, y para que ésta se concentre totalmente en un valor definido, la contribución dominante será aquella con constante cosmológica nula (Coleman 1988; Hawking 1990). Para realizar este cálculo es preciso introducir un valor de corte para evitar divergencias de la teoría (valores infinitos en determinados parámetros), aunque posteriormente tal corte debe ser finalmente eliminado, tomándose como un límite. El problema aquí es que diferentes formas de realizar ese corte producen distintos resultados, y es difícil ver si existe alguna forma privilegiada de elegir ese corte.

No obstante, podemos considerar que los universos bebé no tienen por qué crearse de manera individual, ya que si los agujeros de gusano tienen conexiones múltiples, los universos bebé se nuclearán en pares (González-Díaz 1993). Al estudiar ahora la influencia de su presencia sobre el valor de la constante cosmológica, lo que se obtiene es una distribución de probabilidad de Planck (de manera similar a la radiación de un cuerpo negro), lo que es equivalente a introducir un corte único y natural y, por ello, no es preciso anular el valor del corte. La probabilidad queda así totalmente concentrada en un solo valor, que en este caso predice una probabilidad máxima, no cuando la constante cosmológica se anula, sino cuando dicha constante toma un valor mayor que cero (González-Díaz 1993).

En todo momento estamos interpretando la constante cosmológica en términos de la energía de punto cero, que describe la densidad de energía de vacío del universo, tal co-

mo hizo Zeldovich (Zeldovich 1967). El valor de la constante cosmológica se puede entonces relacionar, como decíamos antes, a partir de la constante de Hubble, con una densidad de masa que viene dada por la densidad crítica presente. De tal manera tenemos una predicción teórica de un valor no nulo de la constante cosmológica, que podría entenderse como la causa de la expansión acelerada del universo.

IN MEMORIAM

El presente artículo está dedicado a la memoria de uno de sus autores, el profesor Pedro F. González Díaz, inesperada y prematuramente fallecido hace poco más de un año. Como sólo muy parcialmente se refleja en el mismo, Pedro ha realizado diversas e importantes contribuciones al problema de la naturaleza de la energía oscura, uno de los mayores retos de la física fundamental y de la cosmología actuales. Sus compañeros del Instituto de Física Fundamental echaremos siempre en falta, no sólo su valía científica sino también sus extraordinarias cualidades humanas, que hacían del trabajo con él una experiencia inolvidable. Siempre estará entre nosotros.

REFERENCIAS

1. Ade, P.A.R. et al. 2013, arXiv: 1303. 5076v1
2. Amanullah, R. et al. 2010, ApJ 716, 712
3. Busca, N.G. et al. 2013, A&A 552, A96
4. Caldwell, R.R. 2002, Phys. Lett. B545, 23
5. Cole, S. et al. 2005, MNRAS 362, 505
6. Coleman, S. 1988, Nucl. Phys. B310, 643
7. Eisenstein, D.J. et al. 2005, ApJ 633, 560
8. Erben, T. et al. 2013, MNRAS, Advance Access
9. González-Díaz, P.F. 1993, Class. Quant. Grav. 10, 2505
10. Hawking, S.W. 1990, Nucl. Phys. B335, 155
11. Heymans, C. et al. 2013, MNRAS 432, 2433
12. Jones, D.O. et al. 2013, texto disponible en: hubblesite.org/pubinfo/pdf/2013/11/pdf.pdf
13. Perlmutter, S. et al. 1999, ApJ 517, 565
14. Riess, A. G. et al. 1998, AJ 116, 1009
15. Riess, A.G. 2001, ApJ 560, 49
16. Riess, A.G. et al. 2011, ApJ 730, 119
17. Rubin, D. et al. 2013, ApJ 763, 35
18. Ruiz-Lapuente, P. 1996, ApJ 465, L83
19. Seljak, U. et al. 2006, JCAP 10, 014
20. Slosar, A. et al. 2013, JCAP 04, 026
21. Spergel et al. 2003, ApJS 148, 175
22. Viel, M. 2006, ASPC 352, 191
23. Zeldovich, Ya. B. 1967, JETP Lett. 6, 883
24. Zlatev, I et al. 1999, Phys. Rev. Lett. 82, 896

Aleaciones de aluminio al manganeso. Características y retos del proceso de aleado

RICARDO FERNÁNDEZ SERRANO
Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM-CSIC)
Madrid

RESUMEN

Las aleaciones de aluminio son ampliamente utilizadas en numerosas aplicaciones industriales y domésticas. Especial relevancia tienen las aleaciones de la serie 3xxx con manganeso como principal elemento aleante. En este caso particular, existen numerosas dificultades que es necesario superar para conseguir fabricar aleaciones de calidad y a precios competitivos. En los últimos años se han producido numerosos avances tecnológicos conducentes a fabricar tabletas de manganeso (Mn) con contenidos cada vez mayores de elemento aleante a bajo coste. Estas mejoras resultan imprescindibles para la supervivencia de las pocas empresas europeas y estadounidenses que todavía existen en el actual contexto competitivo de mercado.

INTRODUCCIÓN

1.- Aleaciones de aluminio. Generalidades:

Las aleaciones de aluminio se dividen en aleaciones de colada y de forja, que a su vez se subdividen en tratables térmicamente y no tratables térmicamente. Más del 80% del aluminio que se utiliza en el mundo proviene de las aleaciones de forja [1]. Una de las características que hace que el aluminio sea uno de los metales más utilizados en el mundo en una gran diversidad de campos, principalmente donde son necesarios requerimientos de alta resistencia mecánica y bajo peso, es la baja densidad respecto al acero.

En función de su principal elemento aleante, las aleaciones de aluminio se clasifican en series desde la 1xxx de alta pureza, con 99% mínimo de aluminio, hasta la 8xxx (aleaciones especiales no cubiertas por las series anteriores). Los principales elementos aleantes según dichas series son los recogidos en la Tabla 1.

La diferente composición química confiere a las aleaciones unas propiedades particulares que les hace ideales para ciertas aplicaciones. Por ejemplo, las aleaciones de las series 2xxx y 7xxx son conocidas por su excelente resistencia mecánica y son ampliamente utilizadas en el sector aeroespacial. Por otro lado, las aleaciones de la serie 5xxx y 6xxx presentan una gran resistencia a la corrosión y son ampliamente utilizadas en el sector naval.

En el caso de las aleaciones tratables, las propiedades de la aleación se verán influidas de manera muy importante por dicho tratamiento, que será generalmente una combinación de tratamiento térmico y de deformación. Una descripción detallada de este aspecto excede al presente trabajo, pero es posible ampliar esta información en diferentes fuentes [2].

2.- Aleaciones de la serie 3xxx

Las aleaciones de forja de la serie 3xxx tienen una gran importancia industrial porque representan alrededor del 60% del aluminio que se consume en el mundo. Como se describe en la Tabla 1, su principal elemento aleante es el manganeso. Este elemento aleante le confiere una gran ductilidad a la aleación y permite obtener un amplio rango de resistencias mecánicas en función del tratamiento de deformación aplicado.

3.- Proceso de aleado en aleaciones de aluminio

En la industria de aluminio han existido tradicionalmente dos estrategias para realizar el proceso de aleado. La utilización de aleaciones madre y el uso de compactos o briquetas de polvo de manganeso.

3.1 Utilización de aleaciones madre

Se trata de aleaciones metálicas donde el metal, que será el aleante para el aluminio, es un elemento

Series	1xxx	2xxx	3xxx	4xxx	5xxx	6xxx	7xxx	8xxx
Elemento aleante	puro	Cu	Mn	Si	Mg	Mg + Si	Zn	Li,...

Tabla 1. Principal elemento aleante de las diferentes series de aleaciones de aluminio.



a



b



c

Figura 1. Ejemplos de uso de aleaciones de la serie 3000. a) Intercambiador de calor en una planta de producción de energía, b) latas de refresco, c) radiador de uso doméstico.

principal de la composición y cuyo contenido es típicamente de entre 10-60%. Las aleaciones madre han sido tradicionalmente utilizadas para alear todo tipo de metales y en particular aluminio. Sin embargo, entre las principales desventajas del uso de aleaciones madre se encuentra: que añaden una gran cantidad de material frío a la colada, que el stock y el transporte de este producto supone unos costes importantes para la fundición y que el aluminio que se utiliza en dichas aleaciones proviene comúnmente de fundiciones previas, añadiendo dificultad en el control de la composición del mismo.

En el caso particular del aleado de aleaciones de aluminio utilizando manganeso, resulta extremadamente difícil aumentar el contenido de Mn en las aleaciones madre más allá del 70%. Recientemente han aparecido algunas innovaciones en este sentido encaminadas a aumentar el contenido de Mn y disminuir por lo tanto la carga de material frío en los hornos de fundición. Así, de esta manera, se han desarrollado recientemente aleaciones madre de aluminio y manganeso con hasta el 93% de contenido de Mn [3]. Sin embargo, no se ha reportado por el momento su uso a escala industrial.

Actualmente, la principal desventaja de estas aleaciones madre sigue siendo su elevado coste, lo que hace que la cuota de mercado de estos productos quede limitada a aplicaciones especiales.

3.2- Metalurgia de polvos. Compactos o tabletas de elementos aleantes en la industria del aluminio.

En contraposición a las aleaciones madre, en los años setenta del siglo XX comenzaron a aparecer en el mercado compactos o tabletas de polvo del metal aleante, entre ellos manganeso, en concentraciones típicas de alrededor del 70%.

Las tabletas de manganeso se fabrican utilizando una ruta pulvimetalúrgica donde se comienza mezclando el polvo de manganeso con polvo de aluminio en un contenedor de varias toneladas. El uso de aluminio es imprescindible puesto que el manganeso es un elemento frágil y no es posible realizar compactos con ellos por mucho que se incremente la carga de compactación. Por motivos de seguridad e higiene es necesario evitar el uso de materiales aglomerantes que sean nocivos tanto en los humanos como en el medioambiente, o que deterioren las propiedades de la aleación resultante final. Una vez realizada la mezcla de aluminio y manganeso, el contenido es repartido en prensas, que mediante compactación en frío, utilizando diversas geometrías, permiten obtener compactos o tabletas de distintos tamaños y geometrías. Entre ellas la más típica es la de disco (Figura 2), aunque también es frecuente encontrar otras tabletas con forma de almohada, denominadas comúnmente briquetas.



Figura 2. Ejemplo de tableta de manganeso (85%), utilizando aluminio como elemento aleante.

La utilización de estos compactos de polvo reduce en gran medida el coste del producto y permite mejorar la competitividad de la industria. Por este motivo, los compactos de polvo, y en particular los de manganeso, se han implantado a escala mundial como principal método de aleado de aleaciones de aluminio. Una vez que se consolidó dicha hegemonía en el mercado, la competencia entre fabricantes ha ido encaminada a incrementar el contenido del Mn de los compactos. Este aumento de elemento aleante presenta ventajas económicas y técnicas en prácticamente todos los requerimientos que se les impone a estos productos. Sin embargo, conseguir fabricar tabletas con alto o muy alto contenido en Mn $\geq 85\%$ impone afrontar numerosos retos tecnológicos para ofrecer un producto de calidad, a un precio competitivo y que cumpla con los estándares de calidad establecidos en el sector.

En la actualidad, la tremenda polarización del mercado introducida por los fabricantes chinos e indios ha impuesto la desaparición de numerosos fabricantes de tabletas aleantes puesto que son productos conocidos como commodities; es decir, productos necesarios industrialmente, pero de muy poco valor añadido. Por este motivo, en la actualidad, únicamente sobreviven alrededor de 3-4 fabricantes importantes de tabletas de aleantes en Europa y otros tantos en Estados Unidos.

4.- Requerimientos de las tabletas de manganeso

Las tabletas de elementos aleantes para su uso en la industria del aluminio, tienen que cumplir una serie de condiciones que garanticen su calidad y el cumplimiento de los estándares de seguridad internacionales. El caso concreto del manganeso, impone adicionalmente otras dificultades asociadas a la propia naturaleza de este elemento.

En primer lugar, puesto que se trata de un elemento muy denso en comparación con el aluminio $7,4 \text{ kg/m}^3$ frente a los $2,7 \text{ kg/m}^3$ del aluminio, es complicado realizar una mezcla homogénea, y más utilizando grandes cantidades de material. Además, los polvos de manganeso y aluminio presentan habitualmente distintas granulometías, lo cual dificulta aún más el proceso de mezcla homogénea. El problema es que las partículas de material más ligero y las partículas más pequeñas tienden a ir al fondo del recipiente de mezcla, deshomogeneizando la misma, dando lugar a una importante dispersión en la composición de las tabletas resultantes. Este problema es crítico cuando se trabaja con altas concentraciones de uno de los elementos de mezcla ($>80\%$).

Por otro lado, es necesario asegurar la fluidez de la mezcla de polvos desde los depósitos hasta las prensas donde se realizan los compactos. En concreto, el manejo de polvos y sus mezclas de manera eficiente a escala industrial exige un flujo suficientemente rápido para obtener un proceso rentable económicamente. En particular, la presencia de polvos muy finos (<100 micras de diámetro) incrementa sustancialmente la superficie de contacto entre partículas, lo que dificulta enormemente el flujo del polvo hacia las prensas de compactación. Eliminar estas partículas finas, son los tipos de problemas a los que se enfrentan los fabricantes de tabletas aleantes.

Existen otros pasos del proceso de fabricación de tabletas de manganeso que también están muy directamente relacionados con los aspectos productivos y económicos. En particular, se trata de disminuir el tiempo de compactación de la mezcla de polvos hasta unos pocos segundos para incrementar la productividad. Este factor condiciona la consistencia de los compactos obtenidos cuando se trabaja con bajas concentraciones de elemento aglomerante. Sin embargo, la mayor inversión de las empresas de fabricación de compactos de polvos se centra en el sistema de prensas. Por este motivo se busca

minimizar su número y hace que se consideren otros aspectos adicionales como la degradación de las prensas y los punzones debidos al efecto abrasivo del Mn y otros metales similares.

4.1.- Requerimientos mecánicos

Un requisito imprescindible para poder comercializar las tabletas de manganeso es que tengan suficiente consistencia, en términos de resistencia mecánica, para facilitar su manipulación y transporte. Una baja consistencia mecánica de las tabletas de polvo presenta dos inconvenientes claros. El primero es que si la fragilidad de las tabletas aumenta, estas se rompen fácilmente, lo que, además de complicar su manejo, dificulta el control de la cantidad de material aleante que se añade a las coladas. En segundo lugar, pero no menos importante, se produce un riesgo muy considerable de inflamabilidad como consecuencia de los polvos finos que se desprenden de las tabletas en el ambiente de alta temperatura de las fundiciones de aluminio.

Para asegurar la consistencia mecánica de las tabletas, se realiza un ensayo muy sencillo, pero a la vez efectivo denominado test de caída. En este ensayo, aprovechando la forma de disco de las tabletas, se realizan tres caídas libres de las tabletas desde una altura de 1 metro contra un suelo duro tipo cemento o baldosa. Las tabletas no deben romperse ni perder una cantidad de polvo apreciable.

4.2.- Requerimientos relativos a la disolución de las tabletas

Un aspecto muy importante a tener en cuenta a la hora de alear aluminio con manganeso, es que este último tiene un punto de fusión mayor que el del aluminio 1250 °C frente a los 660 °C del aluminio. En el caso de las tabletas de manganeso, al encontrarse este elemento oxidado, esta diferencia de puntos de fusión se incrementa considerablemente. Este hecho hace que sea costoso disolver el manganeso para fabricar las aleaciones de la serie 3xxx. A escala industrial, se procede a remover el caldo de aluminio utilizando enormes palas, para favorecer la disolución y su homogeneidad. A escala de laboratorio, existe un test denominado TP2 de la Aluminum Association que regula el control de velocidad de disolución de tabletas de aleantes endurecedores en aleaciones de aluminio, en el que se añade una cantidad de manganeso suficiente para alear el aluminio con alrededor de un 1,2% de manganeso y se toman varias muestras tras remover. Para que el producto pase dicho test, es nece-

sario encontrar una tasa de recuperación del 100% en un tiempo máximo de 30 minutos. Sin embargo, este test, a pesar de estar normalizado, puede dar resultados muy diferentes en función de la energía de agitación aportada al proceso, factor que no está controlado en el test.

En el caso de las modernas aleaciones madre de aluminio y manganeso, se han reportado tasas de recuperación de aleante cercanas al 100%, todo el manganeso disuelto, en periodos de aproximadamente 15 minutos. En el caso de las tabletas o compactos de manganeso, para tabletas de hasta 85% de Mn, las tasas y tiempos de recuperación son similares a las anteriormente citadas en el caso de las aleaciones madre y son aceptables industrialmente. En el caso de las tabletas, se utilizan en ocasiones pequeñas cantidades de materiales orgánicos empleados que aceleran el proceso de disolución de las tabletas cuando se usa aluminio como aglomerante [4]. Sin embargo, estos productos no se deben añadir en porcentajes superiores al 5% puesto que incrementan la escoria de la colada, provocan un exceso de humos, e introducen hidrógeno y carbono en la aleación resultante. Asimismo, es conocido que los fluoruros, cloruros y carbonatos favorecen la disolución de las tabletas. Sin embargo, estos componentes, además de ser perjudiciales para el medio ambiente, han demostrado serlo también por las inclusiones que generan en las aleaciones obtenidas.

En el caso de las tabletas de manganeso, la presencia de aluminio como aglomerante, sirve como catalizador para aumentar la velocidad de disolución, puesto que se produce una reacción en la que se forman intermetálicos y favorecen que la tableta se hinche y fracture en numerosos trozos. Cuando el contenido de manganeso se incrementa considerablemente por encima del 80%, los problemas de disolución se vuelven importantes. Recientemente se han desarrollado en el CENIM sendas patentes encaminadas a desarrollar tabletas con alto contenido de manganeso que presentes velocidades de disolución aceptables [5,6].

REFERENCIAS

- 1.- www.alumatter.info/
- 2.- <http://www.matweb.com/reference/aluminumtemper.aspx>
- 3.- Patente (US2010313712).
- 4.- Patente (US6149710).
- 5.- Patente (PCT/ES12/070433).
- 6.- Patente (ES201231537).

Caracterización de materiales cristalinos por difracción de rayos X

JOSÉ ANTONIO JIMÉNEZ

Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM), CSIC

1. INTRODUCCIÓN

La difracción de rayos X constituye una herramienta básica para la caracterización de materiales cristalinos. Debido a su interacción con los átomos, el análisis de la radiación electromagnética que proviene de una muestra permite a partir de las direcciones e intensidad de los rayos difractados determinar la estructura de los cristales e identificar las fases cristalinas que la forman. Además de estas aplicaciones tradicionales, la mejora progresiva de los equipos de difracción (difractómetros) y el continuo desarrollo de herramientas matemáticas y algoritmos para el posterior tratamiento de los datos, ha permitido ampliar el campo de uso de esta técnica en una gama muy variada de aplicaciones, que incluyen la cuantificación de las fases presentes, la determinación de la estructura cristalina de un material, el cálculo de los parámetros de una red cristalina, la caracterización simultánea del tamaño de cristalito y el estado de distorsión de la red (microdeformación), la determinación de textura y tensiones residuales o la caracterización detallada de recubrimientos y sistemas nanoestructurados, bien sean láminas delgadas, multicapas o nanopartículas.

2. FUNDAMENTOS FÍSICOS DE LA DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Un cristal se forma por repeticiones periódicas de los átomos, iones o moléculas. Esta estructura periódica se puede describir mediante un paralelepípedo elemental o celda unidad que al repetirse en el espacio permite reconstruir todo el cristal (Figura 1). Por ello, para caracterizar completamente una estructura cristalina es preciso conocer la geometría de la celda unidad y cómo se distribuyen en su interior los átomos, iones o moléculas.

Dado que esta distancia entre átomos tanto en materiales orgánicos como inorgánicos es del orden de la longitud de onda de los rayos X ($\sim 10^{-10}$ m), la red cristalina constituye un medio excelente para producir difracción de rayos X. Cuando se hace incidir un haz de rayos X sobre una serie de planos paralelos bajo un cierto ángulo θ , para que los rayos "reflejados" por el cristal se combinen y experimenten una interferencia constructiva, la diferencia en fase debe ser igual a un número entero de veces la longitud de onda. Como se

muestra en la Figura 2, esta condición sólo se puede satisfacer si la diferencia de camino recorrido es un múltiplo de la longitud de la onda incidente (λ), es decir:

$$2 d_{hkl} \sin\theta = n \lambda \quad (1)$$

Esta relación se conoce como ley de Bragg. Examinando la expresión (1), se deduce que sólo se observará una interferencia constructiva para ciertos ángulos θ , que vendrán determinados por la longitud de onda de la radiación utilizada y el espaciado entre planos cristalinos. Como en un ensayo de difracción de rayos X la longitud de onda viene fijada por el metal usado como ánodo para la generación de los rayos X, la medida de los ángulos de difracción es una medida directa del espaciado entre planos cristalinos. Si se repite esta medida para diferentes familias de planos cristalinos, se podrá determinar las dimensiones de la celda unidad a partir de las expresiones analíticas correspondientes.

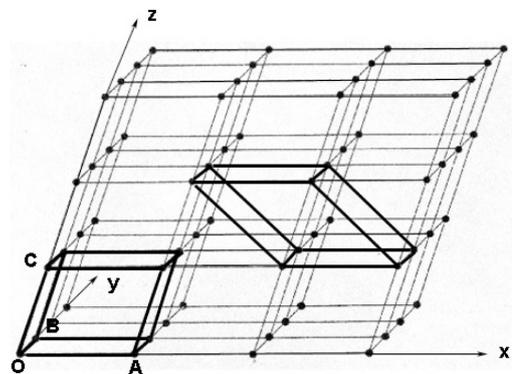


Figura 1. Red cristalina para la que se han definido dos celdas unidad posibles.

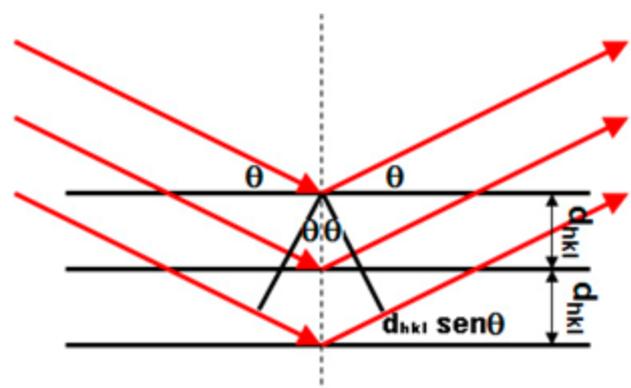


Figura 2. Difracción de rayos X a través de un conjunto de planos paralelos de un cristal.

3. DIAGRAMA DE DIFRACCIÓN O DIFRACTOGRAMA

En un experimento de difracción de rayos X, se hace incidir un haz monocromático de rayos X sobre una muestra, se cambia la posición del ángulo de incidencia sistemáticamente y se registra la intensidad de la radiación difractada con ayuda de un detector, que formará un ángulo 2θ respecto al haz incidente para que en todo momento se satisfaga la ley de Bragg (Figura 3).

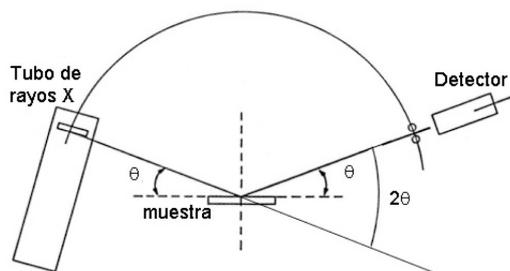


Figura 3. Esquema de un difractómetro de rayos X.

Si el material que se utiliza para realizar el ensayo de difracción es monocristalino, sólo aparecerán en el difractograma las reflexiones correspondientes a los planos (hkl) que estén alineados con la superficie de la muestra (Figura 2). En el caso que la muestra sea un material policristalino, durante el ensayo se irradiará de manera simultánea miles de monocristales o granos orientados al azar, de manera que para cada ángulo θ que cumple la ley de Bragg habrá un cierto número de granos orientados de tal forma que el plano normal a esos granos esté situado en el plano que forman el tubo de rayos X y el detector (Figura 4).

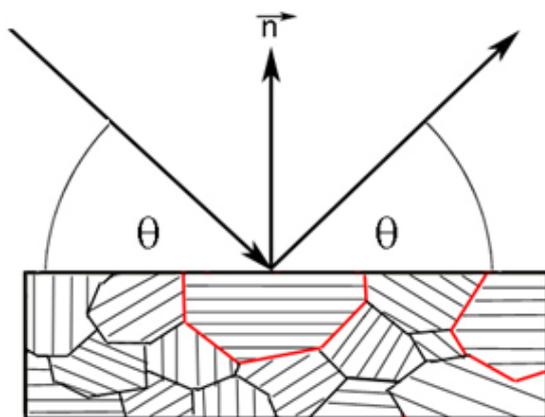


Figura 4. Difracción de rayos X en una muestra policristalina.

El diagrama de difracción o difractograma correspondiente a una muestra se obtiene representando la intensidad

de fotones difractados, bien como cuentas por segundo, número total de cuentas o unidades arbitrarias, en función del ángulo de difracción 2θ . En la Figura 5 se ha representado el diagrama de difracción correspondiente a una muestra policristalina de corindón. De acuerdo con la ley de Bragg, los picos de difracción de esta figura deberían corresponder con funciones delta. Sin embargo, se observa una cierta dispersión en torno al valor θ que se deduce de la ley de Bragg, de forma que los picos de difracción presentan una cierta anchura (Figura 6). Este ensanchamiento de los picos de difracción se asocia a tres factores: el perfil de emisión de la fuente, la contribución del equipo (apertura de las rejillas utilizadas, anchura y longitud de la fuente de emisión...) y la microestructura de la muestra (tamaño de cristalito y microdeformación asociada a la presencia de defectos).

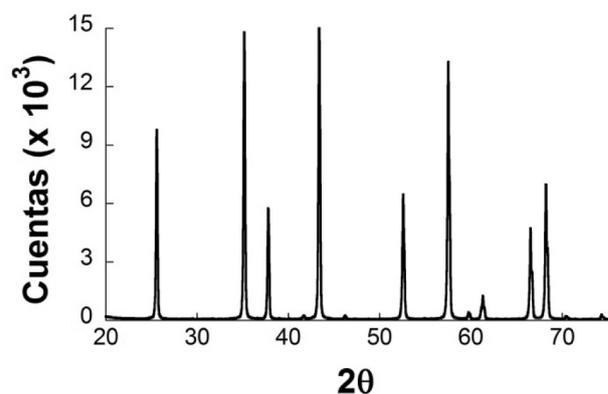


Figura 5. Difractograma correspondiente a una muestra de corindón.

Para caracterizar un pico de difracción se deben de seleccionar una serie de parámetros capaces de describir su posición, intensidad y forma. En general, se suelen ajustar los picos de difracción a una serie de funciones analíticas de forma parecida, y a partir de estas funciones se calcula la posición del máximo del pico (θ_0), el área y la anchura a mitad de pico ($B_{1/2}$) (Figura 6). Todos estos parámetros contienen información sobre la estructura cristalina, propiedades de la muestra y parámetros instrumentales, por lo que son el punto de partida para la caracterización de un material por difracción de rayos X.

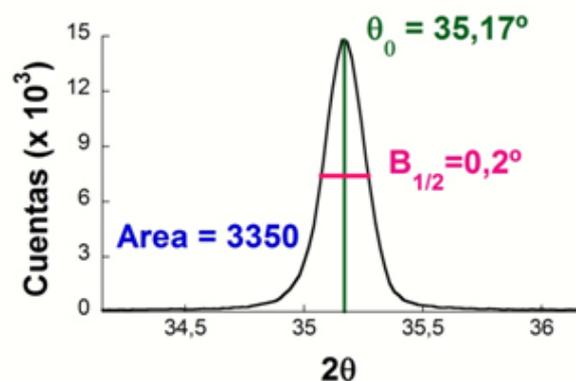


Figura 6. Caracterización del pico (104) del corindón.

4. APLICACIÓN DE LA DIFRACCIÓN DE RAYOS X A LA IDENTIFICACIÓN DE FASES CRISTALINAS

Los primeros estudios que se realizaron tras el descubrimiento por Max von Laue en 1912 de la difracción de rayos X a través de cristales, tuvieron como objetivo principal la determinación de la estructura de fases comunes a partir de sus correspondientes monocristales. En 1917 Debye y Sherrer desarrollaron una cámara de difracción para materiales en polvo, pero hubo que esperar hasta mediados de los años 30 para que este dispositivo se comenzase a utilizar para la identificación de las fases cristalinas presentes en un material. La difracción de rayos X presenta dos ventajas fundamentales frente a otras técnicas analíticas utilizadas para la caracterización de materiales. Como el diagrama de difracción de una fase es único (es como su huella dactilar), permite establecer la forma alotrópica bajo la cual se presenta una sustancia. Además, como el difractograma de un material es la superposición de los diagramas de difracción de cada una de las fases que lo forman, permite analizar sustancias que presentan varias fases.

El mayor problema que se presenta al analizar una sustancia por difracción de rayos X es disponer de una base de datos con un número de sustancias suficientes para poder comparar con los espectros obtenidos experimentalmente. La primera base de datos con 1000 fases de referencia se difundió en 1938 bajo el auspicio de la compañía Dow Chemical. Todas estos patrones de difracción se incluyeron en la primera edición de la base de datos "Powder Diffraction File" (PDF) que en 1941 publicó el recién creado "International Centre for Diffraction Data" (ICDD). Este organismo realizó 4 actualizaciones de la PDF hasta 1955, y desde este año publica anualmente una nueva edición, que en su versión de 2014 incluye más de 270.000 fichas.

En los modernos difractómetros el control y adquisición de datos se realiza de forma automatizada con ayuda de ordenadores personales y paquetes informáticos. A partir de los datos de los ensayos de difracción almacenados en formato digital, se determinan los compuestos cristalinos presentes con la ayuda de un software adecuado. Todos estos programas de búsqueda, seleccionan automáticamente las fases que mejor se ajustan a los picos de difracción de las base de datos cristalográficas, las van superponiendo al difractograma una a una, y finalmente es el analista quien selecciona las fases que mejor se ajustan (Figura 7).

El problema más frecuente que aparece en el proceso de identificación de fases cristalinas es que las intensidades de los picos de los difractogramas experimentales muy pocas veces se ajustan a los patrones de difracción de las bases de datos debido a factores tan diversos como la presencia de

textura en la muestra, una molienda incorrecta, variación en la estequiometría del cristal respecto de la fase que aparece en la base de datos utilizada, o la aparición de varias estructuras en la base de datos para un mismo compuesto. Por otro lado, también puede producirse un desplazamiento sistemático de la posición de los picos de difracción respecto del patrón de la base de datos asociado a una incorrecta preparación y/o colocación de la muestra, o al desalineamiento del equipo. Como finalmente es el analista quien decide que fases están presentes, el proceso de identificación de fases puede depender en mayor medida de la experiencia del analista que del software utilizado.

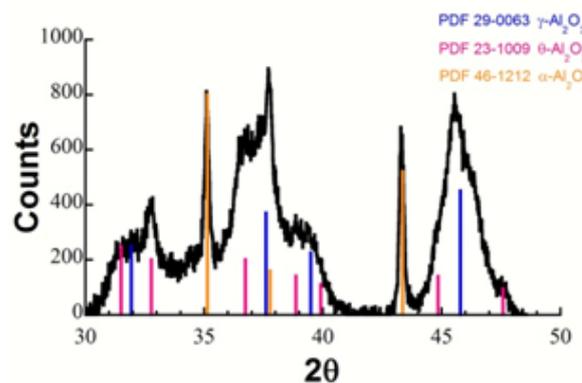


Figura 7. Identificación de fases presentes en una muestra de bohemita calcinada a 1000°C durante 7 horas.

5. EL MÉTODO RIETVELD

El método de Rietveld es método de ajuste no lineal por mínimos cuadrados cuyo objetivo es obtener el mejor ajuste entre un patrón de difracción de rayos X experimental y un patrón calculado utilizando las siguientes variables:

- parámetros estructurales de una hipotética estructura cristalina (grupo espacial, parámetros de red, posiciones atómicas dentro de la celda unidad, vibraciones térmicas, cristalinidad, defectos, etc.)
- parámetros instrumentales (radiación empleada, geometría y configuración del equipo, polarización, condición del haz, desajuste del goniómetro, características del detector, etc.)
- parámetros microestructurales (factor de escala, parámetros para compensar la presencia de orientaciones preferentes, espesor, absorción, transparencia, absorción, tamaño de cristalito, microdeformación, etc.).

En este ajuste se minimiza la ecuación:

$$S = \sum_{i=1}^n w_i [Y_i(\text{obs}) - Y_i(\text{calc})]^2 \rightarrow \text{Mínimo} \quad (2)$$

donde Y_i (obs) y Y_i (calc) representan, respectivamente, la intensidad observada y calculada en un punto i del diagrama de difracción, n es el número total de puntos medidos, y w_i es el peso que se le asigna al punto i del difractograma. Se suele asumir que la intensidad que se mide sólo viene afectada del error estadístico σ_y , el cual siguiendo la distribución de Poisson será proporcional a la raíz cuadrada del número de cuentas en ese punto:

$$w_i = 1/(\sigma_i^2) = 1/Y_i \text{ (obs)} \quad (3)$$

A diferencia de la ley de Bragg, que sólo permite calcular la posición de los máximos de difracción a partir del tamaño y la forma de la celda unidad (parámetros de red), para aplicar el método Rietveld es necesario calcular además la intensidad de los picos de difracción. Este problema es bastante complejo, de forma que para establecer una expresión para la intensidad de los haces difractados es preciso tener en cuenta cada uno de los fenómenos independientes involucrados. La intensidad de los picos de difracción depende fundamentalmente del factor de estructura, F_j , que se obtiene sumando la dispersión que sufre la radiación por cada uno de los átomos que forman la celda unidad. Por tanto, para calcular el factor de estructura es necesario conocer las posiciones de los átomos dentro de la red cristalina, el tipo de átomo que las ocupa y el movimiento térmico de los mismos.

Además del factor de estructura, hay que incluir en la expresión final de la intensidad varios términos más, como el factor de multiplicidad, M_j , que es igual al número de planos diferentes cuyas reflexiones de Bragg se producen exactamente para el mismo ángulo de Bragg, el factor de polarización de Lorentz, L_j , y el factor de absorción, $A(\theta)$. Considerando todos los factores anteriores se llega a la siguiente expresión para la intensidad de las líneas de difracción:

$$I_j = M_j |F_j|^2 L_j A(\theta) \quad (4)$$

La intensidad de un punto i del difractograma, $Y(i)$, será la suma de las contribuciones y_j de los m picos de difracción individuales situados en la posición θ_j y de intensidad integrada I_j que solapan en ese punto, y el valor del fondo b_i , de manera que se puede escribir la expresión a minimizar de acuerdo a la ecuación (5):

$$S = \sum_{i=1}^n w_i \left\{ Y_i(\text{obs}) - \left[b_i + K \sum_{j=1}^m I_j \phi_j(2\theta_i - 2\theta_j) \right] \right\}^2 \quad (5)$$

Donde K es un factor de escala que se utiliza para normalizar las intensidades experimentales con las intensidades calculadas. Como la intensidad de un pico de Bragg I_j se introduce en la expresión anterior como un factor, es posible incluir de manera independiente una serie de funciones ϕ capaces de describir la forma de los picos de difracción,

considerando que la integral de estas funciones es uno. En las funciones analíticas que se usan habitualmente para describir la forma de un pico de difracción (Gaussiana, Lorentziana, Pseudo-Voigt y Pearson VII) se deben ajustar al menos dos parámetros: la posición del máximo del pico y la anchura del mismo a la mitad del máximo (Full Width at Half Maximum, FWHM). Mientras que la posición de los picos se puede calcular a partir de los parámetros de red, (FWHM) $_j$ se determina a partir de una expresión analítica apropiada que refleje su dependencia con el ángulo de Bragg 2θ . A menudo se suele utilizar la expresión de Cagliotti, en la cual (FWHM) $_j$ se representa en función de tres parámetros independientes, U , V y W como se recoge en la ecuación:

$$(FWHM)_j = \sqrt{U \tan^2 \theta_j + V \tan \theta_j + W} \quad (7)$$

Estos parámetros que describen el ensanchamiento de los picos de difracción se van redefiniendo durante el proceso de ajuste del difractograma.

En resumen, los parámetros que se pueden ajustar de manera simultánea con el método Rietveld son:

- a) Los parámetros de la celda unidad de cada una de las fases cristalinas presentes.
- b) Las posiciones de los átomos de cada una de las estructuras cristalinas y sus porcentajes de ocupación.
- c) Los parámetros de desplazamiento de los átomos de su posición de equilibrio en función de la temperatura.
- d) El factor de escala para cada una de las fases.
- e) Los parámetros de Cagliotti, que definen el perfil de los picos de difracción y la asimetría de los mismos.
- f) La función de fondo.
- g) El factor de textura para dar cuenta de las desviaciones respecto a la intensidad cuando la distribución de granos no es al azar.
- h) Corrección del cero, desplazamiento de muestra o transparencia de la misma.

Para iniciar el ajuste, es necesario establecer un orden de importancia de estos parámetros, según el cual se irá realizando el ajuste de forma secuencial. No existe una regla general para establecer la secuencia de ajuste, pero es recomendable no ajustar a la vez parámetros que presenten una elevada correlación entre ellos (por ejemplo los parámetros de ocupación y de desplazamiento térmico) y no aceptar valores que no sean razonables respecto a lo que se indica en la literatura.

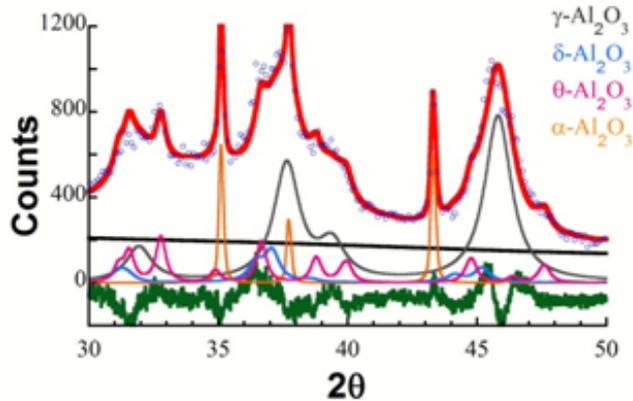


Figura 8. Ajuste mediante el método Rietveld de una muestra de bohemita calcinada a 1000°C durante 7 horas.

Volviendo al ejemplo de la muestra calcinada a 1000°C durante 7 horas, en la Figura 7 se puede observar cómo las diversas alúminas metaestables presentan un solapamiento severo de las distintas reflexiones, de forma que resulta difícil establecer cuántas de estas alúminas hay presentes. Para solucionar este problema, se recurrió al método Rietveld, el cual permite el ajuste simultáneo de todas las reflexiones, independientemente que solapen o no, y por tanto determinar si el modelo estructural propuesto es correcto. El modelo estructural inicial utilizado para ajustar el difractograma de la Figura 7 consistió en una mezcla de las fases identificadas (alúminas γ , θ y α), y para evitar resultados inconsistentes, se restringieron los valores que podían alcanzar los diferentes parámetros estructurales a los valores típicos que aparecen en la literatura. Como se observa en la Figura 8, el uso de método Rietveld permitió no sólo confirmar la presencia de estas fases, sino que además fue posible detectar una fase adicional, la alúmina δ -Al₂O₃, a partir de los picos que se observaron en la curvas diferencia.

Además de confirmar un modelo estructural, el método Rietveld, permitió obtener información acerca de las proporciones relativas de las fases presentes en la muestra a partir

	Gamma	Delta	Theta	Corundum
% en masa	79.0	5.5	8.6	6.8
Tamaño de cristalito (nm)	5	9	15	60
Parámetros de red (nm)	a = 0.7918	a = 0.5672 c = 2.4729	a = 1.1817 b = 0.2912 c = 0.5621 $\beta = 103.8^\circ$	a = 0.4765 c = 1.3004

Tabla 1. Análisis cuantitativo y parámetros microestructurales obtenidos con el ajuste mediante el método Rietveld de la muestra de bohemita calcinada a 1000°C durante 7 horas.

del factor de escala (Tabla 1). Este análisis cuantitativo es fundamental para determinar las propiedades del material, y por tanto sus posibles aplicaciones industriales. Finalmente, el método Rietveld también permitió extraer información simultánea de parámetros microestructurales (tamaño de cristalito y microdeformación) a partir de la anchura de los picos de difracción, como se muestra en la Tabla 1.

6. CONCLUSIONES

La difracción de rayos X constituye una herramienta básica para la caracterización de materiales ya que, frente a otras técnicas analíticas, permite determinar las fases cristalinas presentes. Tradicionalmente, el analista ha comparado, con ayuda de un software adecuado, la posición y la intensidad de los picos de difracción de rayos X de una muestra problema con todos los espectros recogidos en las bases de datos cristalográficas, y ha seleccionado las fases que mejor se ajustan. Sin embargo, es necesario recurrir al método Rietveld para determinar si el modelo estructural propuesto es correcto, especialmente si se produce un solapamiento severo de las reflexiones de las distintas fases. Además, el ajuste de difractogramas mediante el método Rietveld, permite obtener información acerca de las proporciones relativas de las fases y determinar el tamaño de cristalito y microdeformación.

REFERENCIAS

- R.E. Dinnebier, S.J.L. (eds), Powder Diffraction. Theory and Practice, RSC Publishing 2008.
- H.P. Klug, L.E. Alexander, X-Ray Diffraction Procedures: For Polycrystalline and Amorphous Materials, John Wiley and Sons, New York, 2nd ed. 1974
- V.K. Pecharsky and P.Y. Zavalij, Fundamentals of Powder Diffraction and Structural Characterization of Materials, Springer, 2005.
- B.E. Warren, X-Ray Diffraction, Addison-Wesley, Reading, MA 1969
- G. Will, Powder Diffraction: The Rietveld Method and the Two-Stage Method to Determine and Refine Crystal Structures from Powder Diffraction Data. Berlin: Springer, 2006.
- R.A. Young (ed.), The Rietveld method, Oxford University Press: Oxford, 1993.

25 años de Olimpiadas de Física

JAIME JULVE Y JUAN LEÓN
 Instituto de Física Fundamental. CSIC
 Madrid

BREVE HISTORIA

Circula la leyenda, que los autores de este artículo no se han detenido a comprobar pero sirve igualmente a los efectos, de que en una conocida novela de espionaje de la guerra fría, los analistas occidentales intentaban frenéticamente identificar al cerebro que estaba detrás de la temprana bomba de hidrógeno soviética. Comienzan a delimitar posibilidades de origen, edad, formación... Concluyen que muy probablemente tuvo que estar entre los participantes más destacados en la Olimpiada de Física entre tal y tal año. Obtienen listas, completan dossiers y al final, ¡eureka!, allí estaba nuestro hombre.

Esta es la aureola de prestigio que rodea a esta veterana competición científica anual de estudiantes estrictamente pre-universitarios, que no en vano tiene sus orígenes al otro lado del Telón de Acero. Así fue para la decana, la de Matemáticas (IMO), que comenzó en 1959 (Rumanía) y solo en 1976 (Austria) salió de los confines del Pacto de Varsovia, bajo los auspicios de la Organización de las Naciones Unidas. La de Física (IPhO) tiene una historia similar: arranca en Varsovia en 1967 y solo en 1982 se celebra fuera de los países del Este. La impronta, prestigio, estilo organizativo y

hasta la tradición de hegemonía de algunos países, son los mismos que en la de matemáticas. Menester es citar también la de Química (IChO) por su análoga trayectoria en la apertura al oeste: la I en 1968 (Praga) y ya la XII (1980) es en Austria, o sea que la timidez en salir del área socialista siguió el paso de sus predecesoras, al ritmo del descenso de la temperatura de la guerra fría. Las de Biología (IBO) e Informática (IOI) son las últimas en tener un nacimiento oriental con posterior expansión -ya muy rápida- al oeste, y otras inician su andadura directamente en el nuevo ámbito internacional. En la Tabla 1 resumimos una panorámica de esta evolución. Habría que citar las competiciones de área cultural, como la Olimpiada Iberoamericana de Física (OIbF, serán diecinueve ediciones en 2014, de las cuales dos celebradas en España), regionales como la APPhO (Asian Physics Olympiad) o multidisciplinarios como la EUSO (European Union Science Olympiad), etc.

La olimpiada española y las internacionales

La Física española se incorpora siete años después que las Matemáticas al movimiento olímpico, solo en 1990, y de nuevo por voluntad del Ministerio de Educación y Ciencia, que encontró en la Real Sociedad Española de Física (RSEF) un entusiástico receptor de la asignación de la no pequeña responsabilidad. El profesor Antonio Bernalte de la UNED recogió el desafío de organizar la I Olimpiada Española de Física (OEF) y a la Universidad de Salamanca cupo el honor

Evento	Año	IMO	IPhO	IChO	IOI	IBO	iGeo	IESO
	1959	Rumanía						
I Edición	1967		Polonia					
	1968			Checoslovaquia				
Primera edición fuera del Pacto de Varsovia	1976	XVIII Austria						
	1980			XI Austria				
	1982		XIII Rep. Fed. Alem					
	1983	XXIV Francia						
Primera participación de España	1989				Bulgaria			
	1990		XXI Holanda			Checoslovaquia		
	1991				III Grecia			
	1993					IV Holanda		
	1996			XXVIII Moscú			Holanda	
Organización por España	2005		XXXVI Salamanca					
	2007							Corea del Sur
	2008	LXIX Madrid						
	2010							
	2011							V Italia
	2014							VIII Santander

Evento	Año	IMO	IPhO	IChO	IOI	IBO	iGeo	IESO
Tabla 1	Olimpiadas científicas internacionales:			IMO: International Mathematics Olympiad				
				IPhO: International Physics Olympiad				
				IChO: International Chemistry Olympiad				
				IOI: International Informatics Olympiad				
				IBO: International Biology Olympiad				
				iGeo: International Geography Olympiad				
				IESO: International Earth Sciences Olympiad				

de acoger su celebración, siendo este el evento cuyo 25 aniversario celebramos. La ejecución impecable de esta primera edición establece ya el esquema organizativo y ceremonial que se ha mantenido invariado hasta hoy, adoptándose poco después el criterio de constituir el equipo participante en la IPhO (aquel año la XXI, en Gröningen, Holanda) con los primeros cinco clasificados, y el participante en la OIbF (la I sería en Colombia el año sucesivo) con los cuatro siguientes.

Un concepto en que se insiste a los estudiantes en el acto de apertura es que esta es una competición genuinamente deportiva, no se viene a aprobar, y con ello a condicionar quizá decisivamente el propio futuro académico, sino a ver quiénes son los mejores, y además a disfrutar haciendo Física. En consecuencia las pruebas serán ejercicios largos con apartados de dificultad creciente a lo largo de los cuales irán cayendo los menos preparados, o los menos inspirados ese día, que la fortuna, como en las pruebas atléticas, también tiene su parte. Por ello nadie debe sentirse juzgado por el resultado y ya el haber llegado hasta aquí es un laurel que nadie les arrebatará.

Esta exhortación enlaza con una primera reflexión sobre el significado de los resultados en las IPhO. Frente al modelo profesional, España pertenece al grupo, quizá mayoritario, de países que presentan a sus estudiantes con poca preparación añadida a su formación escolástica. En efecto el nivel

de entrenamiento focalizado a la competición de los equipos internacionales varía grandemente de un país a otro. En un extremo, copiando al olimpismo deportivo al que se confía en alto grado el prestigio nacional, algunos países separan del sistema educativo general a los estudiantes más dotados para estas pruebas y los entrenan exclusivamente en ellas, las de física en nuestro caso, en perjuicio de la formación integral del estudiante. En el otro, la fase nacional de la olimpiada, si la hay y se usa para ello, selecciona sin más a los miembros del equipo internacional según sus resultados. La mayoría en cambio, como España, selecciona al equipo en la olimpiada nacional, como parte del premio, y luego le da una preparación específica de mayor o menor intensidad y duración. En nuestro caso el objetivo del cursillo es subsanar las diferencias –crecientes en profundidad y extensión– existentes entre el “syllabus”, o temario olímpico internacional, y el “currículum” vigente en nuestro bachillerato, darle una experiencia básica de laboratorio –el gran déficit de nuestro sistema educativo– alguna familiaridad con la estructura de las pruebas de la IPhO, la importancia de la calidad de la presentación de las soluciones y el modo de organizar el tiempo disponible en los ejercicios. Poco más puede hacerse en una semana de concentración, aun con todo el esfuerzo de los estudiantes. Los resultados internacionales son pues índice de un producto de factores: la valía individual de los competidores, la preparación específica del equipo y el sistema educativo de base del país, y plantean por lo tanto la cuestión de qué es lo que expresan.



Equipo español en Hanoi con su guía mostrando medallas y diplomas obtenidos. Año 2008.



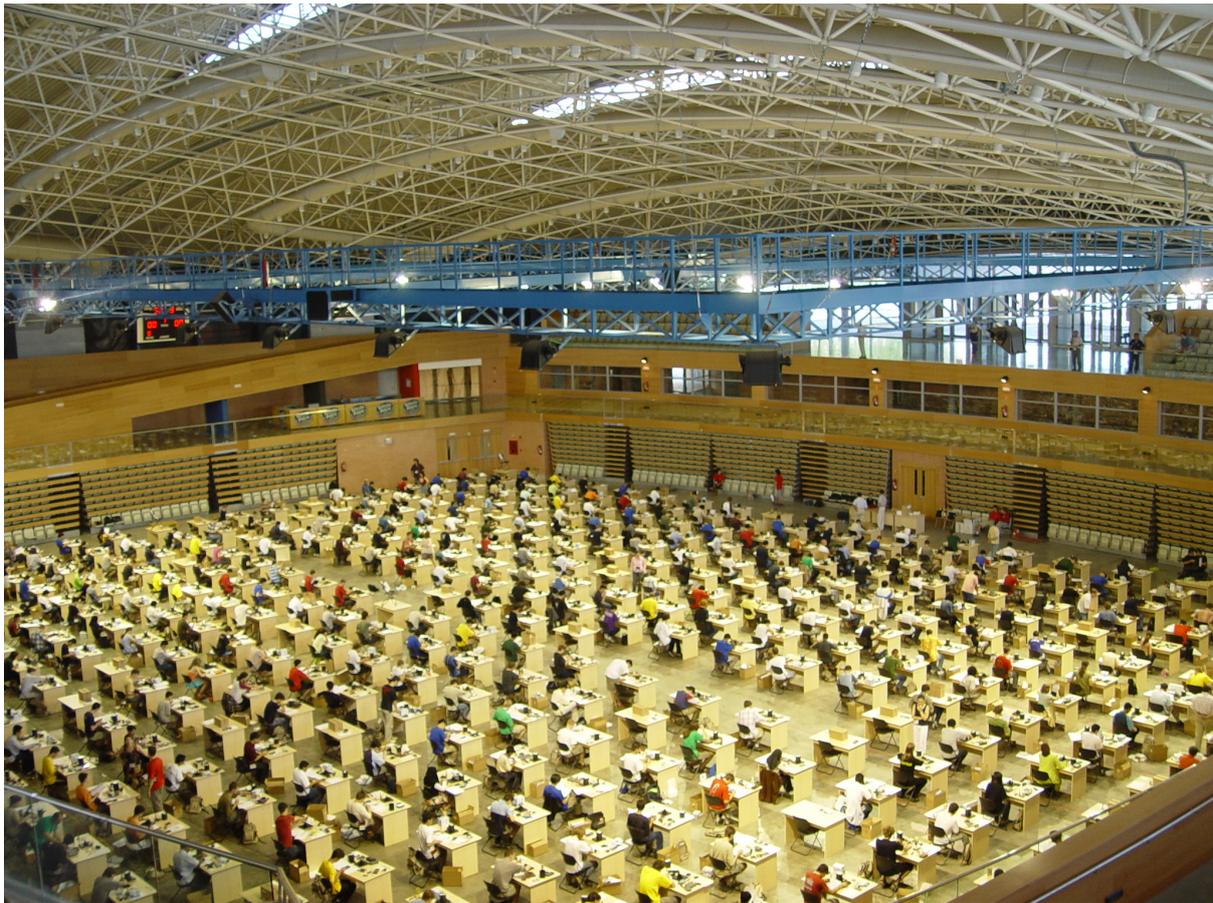
Equipo español portando la bandera en Hanoi. Año 2008.

En nuestro caso, en el que la preparación olímpica solo puede ser somera, el último factor es determinante. Esto nos lleva a la segunda reflexión: nuestros resultados, más en concreto la media a lo largo de los años, juzgan sobre todo el nivel de exigencia y contenidos de nuestro sistema educativo de bachillerato. Pero antes de proseguir debemos explicar la estructura de las pruebas y distinciones establecidos en los estatutos de la IPhO (y, con adaptación de nivel y reducción de contenidos, de nuestra OEF). Son tres pruebas teóricas y una experimental, con puntuaciones máximas de 10, 10, 10 y 20 respectivamente. O sea que la prueba de laboratorio representa el 40% del total. Una vez ordenados los estudiantes por puntuación, el 8% de ellos reciben Medallas de Oro, el 17% siguiente de Plata, el 25% siguiente de Bronce, y el 17% siguiente Menciones Honoríficas. Así pues, con una media de 350 estudiantes participantes, el número de galardonados es una cifra significativa, a diferencia de las olimpiadas deportivas.

Volviendo a nuestra reflexión, es reveladora la constatación de que en las cuatro primeras participaciones en la IPhO no obtenemos ni una sola Mención Honorífica. Solo en la quinta (China, 1994) tenemos una Mención y una Medalla de Bronce, pero es una gloria efímera. Siguen años baldíos con alguna esporádica Mención –tres en 2002 (Indonesia)- solo interrumpidos por la sorpresa (Italia, 1999) de otro Bronce y Mención, y así hasta nuestra IPhO de 2005 en Salamanca: ¡una Plata, un Bronce y tres Menciones!

¿Resultado sospechoso por jugar en casa? Poco para quien conozca el sistema de mixto de corrección de las pruebas, a cargo de los líderes de los equipos participantes, el equipo de correctores del organizador, la sesión de “moderación” entre ambos, y unas reglas de puntuación notablemente estrictas y minuciosas. Fluctuación estadística más bien, pero que empieza a revelar un cambio de tendencia esperanzador. En efecto, la experiencia acumulada de los líderes que acompañan a nuestros estudiantes, que además suelen ser los preparadores del equipo, ha llevado a una mejora estadística consistente de nuestros resultados. Ya no vuelve a repetirse un año sin conseguir al menos una Mención, en 2008 (Vietnam) obtenemos una Plata, tres Bronces y una Mención, y similares éxitos en 2011 (Tailandia) y 2012 (Estonia).

De mayor brillo es nuestra actuación en las Olimpiadas Iberoamericanas de Física, tanto en su gestión como en la propia competición. Aquí nuestros resultados están a la altura de nuestro prestigio en la Secretaría permanente de las OIBF, habiendo estado varios años al frente de la misma, y como organizadores del evento (Jaca en 2000 y Granada en 2012). En cuatro de las dieciocho ediciones ha sido español el primer clasificado, y en nuestro medallero predominan las platas y losoros, habiéndonos escapado estos últimos en solo dos ocasiones. Mantenemos una posición más que destacable incluso con respecto a Brasil, país que sigue un modelo comparativamente profesionalizado.



Prueba experimental de la Olimpiada 36 en Salamanca. Año 2005.

Olimpiadas y sistema educativo

¿Triunfo también de nuestro sistema educativo? Los voluntarios organizadores de las Fases Locales (por demarcaciones heredadas de los antiguos distritos universitarios, que tienen como referente a los actuales Coordinadores de las pruebas de acceso a la universidad) y de la OEF –profesores de enseñanza secundaria, universitarios e investigadores– saben que no. Conocen de primera mano la gradual pérdida de contenidos del currículum de bachillerato, que marca incluso a estudiantes motivados como los interesados en las olimpiadas. Los profesores de los centros que preparan a sus olímpicos saben cuánta enseñanza suplementaria deben dedicarles fuera del temario oficial y del horario lectivo. La labor de algunos esforzados profesores y centros merece el mayor aplauso, pero no refleja el tono medio del sistema. Análogamente, el trabajo de los preparadores de nuestros equipos internacionales, responsabilidad de la Comisión de Olimpiadas de la RSEF, ha ido mejorando nuestros éxitos competitivos, que tampoco representan al sistema sino la eficacia del cursillo, la valía intrínseca de nuestros estudiantes, a menudo muy autodidactas, y el fruto de una cultura del esfuerzo que desgraciadamente no es la norma. Aun así, sobre unos 80 países participantes en la IPhO, España se sigue colocando muy atrás, en torno a la 60ª posición,

por debajo de la media europea. Nuestro mejor papel en la OIBF es una combinación de varios factores: el mayor número relativo de estudiantes españoles (cuatro sobre unos 65 participantes totales), la realidad del nivel medio de la enseñanza secundaria en los países iberoamericanos, y haber recibido el mismo cursillo preparatorio que el del equipo IPhO, pero con pruebas en la OIBF bastante más sencillas que las de la IPhO.



Equipo español con el presidente de las Olimpiadas internacionales, Prof. Hans Jordens, en Bangkok.



Coreanos en el equipo español. Año 2011.

Por otro lado, las sucesivas ampliaciones del “syllabus” por la vía de los hechos, con pruebas de dificultad creciente -poniendo problemas que quedan más y más allá del syllabus original, que no son sencillos ya ni para licenciados- están llevando a una clara profesionalización de la misma, restringiéndose prácticamente las clasificaciones altas a los seguidores del modelo profesionalizado. Unido este factor a las ya citadas desventajas de nuestros estudiantes de bachiller, cabe formular la pregunta, extensible en medida variable al resto de nuestro olimpismo científico, del sentido de porfiar en ofrecer una imagen internacional que no está a la altura de otros parámetros representativos del país. Concluimos que sí lo tiene. De entrada España no puede sustraerse a participar en estos eventos internacionales y, por hablar de la Física, hasta cumplió, muy brillantemente esta vez, como organizador de la IPhO en 2005. La eficaz y activa presencia de un miembro español en el Comité Internacional permanente, le ha dado una ulterior proyección en estos años. Se mantiene el compromiso institucional y económico del MEC con el evento, aun con inevitables recortes en los últimos tiempos en los premios en metálico a los participantes en la OEF (los no pequeños costos logísticos locales los cubre la universidad anfitriona), y la comparación internacional, especialmente con los países europeos, sigue siendo un termómetro imprescindible del nivel de nuestra enseñanza secundaria. Pero sobre todo querríamos destacar algunos aspectos más gratificantes: Como gran Fiesta de la Física,

es un estimulante a nivel nacional del interés por la misma y del descubrimiento de su aspecto lúdico, la preparación y celebración divierten a profesores y estudiantes, y son semillero de vocaciones científicas.

Este último punto puede ser de interés especial para los lectores de ACyT. Gracias a la Asociación de estudiantes ex-olímpicos de Física y al interés de algunos profesores se ha podido hacer algún seguimiento de su trayectoria académica y profesional posterior. Los datos son muy fragmentarios pero dan indicaciones significativas: un número apreciable ha cursado la Licenciatura en Ciencias Físicas, seguida habitualmente del Doctorado. Muchos de ellos investigan en grupos nacionales y extranjeros, obteniendo resultados muy relevantes que publican en revistas de alto impacto. Muchos están en los EEUU y diferentes países europeos y constituyen una gran esperanza para después de la crisis. Se da el caso de que muchos altos clasificados de la OEF lo han sido a la vez en las de Matemáticas y Química y posteriormente han escogido estas disciplinas u otros estudios técnicos, ósmosis que en realidad nos llevaría a valorarlas en conjunto. Desconocemos el número de los que han encontrado ocupación profesional relacionada con la física fuera del ámbito académico e investigador. Nota obligada merece la participación femenina: sobre una media de 130 competidores, las chicas han oscilado entre diez y un récord de treinta, con la media en torno a veinte, y una repartición por el

medallero en proporción. Cabe resaltar que sólo en una ocasión han conquistado el primer puesto, con el detalle añadido de tratarse de una estudiante de familia de procedencia ucraniana. Con ello volvemos a la anécdota inicial. Entre los ex–campeones de las IMO se cuentan medallas Fields (el Nóbel de las matemáticas) como el ruso Grigori Perelman, el australiano Terence Tao, o la iraní Maryam Mirzakhani este mismo año 2014. De la IPhO, fuera del novelesco científico nuclear soviético, no podemos presentar datos, pero estamos seguros de que muchos de ellos están diseminados en la comunidad científica internacional, y esto lo podemos afirmar extrapolando la trayectoria de nuestros olímpicos nacionales.



La representación española en la IX Olimpiada Iberoamericana de Física en Salvador da Bahia al completo. Año 2004.



Equipo español con miembros de la embajada de España en Astana.

E-BIBLIOGRAFÍA:

www.olimpiadamatematica.es
www.imo-official.org
www.rsef.es/oef
www.jyu.fi/ipho
oc.uan.edu.co/oibf/oibf.htm
www.rseq.org/olimpiadas
www.ioinformatics.org

www.ibo-info.org
www.geoolympiad.org
www.ieso-info.org
http://en.wikipedia.org/wiki/International_Science_Olympiad
http://en.wikipedia.org/wiki/Asian_Physics_Olympiad
<http://apho.phy.ntnu.edu.tw/>
http://en.wikipedia.org/wiki/European_Union_Science_Olympiad

Caracterización botánica y geográfica de la miel de espliego (*Lavandula latifolia* Medicus) de la Denominación de Origen, D.O., Miel de La Alcarria

AMELIA VIRGINIA GONZÁLEZ-PORTO¹, TOMÁS MARTÍN ARROYO¹, CRISTINA PARDO MARTÍN²

¹ Centro Agrario de Marchamalo, Camino de San Martín, s/n, 19180 Marchamalo, Guadalajara. ² Dpto. de Biología Vegetal II, Facultad de Farmacia, Pl. Ramón y Cajal s/n, 28040 Madrid

INTRODUCCIÓN

La Real Academia de la Lengua define la miel como una “sustancia viscosa, amarillenta y muy dulce, que producen las abejas transformando en su estómago el néctar de las flores, y devolviéndolo por la boca para llenar con él los panales y que sirva de alimento a las crías”.

El BOE [1], la define como “sustancia natural dulce producida por la abeja *Apis mellifera* a partir del néctar de plantas o de secreciones de partes vivas de plantas o de excreciones de insectos chupadores presentes en las partes vivas de plantas, que las abejas recolectan, transforman combinándolas con sustancias específicas propias, depositan, deshidratan, almacenan y dejan en colmenas para que madure”. Por su origen botánico, se distinguen dos tipos principales de miel: a) de flores o de néctar, producida del néctar de plantas recolectado por la abejas, y b) de mielada o mielato, procede de excreciones de insectos chupadores de plantas (hemípteros) o de secreciones de partes vivas de las plantas.

La Alcarria, encuadrada en la provincia Castellano-Maestrazgo-Manchega sector Celtibérico-Alcarreño [18], comprende parte de las provincias de Cuenca y Guadalajara, con una extensión de 4.245 km², delimita, al N, entre la Meseta de Sigüenza y la Serranía Conquense, al E, con el sinclinal de Altomira, al S con los ríos Tajo y Guadiela, y al O, con la Campiña de Henares [4]. Incluida en los pisos bioclimáticos [15]: mesomediterráneo con ombroclima seco; oromediterráneo subhúmedo; y supramediterráneo húmedo, con encinares, encinares con sabina albar, quejigares, sabinas y sabinas con pinares, alternando con matorrales de labiadas y leguminosas como vegetación natural.

Tradicionalmente, en La Alcarria han existido tres cosechas de miel: temprana, que aprovecha la floración de la primavera temprana, fundamentalmente de romero (*Rosmarinus officinalis*); medianil, multifloral de final de primavera

y principios de verano; y tardía, de verano, es la que definió popularmente a la miel de La Alcarria con unas ciertas características, siendo el espliego (*Lavandula latifolia*) la planta alcarreña por excelencia [13].

La miel es un producto muy complejo cuya composición varía notablemente según sus orígenes botánico y geográfico, las condiciones climatológicas, edad, etc. [13]. Se debe a que, las abejas obtienen el néctar de un gran número de flores y, por tanto, no existen mieles monoflorales totalmente puras, siempre tienen “contaminación” de otros néctares o mieladas.

Para determinar el origen botánico y geográfico de la miel es necesario conocer y contrastar varios parámetros inherentes a cada tipo de miel. Por ello se utilizan distintos tipos de análisis: melisopalinológico (identificación y cuantificación de polen); físico-químico (conductividad eléctrica); y sensorial (organoléptico).

El análisis melisopalinológico permite identificar y cuantificar los granos de polen presentes en un sedimento de miel. El espectro polínico obtenido es un reflejo de las plantas que han visitado las abejas, determinando su procedencia botánica y geográfica, además de proporcionar información acerca de su calidad.

Para tipificar una miel como monofloral, el contenido de polen de la especie dominante debe ser superior al 45%. Sin embargo hay excepciones, las plantas cuyo polen puede estar infra (producen poco polen pero mucho néctar) o supra (grandes productores de polen) representado [6 y 22].

Del análisis físico-químico, la conductividad eléctrica (c.e.) es el único carácter relacionado con el medio, en concreto con la ecología, y orienta sobre el origen de la fuente vegetal (floral o mielada) [13].

El análisis sensorial (apariencia, olor, gusto y textura) permite definir las características organolépticas inherentes a una miel y relacionarla con un origen botánico determinado [20]. Los primeros análisis sensoriales fueron realizados en Francia en el año 1979 [16]. Olor y gusto están relacionados con la composición de los compuestos volátiles presentes en la miel los cuales, a su vez, están vinculados con su origen floral y con la fisiología y hábitos de pecoreo de las abejas [9, 17 y 10].

La miel de espliego es la más característica e importante de la D.O. miel de La Alcarria. Sin embargo, en los últimos años, se está convirtiendo en una de las más escasas debido a la gran proliferación del lavandín (híbrido natural entre el espliego, *L. latifolia*, y la lavanda, *L. officinalis*), que está desplazando, e incluso eliminando, al espliego. También, la pérdida de prácticas tradicionales como su siega y recolección para obtener aceites destinados a perfumería, hace que su proliferación sea menor.

METODOLOGÍA

Muestreo

En 2009, el Consejo Regulador, solicitó el ajuste del contenido de polen de *L. latifolia* (espliego) como representativo de una definición de Miel de Espliego dentro de la Denominación de Origen Miel de La Alcarria [11]. Este trabajo es parte del ensayo realizado para la corrección del pliego de condiciones. Con este fin, se analizaron 195 muestras pertenecientes a la base histórica de datos del Centro Agrario de Marchamalo, producidas en esta zona y con contenido de polen de espliego superior al 10 %, Tras el espectro polínico, se eliminaron aquellas muestras que presentaban algún tipo de floración ornamental foránea a la zona, utilizándose para su definición el espectro polínico y las características físico-químicas y organolépticas típicas de las mieles artesanales espliego.

Métodos utilizados

Análisis melisopolinológico, siguiendo los métodos normalizados y recomendados por la International Commission for Bee Botany ICBB [7]. Para la expresión de los datos cuantitativos se ha seguido a [8].

El método conductimétrico, medida de la concentración de iones presentes en la muestra, ha sido el utilizado para conocer la c.e. [12].

El método colorimétrico CIELAB, modelo cromático usado para describir todos los colores que puede percibir el ojo humano, e indica los parámetros que definen el color: claridad o luminosidad (L^*), cromaticidad rojo/verde (a^*), cromaticidad amarillo/azul (b^*), croma (C^*ab) y ángulo de tono (hab.10).

En el análisis sensorial se han seguido las indicaciones de la IHC [5 y 16] (Figura 1), que consta de los siguientes pasos:

Fase Visual (define el aspecto de la miel): color (valoración Pfund: >114 = ámbar oscuro; 86-114 = ámbar; 51-85 = ámbar claro; 35-50 = ámbar extrablancos; 18-34 = blanco; 9-1 = extrablancos y <8 = blanco agua), tonalidad, textura (cristalización o no) y defectos e impurezas.

Fase Olfativa: aroma de la miel. Se define según un vocabulario normalizado de la rueda de olores y aromas de la miel, cuantificando la intensidad y persistencia del olor, apreciado por vía nasal directa y retronasal.

Fase gustativa: sensaciones básicas que define cualquier alimento como ácido, amargo, dulce y salado. Además, se añaden las descripciones típicas del gusto y retrogusto que se percibe. Para cada una de las definiciones dadas se valora la intensidad de la cualidad entre 1 y 3, según el menor o mayor grado de la misma (suave, medio y fuerte), respectivamente.

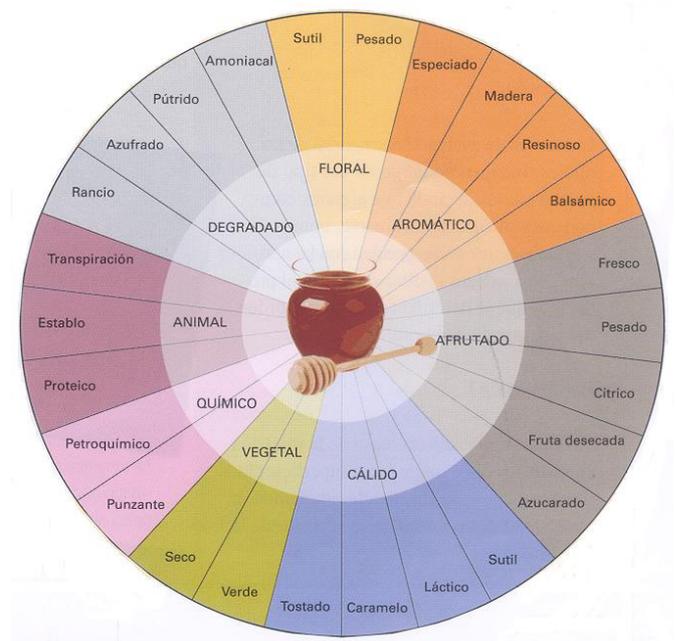


Figura 1. Rueda de aromas IHC (2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El espectro polínico indica que el porcentaje de polen de espliego varía entre el 8 – 75 %, siendo el valor promedio del 19,76 % (Figura 2). Este polen aparece acompañado de otras labiadas, de otras plantas presentes en la zona, mayoritariamente brasicáceas, leguminosas, chenopodiáceas, *Quercus ilex*, *Retama*, *Rubus*, *Salix*, *Xanthium*, cistáceas y el girasol (*Helianthus*), y de plantas que aparecen sólo de forma testimonial, no viven en esta zona, como brezos (ericáceas, excepto *Artostaphylus*), cantueso (*Lavandula stoechas*) o jara pringosa (*Cistus ladanifer*).

La elevada presencia de labiadas es característica propia de La Alcarria y de las mieles producidas en su entorno. La miel de espliego, al ser de verano, va acompañada de pólenes de especies típicas de floración estival. Sin embargo, también aparecen plantas excluyentes, como es el caso de brezos, jaras o cantuesos, o el del girasol. El primer caso corresponde

con plantas que no crecen en La Alcarria y no deberían aparecer en el espectro polínico. Sin embargo, sí están presentes en los bordes del área alcarreña, próximos a zona de Sierra, de suelos más ácidos y silíceos, y donde, de forma testimonial, las abejas han podido llegar. En el caso del girasol se observa que las características organolépticas del espliego sólo se conservan con seguridad cuando el polen de girasol no supera el 15%, el de tomillo el 10% y el de zarza el 12%. Por encima de estos porcentajes las características clásicas de esta miel son solapadas por el néctar de estas tipologías.

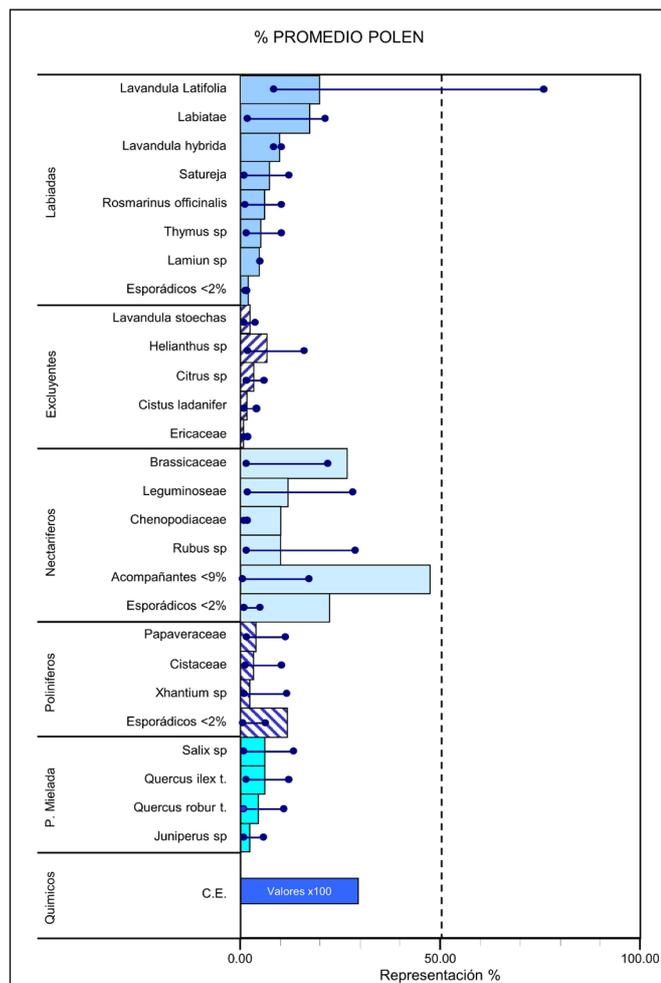


Figura 2. Espectro polínico representativo de la miel de espliego (*Lavandula latifolia*) de la D.O. Miel de La Alcarria.

Los resultados obtenidos de c.e. (Tabla 1), presentan valores relativamente bajos. Valores bajos de c.e. están acordes con los obtenidos para otros tipos de mieles monoflorales artesanales [14] excluyendo, evidentemente, los mielatos y las mieles comerciales y son los esperables para la miel de esta zona, La Alcarria, de particular edafología y diversidad vegetal [19], enmarcando la producción de miel de espliego en las provincias biogeográficas españolas: Aragonesa, Castellano-Maestrazgo-Manchega y Catalano-Valenciano-Balear.

Teniendo en cuenta la c.e., los análisis organolépticos y polínicos, se observó que las mieles con porcentajes de

polen de espliego mayor del 10% no se dispersaban significativamente de las de contenido igual o superior al 15%. Sin embargo, mieles con contenido de polen igual a 10% si lo hacían. Estas observaciones dan un claro indicio de la diferenciación entre las mieles de espliego y las que, con similares características organolépticas, corresponden al lavandín [3].

	c.e. (mS/cm)	a* ¹⁰ (cromaticidad +rojo/-verde)	hab.10 (tono)	L* ¹⁰ (claridad)
Máximo	0,53			
Promedio	0,29±0.11	6.20±3.78	84.44±3.00	74.35±5.18
Mínimo	0,13			

Tabla 1. Valores de conductividad eléctrica y colorimetría de las mieles de espliego de la D.O. Miel de La Alcarria.

En cuanto al análisis sensorial se definen estas mieles de la siguiente forma:

Fase Visual (Tabla 1 y Figura 3): mieles, en estado líquido, de color bastante claro, encuadradas dentro del ámbar claro (Pfund de 41±13 mm) y cierta cromaticidad al verde, toma ciertas connotaciones entre el ocre y el marrón cuando cristaliza, siendo las tonalidades amarillo y ocre (alrededor del 70%), con intensidad 2, las más frecuentes. La textura líquida, o cristalizada de naturaleza pastosa.

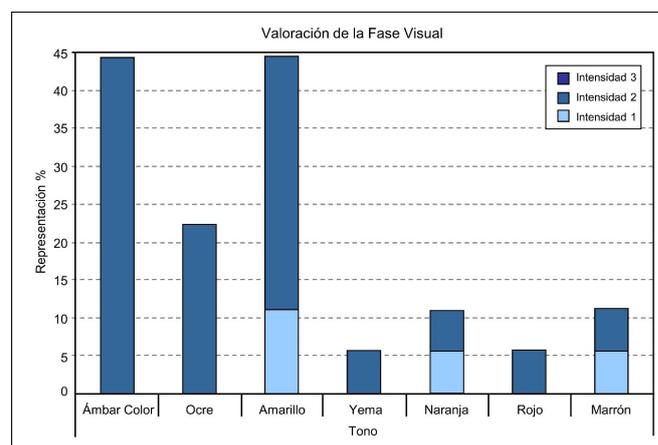


Figura 3. Resultados de la fase visual del análisis sensorial.

El color está relacionado con su origen botánico, fundamentalmente en la composición del néctar en sales minerales, aminoácidos, carotenos, polifenoles [2], y es un parámetro de calidad. Un tipo de miel puede presentar variaciones en su color debido a múltiples factores, como el envejecimiento de la cera que provoca un oscurecimiento de la miel [21]. En la miel de espliego observamos un oscurecimiento al cristalizar.

Fase Olfativa (Figura 4): presenta gran variabilidad en intensidad y persistencia de sus sensaciones olorosas o aromáticas. Es fundamentalmente aromática con connotaciones balsámicas (90% de las muestras) y con intensidad media (2). El resto de definiciones resultan sensaciones acompañantes, mayoritariamente florales y cálido sutil, con intensidad media (2). Otras sensaciones suelen ser cualidades secundarias, aportadas por el néctar de las plantas acompañantes presen-

tes en menor cantidad. Estas sensaciones están englobadas en afrutadas azucaradas o, incluso, cítricos, aromático madera, cálido ahumado, oleoso o sutil, floral desde floral a fresco y débil y/o vegetal fresco, seco o verde. Estas sensaciones provienen, fundamentalmente, de la presencia más o menos importante de néctar de frutales, mieladas, ajedrea, girasol, y mezcla con lavandín.

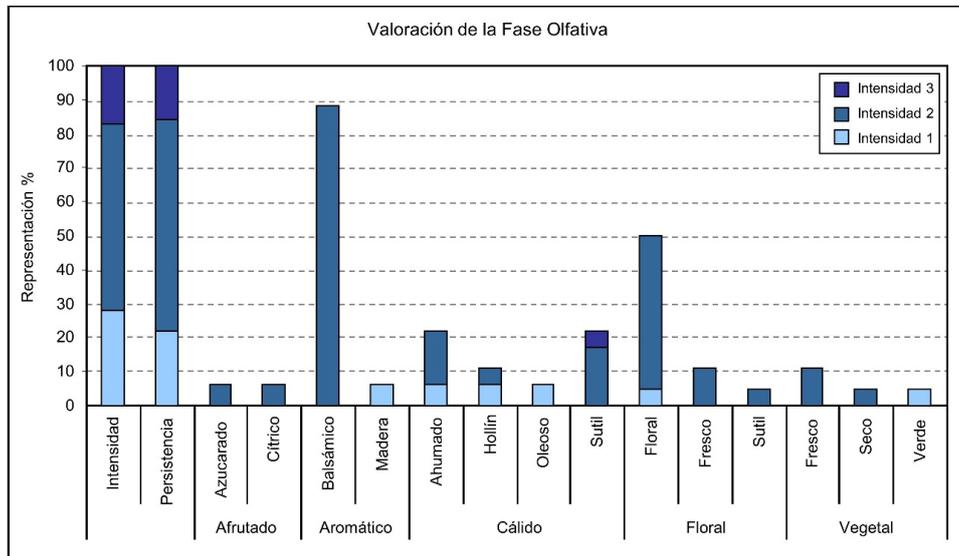


Figura 4. Resultados de la fase olfativa del análisis sensorial.

Fase Gustativa (Figura 5): variabilidad en las sensaciones proyectadas con intensidad entre media (2) y fuerte (3). Marcado carácter dulce y diferente acidez, amplio abanico de sensaciones gustativas, destacando en casi el 90% de las muestras, un sabor balsámico de importante intensidad (2-3) y connotaciones secundarias que van desde el afrutado al vegetal pasando por aromático y floral. Retrogusto

fundamentalmente fresco, en ocasiones acaramelado y empalagoso o cierto estímulo picante, dependiendo del néctar acompañante.

La ficha descriptiva que engloba y define a todas las producciones de miel de "lavanda" [14], coincide con las obtenidas en las mieles analizadas en este trabajo.

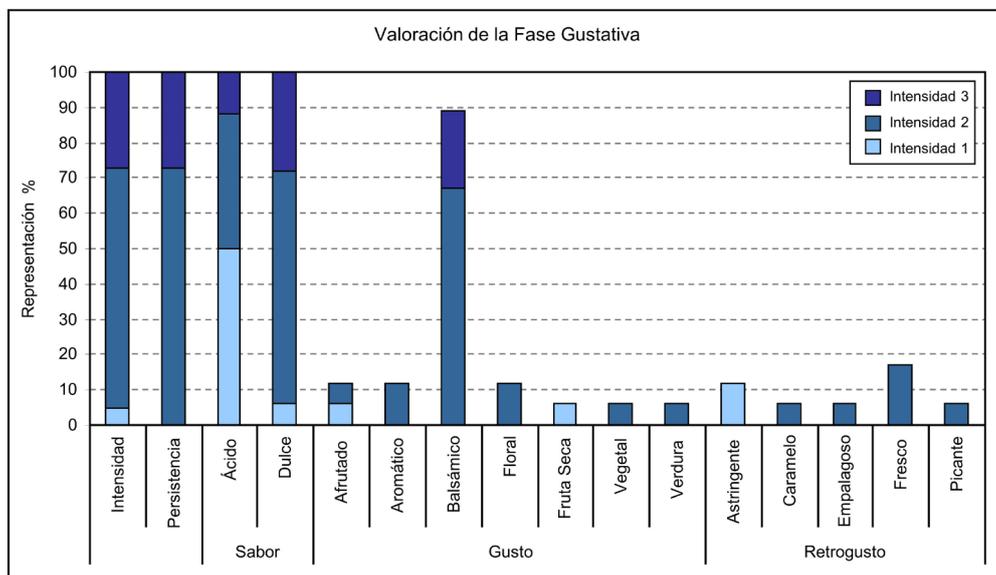


Figura 5. Resultados de la fase gustativa del análisis sensorial.

CONCLUSIONES

Definimos la miel de espliego de la D.O. miel de La Alcarria como una miel con contenido polínico de espliego superior a 10%, con otras labiadas que pueden superar el 5% del total de nectaríferas, las plantas acompañantes acorde con la floración estival de la zona y serán testimoniales los pólenes de *Lavandula stoechas*, *Cistus ladanifer* (< 3%) y *Ericaceae* (< 1%, excepto *Arctostaphylos uva-ursi*). C.E. promedio de 0,29±0,11 mS/cm, colorimetría 6.20±3.78 para a* (cromaticidad rojo/verde), 10, 84.44±3.00 para hab10 (ángulo de tono) y 74.35±5.18 para L*10 (luminosidad), ámbar en estado líquido, de ocre a tonos amarillos en estado cristalizado (cristalización fina y homogénea), a veces con ciertas notas más oscuras entre yema y marrón, aroma de intensidad y persistencia variable (de media a fuerte), olor aromático con notas balsámicas, sabor de intensidad y persistencia de media a fuerte, con un marcado carácter dulce y variable acidez, balsámica de cierta intensidad y retrogusto, con ligeras notas secas y/o ahumadas, debido a la presencia de néctar de ajedrea.

REFERENCIAS

- [1] BOE núm. 186, de 5 de agosto de 2003, páginas 30181 a 30183. Sección: Disposiciones generales. Departamento: Ministerio de la Presidencia, Referencia: BOE-A-2003-15598.
- [2] Browne, C.A. 1908. Chemical analysis and composition of American Honeys. U.S. Dep. Agric., Bur. Chem. Bull. 110: 1-93.
- [3] Castro-Vázquez, L., León-Ruiz, V., Alañon, M.E, Pérez-Coello, M.S. & González-Porto, A.V. 2014. Floral origin markers for authenticating Lavandin honey (*Lavandula angustifolia* × *latifolia*). Discrimination from Lavender honey (*Lavandula latifolia*). Food Control, 37: 362-370
- [4] Diccionario Geográfico de España. 1956. Ed. PRENSA Gráfica S.A. Madrid.
- [5] International Honey Commission (IHC) (2001). <http://www.apis.admin.ch/host/honey/minutes.htm>.
- [6] La Serna-Ramos, I. 1985. Las determinaciones melisopalinológicas en la tipificación de la miel y su aplicación al control de calidad. Informe APLE, derivado a BOE 1986 nº145 en el que se publica la ORDEN de 12 de junio de 1986, por la que se aprueban los métodos oficiales de análisis para la miel..
- [7] Louveaux, J., Maurizio, A. & Vorwohol, G. 1978. Methods of Melissopalynology. Bee World 59(4): 139-157.
- [8] Maurizio, A. 1939. Untersuchungen zur quantitativen Pollenanalyse des Honigs. Geb. Lebensmittelunters. U. Hyg. 3081-29. 27-69.
- [9] Montenegro, G., Pizarro, R., Ávila, G., Castro, R., Ríos, C., Muñoz, O., Bas, F. & Gómez, M. 2003. Origen botánico y propiedades químicas de las mieles de la Región Mediterránea Árida de Chile. Cien. Inv. Agr. 30(3):161-174.
- [10] Muñoz, O., Copaja, S., Speisky, H., Peña, R. & Montenegro, G. 2007. Contenido de flavonoides y compuestos fenólicos de mieles chilenas e índice antioxidante. Quimica Nova 390: 848-851.
- [11] Orden de del 21 de octubre de 2013, de la Consejería de Agricultura, por la que se publica el pliego de condiciones, con la modificación que no es de menor importancia aprobada según el Reglamento de Ejecución (UE) nº 785/2013 de la Comisión, de la Denominación de Origen Protegida Miel de La Alcarria. [2013/12520]. DOCM nº 204: 28147-28154.
- [12] Ortiz Valbuena, A. & Fernández Maeso, M.C. 1993. La conductividad eléctrica en las mieles de La Alcarria. Cuadernos de Apicultura 13: 9-11.
- [13] Ortiz Valbuena, A.; Fernández Maeso, M.C. & Subrá Muñoz de la Torre, E. 1996. Principales características de la miel de La Alcarria. Consejería de Agricultura y Medio Ambiente, Junta de Comunidades Castilla-La Mancha, vol.1, 94 pp.
- [14] Persano Oddo, L. & Piro, R. 2004. Main European uni-floral honeys: descriptive sheets, Apidologie 35 (1): 38-81.
- [15] Peinado Lorca, M. & Martínez Parras, J.M. 1987. Castilla-La Mancha. In: La vegetación de España. Eds. M. Painado Lorca & S. Rivas-Martínez. Pp: 163-196.
- [16] Piana, M.L., Persano Oddo, L., Bentabol, A., Bruneau, E., Bogdanov, S. & Guyot, Eclerck, Ch. 2004. Sensory analysis applied to honey: state of the art. Apidologie 35: 26-37.
- [17] Ramírez, R. & Montenegro, G. 2004. Certificación del origen botánico de miel y polen corbicular pertenecientes a la comuna de Litueche, VI Región de Chile. Cien Inv Agr 31(3): 197-211.
- [18] Rivas-Martínez, S. 1983. Pisos bioclimáticos de España. Lazaroa, 5: 33-43.
- [19] Sáenz Laín C. & Gómez Ferreras C. 2000. Miel española. Características e identificación mediante el análisis del polen, Ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- [20] Salamanca Grosso, G., Hernández Valero, E. & Fernando Vargas, E. 2002. El polen en el sistema de puntos críticos cosecha propiedades y condiciones de manejo. Facultad de Ciencias, Departamento de Química, Universidad de Tolima. A.A.546 Ibagué, Tolima.
- [21] Townsend, G.F. 1974. Absorption of colour by honey solutions from brood. Bee World 55 (1): 26-28.
- [22] Von Der Ohe, W., Persano Oddo, L., Piana, M.L., Morlot, M. & Martin P. 2004. Harmonized methods of melissopalynology. Apidologie 35: S18-S25.

Reprogramación del polen a embriogénesis para obtención de doble-haploides: herramienta biotecnológica en mejora de plantas cultivadas y forestales

PILAR S. TESTILLANO

Grupo de Biotecnología del Polen de Plantas Cultivadas.

Centro de Investigaciones Biológicas, CSIC. Ramiro de Maeztu 9, 28040 Madrid

E-mail: testillano@cib.csic.es

(Artículo reproducido del Nº 59 del Boletín de la Sociedad Española de Fisiología Vegetal, con permiso)

LA REPROGRAMACIÓN DE MICROSPORAS A EMBRIOGÉNESIS INDUCIDA POR ESTRÉS Y SU INTERÉS BÁSICO Y APLICADO

La microspora haploide originada tras la meiosis tiene una larga interfase tras la cual sufre una mitosis asimétrica originando el grano de polen o gametofito masculino con dos células desiguales que intervienen en la doble fecundación de las plantas con flores. La embriogénesis del polen es un proceso fascinante de reprogramación celular en el cual una célula en proceso de diferenciación,

la microspora, abandona su programa de desarrollo gametofítico para originar un embrión completo capaz de germinar y regenerar una planta adulta, lo que constituye un excelente ejemplo de plasticidad y totipotencia celular. La embriogénesis del polen es además una potente herramienta biotecnológica en mejora vegetal como método para producción rápida de líneas isogénicas y generación de nueva variabilidad genética, así como en propagación de genotipos seleccionados en especies con largos ciclos reproductivos o baja producción de semillas, mediante la obtención de plantas doble-haploides. La inducción se lleva a cabo por un tratamiento de estrés *in vitro* el cual, cuando se aplica en la etapa de desarrollo en que la microspora es capaz de responder, la fase de microspora vacuolada (1), provoca que la célula abandone su programa gametofítico, se desdiferencie y re programe, entre en proliferación y siga el desarrollo embriogénico, dando lugar a un embrión y posteriormente a una planta haploide o doble-haploide (2). Las plantas dobles-haploides son la vía mejor y más rápida de conseguir homocigosis completa, fijándose genotipos de interés en una sola generación (3) y reduciendo el tiempo y costes de obtención de cultivares, además de

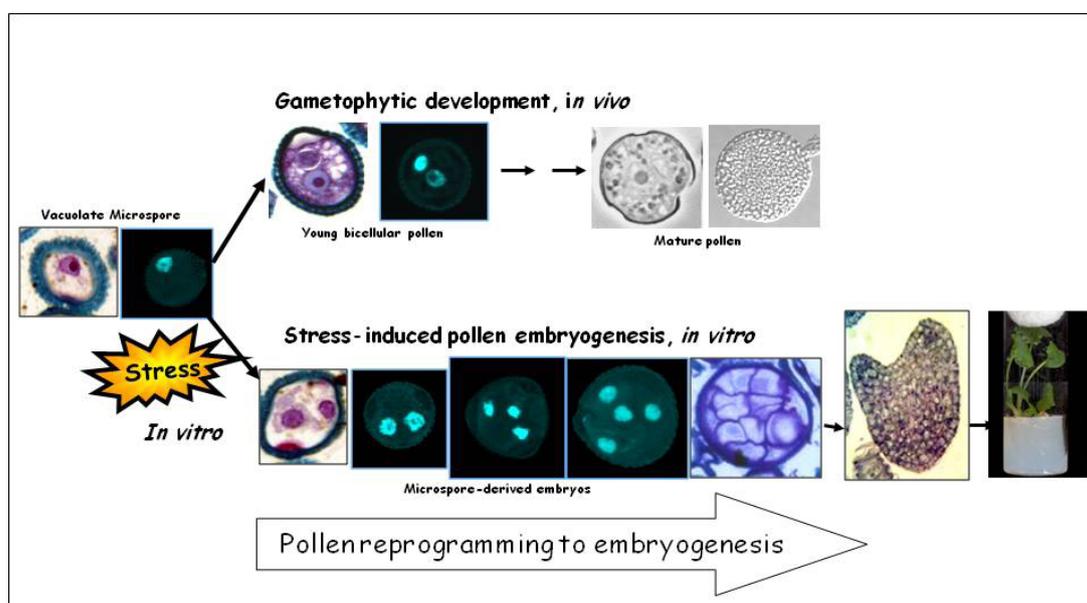


Figura 1. Esquema de la reprogramación a embriogénesis inducida por estrés de la microspora/polen en comparación con el desarrollo gametofítico.

su utilidad en estudios genéticos o de mutagénesis y en proyectos de secuenciación masiva de grandes genomas donde el uso de material haploide resulta de gran ayuda, como en el caso de los árboles. Desde que Guha y Maheshwary publicaran hace cinco décadas la obtención por primera vez de embriones y plantas haploides a partir de cultivo *in vitro* de anteras en la solanácea *Datura innoxia* (4), se han desarrollado sistemas de cultivo *in vitro* de embriogénesis de polen en más de 250 especies, mayoritariamente plantas anuales y herbáceas, además de varias leñosas (5). Sin embargo, este proceso que es hoy en día ampliamente utilizado por empresas viverísticas y semilleras, tanto en hortícolas y cereales como en árboles frutales y forestales, cuenta aún con importantes limitaciones en su explotación por la baja eficiencia de inducción y progresión de la embriogénesis en muchas especies de interés económico o medioambiental; incluso en muchas especies no puede inducirse, como por ejemplo en *Arabidopsis thaliana*, por el momento recalcitrante para este proceso. La correcta progresión del proceso depende de muchos factores que limitan su eficiencia y presenta cuellos de botella en distintas etapas, siendo la inducción una de las más importantes.

La inducción de embriogénesis de polen se consigue fundamentalmente mediante tratamientos de estrés térmico, osmótico o ayuno (6); el rendimiento del proceso es variable en distintos sistemas *in vitro* puesto que sólo un porcentaje de microsporas responde a la inducción adquiriendo competencia embriogénica, mientras otras que no son capaces de reprogramarse, se detienen en su desarrollo o mueren (7). El cultivo *in vitro* de anteras es el método más empleado para inducción de embriogénesis de polen y obtención de haploides y doble-haploides en especies cultivadas debido a su simplicidad y la posibilidad de operar mediante cultivos a gran escala para producción de embriones, metodología que puede resultar eficiente incluso en especies con bajo rendimiento de inducción (3). Sin embargo, el estudio sobre los procesos implicados resulta muy difícil de abordar en cultivos de anteras debido a la presencia de los tejidos de la pared de la antera que, por un lado impiden el acceso directo de sustancias externas a las microsporas y su manipulación, y por otro pueden intervenir en el proceso de forma activa mediante la producción de factores endógenos que estimulen o inhiban el desarrollo embriogénico. Por el contrario, los cultivos *in vitro* de microsporas aisladas en medio líquido, aunque desarrollados en un número limitado de especies, como *Brassica napus* (colza), *Hordeum vulgare* (cebada) o *Triticum aestivum* (trigo), en las que estos cultivos *in vitro* se utilizan, además de como sistemas modelo para investigación, como método de producción de plantas doble-haploides, han permitido la realización de estudios directos y avanzar en el conocimiento de los mecanismos celulares y moleculares que intervienen en la reprogramación y embriogénesis de microsporas.

A pesar de los avances, todavía es poco lo que sabemos sobre los mecanismos que inducen la desdiferenciación de una célula somática diferenciada o en proceso de diferenciación y su conversión en respuesta a estrés en una célula totipotente capaz de entrar en proliferación y de formar un embrión sin el proceso de fusión de gametos (8, 9). Los esfuerzos por desvelar los mecanismos de regulación del proceso de reprogramación de la microspora, realizados en sistemas *in vitro* de microsporas aisladas en especies modelo como colza o cebada, han proporcionado una información limitada hasta ahora debido por un lado a la dificultad de separar en etapas muy tempranas las microsporas reprogramadas del resto presente en el cultivo para ensayos bioquímicos y moleculares, y por otro debido a la escasez de herramientas genéticas aplicables a estos sistemas *in vitro*. En nuestro grupo de investigación estamos interesados desde hace tiempo en diseccionar los mecanismos reguladores de la reprogramación celular, adquisición de competencia embriogénica mediante estrés y el desarrollo embriogénico *in vitro*, habiendo identificado diversos factores y procesos implicados, algunos de los cuales se tratan en esta revisión. Por otra parte, hemos dedicado un notable esfuerzo a la caracterización de las primeras etapas de embriogénesis de microsporas en diferentes especies de interés agronómico, hortícolas (10), cereales (11), forestales y frutales, algunas especialmente difíciles por ser recalcitrantes, como el alcornoque (12), mandarino (13), níspero (14), olivo (15) y albaricoquero (16), en colaboración con laboratorios nacionales (CIFOR, INIA, Madrid) y extranjeros (Fac. Agraria, Univ. Palermo, Italia; BioFIG, Univ. Oporto, Portugal; Upsala Biozenter, Suecia; Univ. Sao Paulo, Brasil). Los trabajos de los últimos años han revelado el papel clave en el control de la reprogramación y progreso de la embriogénesis de microsporas del estrés oxidativo, la muerte celular programada, la remodelación de la pared celular, la reorganización nuclear, los mecanismos epigenéticos y las fitohormonas endógenas, especialmente la auxina, entre otros agentes y procesos, ilustrando una compleja red de mecanismos reguladores que nuestra investigación trata de diseccionar.

ESTRÉS OXIDATIVO/NITROSATIVO Y

MUERTE CELULAR

El estrés térmico, bien por calor o frío, es uno de los principales tratamientos inductores de embriogénesis de polen, los cuales producen un aumento en las especies reactivas de oxígeno (ROS) endógenas que pueden actuar como señales y activar las rutas de respuesta al estrés favoreciendo mecanismos de defensa que influyan en el destino celular o producir un desequilibrio en la homeostasis celular irreversible y la muerte celular (17). Los tipos de estrés, su duración, severidad y fase del desarrollo en la

cual se aplican modulan la respuesta y la adquisición de competencia embriogénica. Varios trabajos han demostrado la inducción de genes de respuesta a estrés, "heat-shock proteins" e inhibidores de muerte celular durante las primeras etapas de la embriogénesis de microsporas en cebada y colza (18, 20).

Trabajos más recientes de nuestro grupo con marcadores fluorescentes *in vivo* y análisis confocal, han revelado la producción de ROS y óxido nítrico (NO) en cultivos de microsporas de cebada (21). Después del estrés inductor de embriogénesis (tratamiento a 4 °C en el sistema de cebada) se ha detectado el aumento de muerte celular y de actividad proteasa tipo caspasa 3, las cuales revierten con tratamientos con DEVD-CHO, inhibidor de caspasa 3. Si se tratan los cultivos con secuestradores específicos de NO y ROS (cPTIO, Asc, Cl2Mn), que reducen los niveles de estas especies reactivas *in vivo*, disminuye la proporción de muerte celular y se favorece la viabilidad de las microsporas. En etapas posteriores se produce un segundo aumento de NO en las microsporas reprogramadas que entran en proliferación, probablemente relacionado con el inicio de la embriogénesis. Contrariamente a lo que sucede después del estrés, la aplicación de secuestradores de NO en esta etapa afecta negativamente al desarrollo de los embriones y a la eficiencia de embriogénesis, indicando que el NO producido en esta fase del desarrollo es necesario para la progresión correcta de la embriogénesis. Estos datos sugieren que en respuesta al estrés inductor de embriogénesis, las microsporas producen especies ROS y NO que al alcanzar determinados niveles estarían implicadas en la inducción de muerte celular programada en las células no embriogénicas, mientras que en etapas posteriores el NO tendría un segundo papel señalizador del inicio de la embriogénesis en microsporas reprogramadas (21).

MARCAS EPIGENÉTICAS

Además del control genético, numerosas evidencias indican un control epigenético de los procesos de desarrollo y diferenciación en plantas (22, 23). Las marcas epigenéticas son modificaciones covalentes de los constituyentes de la cromatina, como la metilación del DNA o la acetilación y metilación de histonas, heredables y reversibles y que no afectan a la secuencia de nucleótidos. Existen datos de que los cambios epigenéticos modulan la morfogénesis y revigorigación de tejidos vegetales adultos, así como la embriogénesis cigótica de especies leñosas (24, 25). La metilación del DNA constituye la modificación epigenética mayoritaria de la fibra de cromatina, que se bloquea en una conformación transcripcionalmente inactiva, lo que conduce al silenciamiento de genes. Por el contrario, la conformación de cromatina "abierta" permite la accesibilidad del genoma a la maquinaria de transcripción, mientras que la cromatina "cerrada" repri-

me la expresión de genes al limitar la accesibilidad de otras moléculas a la secuencia de nucleótidos (26, 27).

La metilación de los residuos de citosina del DNA es llevada a cabo por DNA metiltransferasas, entre las cuales MET1 se identificó como una de las transferasas de mantenimiento en plantas, aunque hay cada vez más datos que apuntan su actividad también como metiltransferasa de novo. El análisis de los patrones de metilación global del DNA en relación con la arquitectura nuclear y la expresión de BnMET1a durante el desarrollo del polen y su reprogramación a embriogénesis nos ha revelado la existencia de una reprogramación epigenética asociada a la inducción de embriogénesis de microsporas en *Brassica napus* (28). Después del tratamiento de estrés inductor se produce una disminución significativa de metilación del DNA con el cambio de programa, al inicio de la proliferación, mientras que con la diferenciación del polen y del embrión en etapas avanzadas, el DNA sufre una progresiva hipermetilación. Una dinámica análoga de metilación del DNA durante la embriogénesis de microsporas de *Brassica napus*, hemos encontrado recientemente también en alcornoque, *Quercus suber* (59) y cebada, *Hordeum vulgare* (60), especies en las que se observa una disminución del nivel de metilación global al inicio de la embriogénesis, probablemente relacionado con la expresión génica asociada al nuevo programa de desarrollo, y una hipermetilación del DNA en etapas avanzadas. También en etapas avanzadas del desarrollo gametofítico, durante la muerte celular programada del tapetum (tejido nutricional de la antera esencial para la formación del polen) tiene lugar una hipermetilación del DNA. Estos datos sugieren la implicación de mecanismos epigenéticos de metilación del DNA en la inducción de embriogénesis de microsporas de especies herbáceas y leñosas.

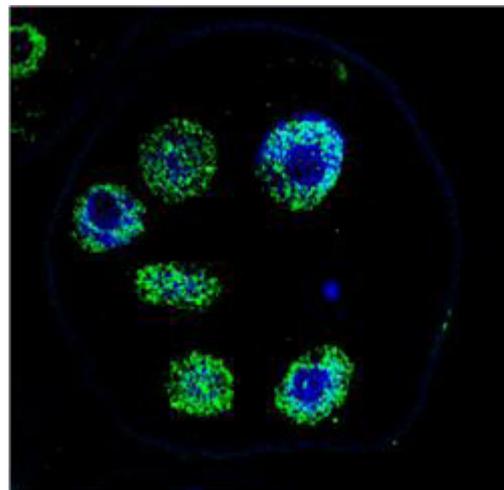


Figura 2. Patrón de metilación de DNA en núcleos de embrión joven de polen de cebada revelado mediante inmunolocalización de 5-metil-deoxi-citidina, 5mDC y análisis en microscopía láser confocal.

La metilación y acetilación de histonas juegan un papel esencial en diversos procesos de regulación. La metilación de lisinas de histonas aparece tanto en dominios de la cromatina transcripcionalmente silenciados como en regiones activas, dependiendo de qué residuos de lisina son metilados y el grado de metilación. De forma general, la metilación en las lisinas 4 y 36 de la histona H3 (H3K4 y H3K36) se asocia con genes activos, mientras que la de las lisinas 9 y 27 (H3K9 y H3K27) se asocia con regiones silenciadas (29). En *Arabidopsis*, H3K9 se encuentra predominantemente en forma monometilada (H3K9me1) y dimetilada (H3K9me2) en las regiones de la cromatina enriquecidas en transposones y secuencias repetidas, y se asocia con la heterocromatina (30). La metilación de histonas es llevada a cabo por metiltransferasas de lisina de histonas o HKMTs. Por otra parte, la acetilación de lisinas de histonas ha sido reconocida como característica de genes activos en transcripción ya que permite que el DNA sea más accesible a la maquinaria de transcripción (31, 32). Los residuos de lisina N-terminales de las histonas H3 y H4 se acetilan por diferentes acetiltransferasas de histonas (HATs, Histone AcetylTransferases).

En diferentes etapas de la embriogénesis de microsporas se han identificado cambios en los estados de condensación-descondensación de la cromatina en relación a modificaciones de la función nuclear y la actividad celular (33, 34). Resultados recientes de nuestro grupo en colaboración con Claudia Köhler (Agricultural Univ. Uppsala, Suecia) sobre el análisis de tres marcas epigenéticas de histonas, dimetilación de H3K9 (H3K9me2) y acetilación de H3 y H4 (H3Ac y H4ac), han revelado diferentes patrones de distribución espacial y temporal de las variantes de las histonas metiladas y acetiladas durante la embriogénesis de microsporas en *Brassica napus* y su correlación con los perfiles de expresión de BnHKMT y BnHAT respectivamente, analizados por qPCR (57). Estos datos sugieren la participación de H3K9me2 y HKMT en procesos de diferenciación de las células del embrión derivado de polen y su heterocromatización, mientras que H3Ac, H4ac y HAT estarían involucradas en la activación transcripcional durante la reprogramación celular y adquisición del estado totipotente en la microspora, así como en la proliferación durante el desarrollo embrionario (57). El bloqueo de la actividad de histonas deacetilasas (HDACs) con tricostatina A (TSA), asociado con la hiperacetilación de las histonas H3 y H4, en cultivos de microsporas de *Brassica napus* conduce al aumento en la proporción de células que siguen la ruta embriogénica (35), lo que sugiere que en la regulación del proceso interviene un mecanismo dependiente de HDAC.

EL PAPEL DE LA AUXINA

Es ampliamente conocido el papel de las auxinas en numerosos procesos de desarrollo incluyendo la embriogénesis, donde participa en el control del "patterning", la polarización y diferenciación del embrión (36, 37). A pesar de los numerosos datos sobre la participación de la auxina en la formación del embrión, no hay prácticamente información sobre su función y dinámica en la embriogénesis de microsporas. Las evidencias sobre el papel de la auxina en el desarrollo del embrión proceden fundamentalmente de estudios en *Arabidopsis* mediante análisis de expresión del promotor sintético sensible a auxina DR5 (38, 39), pero la información sobre otras plantas es limitada ya que los ensayos con DR5 no están disponibles para muchas especies. En este sentido, los anticuerpos de ácido indol acético (IAA), la auxina endógena mayoritaria, se han empleado para analizar la distribución de auxinas durante los procesos de desarrollo en diversas especies. Trabajos de nuestro grupo han demostrado por primera vez la expresión de auxina endógena durante la embriogénesis de microsporas en *Brassica napus* (40) y más recientemente, en colaboración con el grupo de Aurelio Gómez-Cadenas (Univ. Jaume I, Castellón), hemos detectado el incremento de auxina endógena después de la inducción de embriogénesis, acompañando a las primeras divisiones embriogénicas de las microsporas y un aumento progresivo de la concentración de IAA con el desarrollo del embrión. Más recientemente hemos comprobado que este aumento en la concentración de auxina correlaciona con la inducción de expresión de BnNIT2 (58), una nitrilasa de la ruta biosintética de auxina del IAOX de Brassicaceas (41, 42). Los tratamientos con inhibidores de transporte polar de auxina, como el NPA, y con inhibidores de acción de auxina, como el PCIB, afectan negativamente al desarrollo del embrión, bajando drásticamente la eficiencia de embriogénesis, lo que indica que el transporte y la percepción de IAA son necesarios para la formación de embriones derivados de microspora (58). La distribución de auxina es homogénea en embriones tempranos con simetría radial, mientras que en los embriones corazón y torpedo el IAA se acumula en las regiones apical y basal, con un patrón polarizado, como en la embriogénesis cigótica. Estos hallazgos indican que la biosíntesis, acción y transporte de auxina endógena están implicados en la reprogramación celular, iniciación de la embriogénesis y desarrollo del embrión derivado de microsporas.

REMODELACIÓN DE LA PARED CELULAR Y PROTEÍNAS EXTRACELULARES

Es bien conocido que muchos procesos de desarrollo en plantas van acompañados de modificaciones de la estructura y composición molecular de la pared celular, cambios que tiene como objetivo establecer una nueva relación de fuerzas entre los polímeros de la pared necesaria para el mantenimiento de formas y arquitecturas celulares específicas. Además, la pared es responsable de la comunicación con las células vecinas, muchos factores de señalización son exportados desde el citoplasma a las paredes desde donde se pueden transportar a través del apoplasto a células circundantes, estimulando procesos morfogénicos como la embriogénesis (43).

Las pectinas son los principales componentes de la matriz de las paredes celulares de dicotiledóneas. Son polimerizadas y metil esterificadas en el aparato de Golgi, y secretadas a la pared como formas altamente esterificadas, posteriormente pueden ser modificadas por pectin-metilesterasas (PMEs), que catalizan la de-esterificación del dominio homogalacturonano. La relación entre pectinas esterificadas y no esterificadas, y su distribución en las paredes celulares es el resultado de diferentes procesos (44, 45), estando su proporción y dinámica involucradas en muchos procesos de desarrollo. Se han detectados cambios en la distribución de pectinas de embriones jóvenes derivados de microsporas de varias especies leñosas como *Quercus suber* (12, 59), *Citrus clementina* (13) y *Olea europaea* (15), y en hortícolas como *Capsicum annuum* (46, 47) y *Brassica napus* (48).

Diversos trabajos empleando anticuerpos específicos contra pectinas altamente esterificadas (JIM7) y no esterificadas (JIM5) han mostrado cambios en su proporción dentro de las paredes durante el desarrollo gametofítico y la embriogénesis del polen en *Capsicum annuum* (46, 47), *Brassica napus* (48) y *Quercus suber* (59). Las pectinas altamente esterificadas son características de las primeras etapas de la embriogénesis y de células en proliferación, mientras que los altos niveles de pectinas no esterificadas son abundantes en las paredes de las células en diferenciación del embrión y del polen maduro, siendo los patrones de distribución encontrados en embriones derivados de polen similares a los de los embriones cigóticos (46, 48). Estudios de expresión e hibridación in situ fluorescente (FISH) han revelado que la pectin metil esterasa 1 (PME1) está regulada durante estos procesos de desarrollo, correlacionando su expresión con el aumento en pectinas de-esterificadas durante la diferenciación del embrión derivado de polen (48).

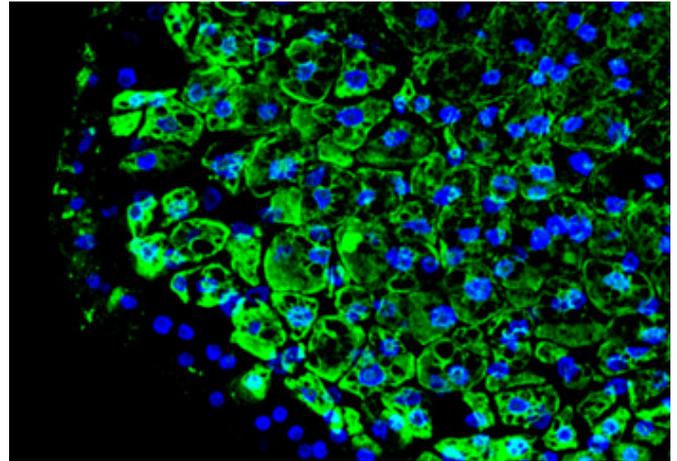


Figura 3. Expresión de Pectin Metil Esterasa en células de la región cotiledonar de un embrión de polen de colza revelada por FISH (hibridación in situ fluorescente) y análisis en microscopía láser confocal.

Son escasos los datos sobre la participación de factores externos en la regulación del desarrollo del embrión. La dificultad de acceso a los estadios más tempranos del embrión y el endospermo en el interior de los tejidos maternos ha dificultado el análisis, aunque el uso de sistemas in vitro tales como la embriogénesis somática y de microsporas ha permitido analizar el papel de algunos factores exógenos en el desarrollo del embrión. Por ejemplo, se ha detectado la presencia de glicoproteínas y carbohidratos secretados (endoquitinasas, proteínas AGPs, GLPs, Esrs) en diversos sistemas in vitro como factores estimulantes para el desarrollo del embrión (49, 51). Trabajos de nuestro grupo en cultivos embriogénicos de microsporas de maíz, en colaboración con Elizabeth Matthys-Rochon y Christian Dumas (ENS, Lyon, Francia) revelaron que el tratamiento con tunicamicina, para bloquear la glicosilación de proteínas y por tanto su secreción al medio, inhibía el desarrollo del embrión derivado de microsporas, el cual se recuperaba al suplementar el cultivo con medio procedente de un cultivo de microsporas bien desarrollado que contenía todos los factores secretados (49). Entre estos factores se encuentran proteínas de endospermo tipo Esr (Embryo surrounding region) que se secretan durante la embriogénesis cigótica; estos datos proporcionan nuevas evidencias de una función "nursing" o señalizadora tipo endospermo, estimuladora del desarrollo del embrión derivado de microsporas, en células no-embriogénicas durante las primeras etapas (52, 53).

Las proteínas de arabinogalactanos (AGPs, ArabinoGalactan Proteins), proteínas glicosiladas masivamente ricas en hidroxiprolina, constituyen una compleja familia de moléculas que se pueden encontrar en las paredes celulares,

membranas plasmáticas y secreciones extracelulares y que tienen un papel clave en muchos procesos de desarrollo, especialmente en tejidos reproductores (54). Trabajos recientes de nuestro grupo en colaboración con Silvia Coimbra (BioFIG, Univ. Oporto, Portugal), utilizando anticuerpos monoclonales para proteínas de arabinogalactano (AGPs) y analizando el patrón de expresión del gen BnAGP 39-4 Sta durante la embriogénesis de microsporas en *Brassica napus*, han revelado una fuerte inducción de AGPs (reconocidas por los anticuerpos JIM13 y JIM14) y de expresión de BnAGP 39-4 Sta tras la reprogramación y el cambio de destino de la microspora, en embriones de 2-4 células, lo que sugiere

a las AGPs como marcadores moleculares tempranos de la embriogénesis de microsporas (55). En etapas posteriores de la embriogénesis, otros antígenos de AGPs (LM2 y LM6) aumentan progresivamente con el desarrollo del embrión, localizándose en las paredes celulares y pequeños compartimentos citoplasmáticos, lo que sugiere una producción activa y secreción de AGPs durante la formación del embrión in vitro (55). Por otra parte, se ha demostrado que los tratamientos con reactivo de Yariv, que bloquea las AGPs, inhiben drásticamente la embriogénesis somática y de microsporas en distintas especies (56); El-Tantawy et al. en preparación), indicando la implicación de las AGPs en el proceso.

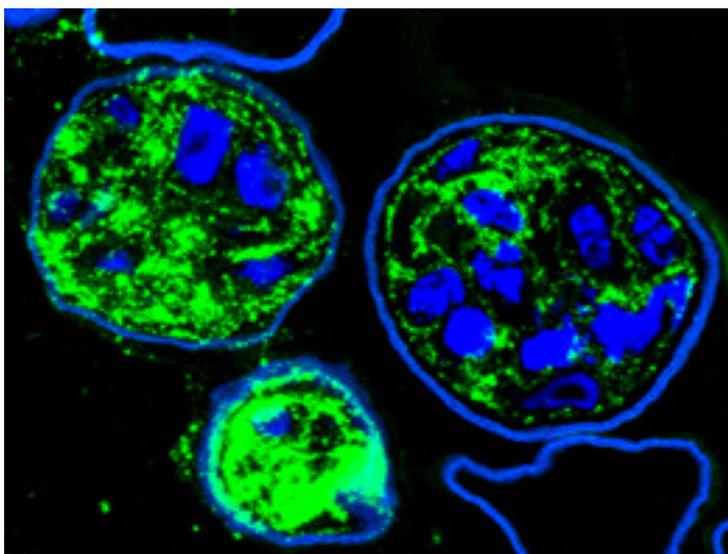


Figura 4. Localización de AGPs en embriones jóvenes de polen de cebada mediante inmunofluorescencia con anticuerpo LM2 analizada por microscopía láser confocal.

CONCLUSIONES

Nuestros datos del análisis de la inducción de embriogénesis de la microspora/polen han revelado que la reprogramación constituye un suceso central de la respuesta al estrés de las plantas mediante el cual células en proceso de diferenciación adquieren características de células totipotentes, por ejemplo la conformación de cromatina abierta, como paso previo necesario para la adquisición de un nuevo destino celular. La producción de especies reactivas ROS y NO modula la respuesta al estrés pudiendo provocar un daño oxidativo irreversible y muerte celular si los niveles son demasiado altos y/o intervenir en la señalización de procesos que dirigen la adquisición de competencia embriogénica cuando la producción de estas moléculas es limitada. En este proceso juegan un papel relevante las modificaciones epigenéticas asociadas a cambios globales en la estructura dinámica de la cromatina con implicaciones sobre la expresión génica, así como el control hormonal, particularmente de las auxinas endógenas, la secreción extracelular de moléculas señalizadoras como las AGPs y la remodelación de la pared celular debida a cambios en el estado de esterificación de

las pectinas en respuesta al cambio de programa a la ruta embriogénica.

El creciente avance del conocimiento de los mecanismos que regulan la reprogramación y adquisición de totipotencia celular, todavía limitado, abrirá la puerta al diseño de nuevas estrategias que permitirán utilizar con gran eficiencia procesos de reprogramación in vitro de gran potencial biotecnológico como la embriogénesis de polen para su explotación en programas de mejora de especies de interés agronómico y forestal.

AGRADECIMIENTOS

Estos trabajos de investigación se han realizado en el marco de proyectos del Plan Nacional del MINECO (BFU2008-00203, AGL2008-04255, BFU2011-23752), del CSIC (PIE 201020E038) y Proyectos de Cooperación Internacional de la Universidad de Palermo (CoRI, n. 45551, CoRI, n. 66444), MINECO (Acción Integrada Hispano Portuguesa PRI-AIBPT-2011-0763) y CSIC (Proyecto Bilateral CSIC-CNR 2008IT0046).

BIBLIOGRAFÍA

1. González-Melendi P, Testillano PS, Ahmadian P, Fadón B, Vicente O, Risueño MC. 1995. *Protoplasma* 187: 60-71
2. Chupeau Y, Caboche M, Henry Y, eds. 1998. "Androgenesis and haploid plants,.". Heidelberg: Springer-Verlag
3. Forster BP, Heberle-Bors E, Kasha KJ, Touraev A. 2007. *Trends Plant Sci.* 12: 368-75
4. Guha S, Maheshwari SC. 1964. *Nature* 204: 497.
5. Maluszynski M, Kasha K, Forster B, Szarejko I, eds. 2003. *Doubled haploid production in crop plants: a manual.* Dordrecht: Kluwer.
6. Touraev A, Vicente O, Heberle-Bors E. 1997. *Trends Plant Sci.* 2: 297-302
7. Satpute GK, Long H, Seguí-Simarro JM, Risueño MC, Testillano PS. 2005. *Acta Physiol. Plantarum* 27: 665-74
8. Verdeil JL, Alemanno L, Niemenak N, Tranbarger TJ. 2007. *Trends Plant Sci* 12: 245-52
9. Grafi G, Florentin A, Ransbotyn V, Morgenstern Y. 2011. *Front Plant Sci* 2: 53
10. Bárány I, González-Melendi P, Fadón B, Mityko J, Risueño MC, Testillano PS. 2005. *Biol. Cell* 97: 709-22
11. Ramírez C, Testillano PS, Castillo AM, Valles MP, Coronado MJ, et al. 2001. *Int. J. Dev. Biol.* 45: S57-S58
12. Ramirez C, Testillano PS, Pintos B, Moreno-Risueno MA, Bueno MA, Risueno MC. 2004. *Eur J Cell Biol* 83: 213-25
13. Ramírez C, Chiancone B, Testillano PS, García-Fojeda B, Germana MA, Risueño MC. 2003. *Acta Biol. Cracov. Ser. Bot.* 45: 53-8
14. Germana MA, Chiancone B, Guarda NL, Testillano PS, Risueño MC. 2006. *Plant Sci.* 171: 718-25
15. Solís MT, Pintos B, Prado MJ, Bueno MA, Raska I, et al. 2008. *Plant Sci.* 174: 597-605
16. Germana M, Chiancone B, Padoan D, Barany I, Risueño M, Testillano P. 2011. *Environ. Exp. Bot.* 71: 152-7
17. Gechev TS, Van Breusegem F, Stone JM, Denev I, Laloi C. 2006. *Bioessays* 28: 1091-101
18. Seguí-Simarro JM, Testillano PS, Risueno MC. 2003. *J Struct Biol* 142: 379-91
19. Maraschin SdF, Caspers M, Potokina E, Wuelfert F, Graner A, et al. 2006. *Phys. Plantarum* 127: 535-50
20. Muñoz-Amatriain M, Svensson JT, Castillo A-M, Cistue L, Close TJ, Valles M-P. 2006. *Phys. Plantarum* 127: 551-60
21. Rodríguez-Serrano M, Bárány I, Prem D, Coronado MJ, Risueño MC, Testillano PS. 2012. *J. Exp. Bot.* 63: 2007-24
22. Xiao WY, Custard KD, Brown RC, Lemmon BE, Harada JJ, et al. 2006. *Plant Cell* 18: 805-14
23. Grant-Downton RT, Dickinson HG. 2006. *Ann. Bot.* 97: 11-27
24. Fraga MF, Uriol E, Diego LB, Berdasco M, Esteller M, et al. 2002. *Electrophoresis* 23: 1677-81
25. Bitonti MB, Cozza R, Chiappetta A, Giannino D, Castiglione MR, et al. 2002. *J. Exp. Bot.* 53: 1047-54
26. Reyes JC. 2006. *Current Opin. Plant Biol.* 9: 21-7
27. Kouzarides T. 2007. *Cell* 128: 693-705
28. Solís MT, Rodríguez-Serrano M, Meijón M, Cañal MJ, Cifuentes A, et al. 2012. *J. Exp. Bot.* 63: 6431-44
29. Liu C, Lu F, Cui X, Cao X. 2010. *Annu Rev Plant Biol* 61: 395-420
30. Lippman Z, Gendrel AV, Black M, Vaughn MW, Dedhia N, et al. 2004. *Nature* 430: 471-6
31. Xu CR, Liu C, Wang YL, Li LC, Chen WQ, et al. 2005. *Proc Natl Acad Sci U S A* 102: 14469-74
32. Earley KW, Shook MS, Brower-Toland B, Hicks L, Pikaard CS. 2007. *Plant J* 52: 615-26
33. Testillano PS, González-Melendi P, Coronado MJ, Seguí-Simarro JM, Moreno-Risueño MA, Risueño MC. 2005. *Cytogenet. Gen. Res.* 109: 166-74
34. Testillano PS, Coronado MJ, Seguí JM, Domenech J, González-Melendi P, et al. 2000. *J. Struct. Biol.* 129: 223-32
35. Li H, Soriano M, Cordewener J, Muino JM, Riksen T, et al. 2014. *Plant Cell* 26: 195-209
36. Moller B, Weijers D. 2009. *Cold Spring Harb Perspect Biol* 1: a001545
37. Rademacher EH, Lokerse AS, Schlereth A, Llavata-Peris CI, Bayer M, et al. 2012. *Dev Cell* 22: 211-22
38. Teale WD, Paponov IA, Palme K. 2006. *Nat Rev Mol Cell Biol* 7: 847-59
39. Robert HS, Grones P, Stepanova AN, Robles LM, Lokerse AS, et al. 2013. *Curr Biol* 23: 2506-12
40. Prem D, Solís MT, Bárány I, Rodríguez-Sánchez H, Risueño MC, Testillano PS. 2012. *BMC Plant Biol.* 12: 127
41. Mano Y, Nemoto K. 2012. *J Exp Bot* 63: 2853-72
42. Ishikawa T, Okazaki K, Kuroda H, Itoh K, Mitsui T, Hori H. 2007. *Mol Plant Pathol* 8: 623-37
43. Malinowski R, Filipecki M. 2002. *Cell Mol Biol Lett* 7: 1137-51
44. Goldberg R, Morvan C, Roland JC. 1986. *Plant Cell Phys.* 27: 417-29
45. Dolan L, Linstead P, Roberts K. 1997. *J. Exp. Bot.* 48: 713-20
46. Bárány I, Fadón B, Risueño MC, Testillano PS. 2010. *J. Exp. Bot.* 61: 1159-75
47. Bárány I, Fadón B, Risueño MC, Testillano PS. 2010. *Plant Sig. Behav.* 5: 341-5
48. Solís MT. 2012. *Reprogramación del polen a embriogénesis inducida por estrés: identidad celular, muerte celular programada y papel de la metilación del DNA.* Tesis Doctoral, UCM, Madrid.
49. Testillano PS, Coronado MJ, Thierry AM, Matthys-Rochon E, Risueño MC. 2010. *Funct. Plant Biol.* 37: 985-94
50. de Vries SC, Booij H, Meyerink P, Huisman G, Wilde HD, et al. 1988. *Planta* 176: 196-204
51. Borderies G, le Behec M, Rossignol M, Lafitte C, Le Deunff E, et al. 2004. *Eur J Cell Biol* 83: 205-12
52. Testillano PS, Ramirez C, Domenech J, Coronado MJ, Vergne P, et al. 2002. *Int J Dev Biol* 46: 1035-47
53. Massonneau A, Coronado MJ, Audran A, Bagniewska A, Mol R, et al. 2005. *Eur. J. Cell Biol.* 84: 663-75
54. Seifert GJ, Roberts K. 2007. *Annu Rev Plant Biol* 58: 137-61
55. El-Tantawy AA, Solis MT, Da Costa ML, Coimbra S, Risueno MC, Testillano PS. 2013. *Plant Reprod* 26: 231-43
56. Chapman A, Blervacq AS, Vasseur J, Hilbert JL. 2000. *Planta* 211: 305-14
57. Rodríguez-Sanz H, Moreno-Romero J, Solís MT, Köhler C, Risueño MC, Testillano PS. 2014a. *Cytogen. Genome Res.* 143: 209-218
58. Rodríguez-Sanz H, Solís MT, López MF, Gómez-Cadenas A, Risueño MC, Testillano PS. 2014b. *Plant Cell Phys. Under revision*
59. Rodríguez-Sanz H, Manzanera JA, Gómez-Garay A, Pintos B, Risueño MC, Testillano PS. 2014c. *BMC Plant Biol* 14: 224
60. El-Tantawy AA, Solís MT, Risueño MC, Testillano PS. 2014. *Cytogenet. Genome Res.* 143, 200-208

El receptor de quimioquinas CCR7 en las células dendríticas, mucho más que un receptor quimiotáctico

JOSÉ LUIS RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ
Centro de Investigaciones Biológicas (CSIC)
C/ Ramiro de Maeztu, 9
28040 Madrid
e-mail: rodrifer@cib.csic.es

RESUMEN

En esta revisión analizamos las funciones del receptor de quimioquinas CCR7 en las células dendríticas (CD). Mostramos que este receptor, además de la quimiotaxis, que es un fenómeno mediante el cual las células dirigen sus movimientos hacia concentraciones elevadas de ligando en su medio ambiente, puede controlar numerosas funciones que pueden afectar las funciones de las CD y, por tanto, también a la respuesta inmune.

LAS CÉLULAS DENDRÍTICAS

Las células dendríticas (CD) son presentadoras de antígenos profesionales que se originan a partir de precursores localizados en la médula ósea (Steinman, 2007). Las células presentadoras de antígeno (CPA) forman parte del sistema inmunitario y tienen como función presentar antígenos a los linfocitos T. El antígeno se dispone en las moléculas del complejo mayor de histocompatibilidad (CMH) que está en la membrana plasmática de las células presentadoras de antígeno. La mayoría de las células del organismo pueden presentar antígenos en moléculas del CMH de clase I; sin embargo, sólo las células que presentan péptidos unidos a las moléculas del CMH de clase II se consideran como CPA profesionales. Los progenitores de CD que circulan en los vasos sanguíneos pueden ingresar mediante diapédesis en los tejidos no linfoides, donde permanecen en una etapa de diferenciación denominada "inmadura", hablándose así de CD en la fase de diferenciación inmadura o de CD inmaduras (CD_{im}) (Steinman, 2007) (Figura 1). En los tejidos periféricos las CD_{im} funcionan como centinelas preparadas para detectar las denominadas, de una manera algo imprecisa, "señales de peligro" para el organismo (Matzinger, 2007). Entre estas señales se incluyen diferentes estímulos que alteran la homeostasis como traumas que pueden dañar los tejidos, niveles anormalmente elevados de citoquinas

inflamatorias, patógenos dañinos, compuestos como el ácido úrico, etc (Matzinger, 2007). En la zona donde ocurre el daño, se produce una inflamación, nombre que se le da al conjunto de procesos celulares y moleculares desencadenados en el organismo para combatir y reparar el daño.

Las CD_{im} poseen un conjunto de características fenotípicas que les permite ejercer sus funciones de centinela de manera más eficiente. En este sentido, expresan receptores que pueden detectar a los agentes dañinos que se encuentran en las zonas inflamadas, como por ejemplo, los receptores de tipo Toll (TLR, Toll-like receptor), que reconocen patrones moleculares asociados a múltiples agentes infecciosos, o los receptores de citoquinas, que reconocen citoquinas expresadas en las zonas de infección como el TNF (tumor necrosis factor) (Steinman, 2007). Las CD_{im} presentan una elevada capacidad endocítica y fagocítica que les permite capturar a los patógenos en las zonas de peligro (Steinman, 2007). Además también expresan receptores para las quimioquinas inflamatorias que se producen en las zonas de inflamación, lo que les permite dirigirse rápidamente a las regiones donde se localizan infecciones. El microambiente encontrado en las zonas de inflamación estimula en las CD_{im} un complejo programa de diferenciación denominado maduración, que dará lugar a CD con un estado de diferenciación denominado de célula dendrítica madura (CD_{mad}) (Figura 1). Durante este proceso las CD procesan los antígenos capturados en las zonas inflamatorias y adquieren una elevada capacidad para presentar antígenos a las células T (también llamadas linfocitos T) en los ganglios linfáticos (Randolph et al., 2005). Los linfocitos T son los responsables de coordinar la respuesta inmune celular constituyendo el 70-80% del total de los linfocitos circulantes en sangre. Durante la maduración se produce una importante reducción en la capacidad fagocítica, aunque se mantiene la capacidad para endocitar antígenos mediada por receptores (Platt et al., 2010; Steinman, 2007). También se produce un incremento en los niveles de otras moléculas que ya estaban expresadas en las CD_{im} , como el antígeno mayor de histocompatibilidad (MHC) y las moléculas co-estimuladoras CD80 y CD86, que en su conjunto confiere a las CD_{mad} una elevada capacidad de presentación antigénica (Steinman, 2007). Otros cambios que tienen lugar durante la maduración de las CD son, por un lado, la disminución de la expresión de los receptores de quimioquinas inflamatorias, que permite a las CD_{mad} abandonar las regiones inflamadas ricas en quimioquinas inflamatorias; y, por otro lado, el incremento en la expresión del receptor

de quimioquinas CCR7, que dirigirá a las CD_{mad} hacia los ganglios linfáticos (Randolph et al., 2005) (Figura 1).

EL RECEPTOR DE QUIMIOQUINAS DIRIGE LAS CD A LOS GANGLIOS LINFÁTICOS

El receptor de quimioquinas CCR7 reconoce dos ligandos, CCL19 y CCL21. Ambos se expresan en las células estromales del paracórtex en los ganglios linfáticos (Randolph et al., 2005). Además, CCL19 se expresa en las propias CD_{mad} y también en la zona luminal de las venas endoteliales altas (VEA) (Randolph et al., 2005). CCL21 se expresa en las células endoteliales de los vasos linfáticos aferentes y en las VEA en ratones, pero no en humanos, donde CCL21 sólo está expuesto en el lumen de las VEA, pero no se expresa (Randolph et al., 2005). CCL21 es el primer ligando de CCR7 que atrae a las CD_{mad} desde los tejidos periféricos a los vasos linfáticos aferentes (Randolph et al., 2008). Posteriormente, cuando las CD_{mad} que se mueven a través de los vasos linfáticos se aproximan a los ganglios linfáticos, éstas serán atraídas tanto por CCL19 como por CCL21 que, como se señalaba arriba, se expresan en estas regiones (Randolph et al., 2005; Randolph et al., 2008). Una variedad de sistemas experimentales en los que la función de CCR7 está alterada demuestra

el papel clave que juega este receptor guiando las CD_{mad} hacia los ganglios linfáticos. En este sentido, se ha observado una importante reducción en el número CD que llegan a los ganglios linfáticos en ratones *plt* ("paucity of LN T cells"), unos animales que carecen de CCL19 y que expresan CCL21 sólo en el endotelio linfático (Gunn et al., 1999), en ratones KO para CCR7/- (Forster et al., 1999) y en animales tratados con anticuerpos que neutralizan a CCL19 ó CCL21 (Robbiani et al., 2000; Saeki et al., 1999). Hay que mencionar que, aparte de las CD_{mad}, CCR7 también se puede expresar en algunos subtipos CD_{im'} lo que indica que CCR7 también puede dirigir a estas últimas células a los ganglios linfáticos en ausencia de señales de maduración (Dalod et al., 2014; Forster et al., 2008). Se cree que estas CD_{im} migran continuamente hacia los ganglios en condiciones normales y son responsable de presentar antígenos propios provenientes de células apoptóticas y, por tanto, de inducir tolerancia frente a los antígenos propios (Dalod et al., 2014). Sólo en presencia de señales de peligro, estas CD_{im} pueden experimentar un proceso de maduración que conduce a la adquisición de características de potentes células presentadoras de antígeno (Dalod et al., 2014). Finalmente, CCR7 también dirige a los ganglios linfáticos a un tipo de CD denominadas plasmacitoides (Randolph et al., 2005), que están especializadas en el combate de infecciones virales. Las CD plasmacitoides, a diferencia de las convencionales descritas arriba, se encuentran mayormente en la sangre periférica, desde donde

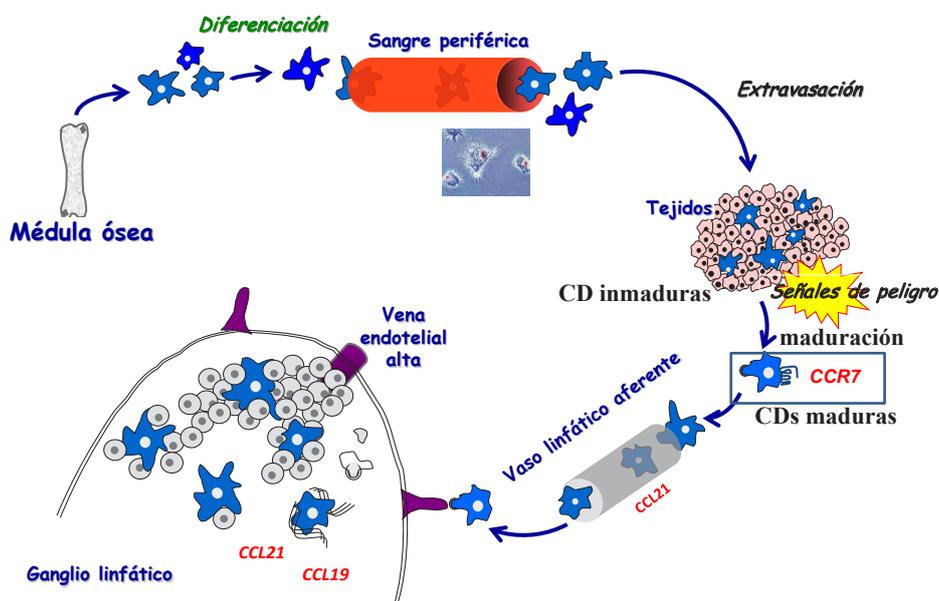


Figura 1. Ciclo vital de las células dendríticas (CD). Las CD se originan en la médula ósea, desde donde migran primero a los vasos sanguíneos y, posteriormente, se distribuyen en los diferentes tejidos del organismo. En los tejidos las CD permanecen en un estado de diferenciación denominado "inmaduro". Tras recibir "señales de peligro" (e.g. cuando detectan a través de receptores especializados la presencia de patógenos) inician un proceso de diferenciación denominado "maduración" que da lugar a las "CDs maduras". Estas, comparadas con las CD inmaduras, entre otros cambios, experimentan un incremento considerable en los niveles del receptor de quimioquinas CCR7. Este receptor –que reconoce los ligandos CCL21 (presente en los vasos linfáticos aferentes y en los ganglios linfáticos) y CCL19 (expresado en los ganglios linfáticos)– dirige las CD maduras a los ganglios donde se producirá la presentación antigénica.

migran hacia los ganglios a través de los VEA, que como se mencionó arriba, también presentan el ligando de CCL21.

El importante papel que desempeña CCR7 en la respuesta inmune se demuestra en los ratones KO para este receptor. Estos animales tienen, por un lado, alterada la respuesta de sensibilidad de contacto y, por otro, presentan un retraso en la producción anticuerpos (Forster et al., 1999). Este fenotipo ha sido observado en el laboratorio bajo condiciones de semiesterilidad. Es probablemente que los ratones deficientes en CCR7 no podrían vivir en condiciones no estériles la naturaleza. Debe también tenerse en cuenta que a estas deficiencias inmunológica causadas por la deficiencia de CCR7 pueden contribuir, aparte de las CD, también las células NK, las células B y las células T, que también expresa CCR7 (Forster et al., 1999).

La última fase del ciclo vital de las CD_{mad} tiene lugar en los ganglios linfáticos. Al entrar en este órgano, cargadas con antígenos, estas células migran hacia la zona de las células T, donde se mantendrán apostadas a la espera de un linfocito con un receptor de célula T (TCR) con reconozca el antígeno presentada por la CD. Se piensa que, una vez presentado el antígeno e inducida la activación de las células T en el ganglio, las CD entran en apoptosis y desaparecen del ganglio (Kamath et al., 2002).

CCR7 ES MÁS QUE UN RECEPTOR

QUIMIOTÁCTICO

La quimiotaxis fue la primera función descrita para las quimioquinas (Yoshimura et al., 1987). CCR7 también fue descrito inicialmente como un receptor quimiotáctico en las CD y otros linfocitos, como las células T (Dieu et al., 1998; Sozzani et al., 1998; Yoshida et al., 1997; Yoshida et al., 1998). Sin embargo, recientemente, una variedad de estudios muestran que, aparte de la quimiotaxis, CCR7 puede controlar otras funciones en las CD_{mad} (Escribano et al., 2009; Gomez-Cabanas et al., 2014; Marsland et al., 2005; Riol-Blanco et al., 2005; Sánchez-Sánchez et al., 2004; Sánchez-Sánchez et al., 2006; Yanagawa and Onoe, 2002; Yanagawa and Onoe, 2003) (Figura 2). Se observó que la estimulación de CCR7 en las CD induce la aparición de extensiones dendríticas, sugiriendo que CCR7 puede regular la citoarquitectura de estas células (Yanagawa and Onoe, 2002). Estos cambios en la morfología celular probablemente está relacionada con la capacidad de CCR7 para controlar la organización del citoesqueleto de actina (Yanagawa and Onoe, 2002). Análisis llevado a cabo con microscopía multifotón en los ganglios linfáticos indican que las extensiones dendríticas, al aumentar la superficie de las CD, confiere a estas células una elevada capacidad para "capturar" e interactuar con las células T (Mempel et al., 2004; Miller et al., 2004). Además se observa que la reducción de las extensiones dendrí-

ticas disminuye la capacidad presentadora de antígeno de las CD (Kobayashi et al., 2001). También se observó que la estimulación de CCR7 aumenta la endocitosis de las CD (Yanagawa and Onoe, 2003). Se piensa que este incremento en la captación de antígenos permite que las CD_{mad} capturen, antígenos procedentes de las zonas inflamadas cuando ya han migrado a los ganglios.

En nuestro laboratorio hemos mostrado que la estimulación de CCR7 en las CD_{mad} protege a estas células de la apoptosis (Sánchez-Sánchez et al., 2004). La protección que CCR7 confiere a estas células pudiera ser relevante para la respuesta inmunitaria. Como se mencionó arriba, las CD_{mad} entran en apoptosis y mueren en los ganglios linfáticos (Kamath et al., 2002). Esto implica que desde el momento en el que una CD_{mad} cargada con antígeno llega al ganglio hasta su apoptosis en estas regiones, estas células tienen un tiempo limitado para encontrar y activar a una célula T con un receptor TCR que reconozca su carga antigénica. En este sentido, el número de células T que presentan un TCR adecuada para un determinado antígeno que aparece en una CD_{mad} es muy bajo (1 CD_{mad} debe encontrarse con 105-106 células T). Por lo tanto, previsiblemente, los mecanismos que retrasan la apoptosis y mejoran la longevidad de las CD también pueden aumentar, consecuentemente, la probabilidad del encuentro entre las CD y las células T afines, lo que puede tener un efecto beneficioso para la respuesta inmune. Apoyando estas predicciones, se ha observado que los factores que mejoran la supervivencia de las CD_{mad} aumentan también la magnitud de la respuesta inmune celular (Hildeman et al., 2007; Kuschwah and Hu, 2010). En contraste, la reducción del número de las CD_{mad} da lugar a alteraciones en la respuesta inmune e incluso puede dar lugar a autoinmunidad, es decir que el sistema inmune ataque a las células propias (Ohnmacht et al., 2009). Por tanto, la supervivencia que CCR7 puede inducir en las CD puede contribuir a incrementar la longevidad de estas células y, por tanto, mejorar la respuesta inmune.

La estimulación de CCR7 también aumenta la velocidad migratoria de las CD_{mad} (Braun et al., 2011; Riol-Blanco et al., 2005). Estos resultados indican que la estimulación de este receptor en las CDs que se encuentran en los vasos linfáticos que conducen a los ganglios puede potenciar la migración de estas células. Como, entre ciertos límites, existe una relación positiva entre adhesión y motilidad (Palecek et al., 1997), existe la posibilidad es que CCR7 regule la velocidad de las CD_{mad} induciendo adhesión de estas células al sustrato. Sin embargo, tras la estimulación de CCR7 no hemos sido capaces de detectar cambios en la adhesión de las CD en experimentos de adhesión estáticos (Riol-Blanco et al., 2005). Pudiera ser que los efectos que ejerce CCR7 en la velocidad migratoria de las CD fueran debidos a cambios en la aidez de las integrinas que sólo podían ser detectados en ensayos de adhesión bajo condiciones de flujo. Otra posibilidad es que CCR7 afecte la motilidad a través de su control del citoesqueleto de las CDs, las cuales también pueden afectan

a la motilidad celular (31). Al margen de los mecanismos involucrados, el incremento de la velocidad migratoria puede operar en vivo, junto con los quimiotaxis para dirigir más rápidamente las CD a los ganglios linfáticos (Braun et al., 2011; Riol-Blanco et al., 2005). El incremento de la motilidad puede mejorar la respuesta inmune porque aumenta el número de CD_{mad} que alcanzan los ganglios. Se ha calculado que 500-5000 encuentros pueden tener lugar entre CD y las células T en los ganglios linfáticos a cada hora (Miller et al., 2003). Al incrementarse el número de CD que llegan al ganglio por unidad de tiempo, aumenta concomitantemente el número de contactos y consecuentemente la probabilidad de interacciones productivas entre las CD cargadas con antígeno y las células T. También se ha sugerido que la característica morfológica de las CD_{mad} puede contribuir a la alta movilidad de estas células (Randolph et al., 2005). Si este fuera el caso, la inducción de dendritas tras la estimulación de CCR7 puede también ser indirectamente responsable del fenotipo motil de las CD_{mad} .

Por último, recientemente se ha observado que la estimulación de CCR7 potencia el fenotipo maduro de las CD_{mad} , dando lugar a incrementos en la secreción de citoquinas inflamatorias, los niveles de MHC I y II, moléculas co-esti-

muladoras y, en general, la capacidad de estas células para activar a los linfocitos T (Marsland et al., 2005). En el estudio descrito, en el cual los autores usaron ratones plt como modelo de estudio, se observó que, en comparación con las CD_{mad} obtenidas de animales de fenotipo salvaje, la maduración de las CD_{mad} estaba reducida en los ratones plt (Marsland et al., 2005). Es importante señalar que CCR7 sólo estimula la aparición de fenotipo maduro en CD que han sido expuestas previamente a estímulos maduradores, como e.g. microbios, puesto que los ligandos de CCR7 no son capaces de iniciar per se la maduración de las CD_{im} (Marsland et al., 2005). Es decir, tras la exposición de las CD a las señales de peligro y el subsiguiente inicio de la maduración, la estimulación de CCR7 potencia este proceso (Marsland et al., 2005). La potenciación del fenotipo maduro de las CD_{mad} es indudablemente importante para la respuesta inmune porque favorece la activación de los linfocitos en los ganglios. En suma, además de la quimiotaxis, CCR7 controla numerosas funciones que afectan positivamente la función de las CD en la respuesta inmune. En este sentido, la estimulación del receptor CCR7 puede aumentar el número de CDs que entran en el ganglio linfático, disminuir su apoptosis, aumentar la velocidad de llegada y su capacidad para presentar antígenos lo que, en su conjunto, favorece la respuesta inmune.

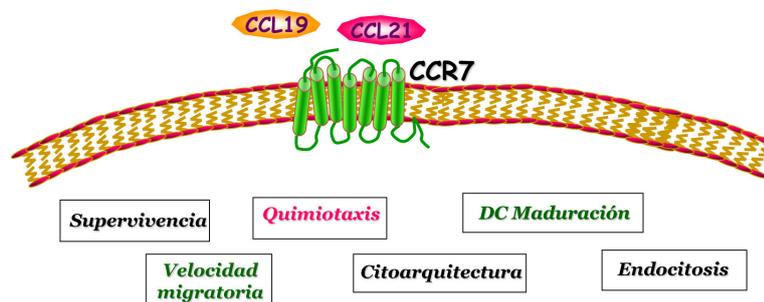


Figura 2. CCR7 es un receptor multifuncional. CCR7, aparte de la quimiotaxis, regula al menos cinco diferentes funciones celulares en las CD, incluyendo su supervivencia, maduración, velocidad migratoria, citoarquitectura y capacidad endocítica.

REFERENCIAS

- Braun, A. et al. 2011. *Nat Immunol.* 12:879-887.
- Dalod, M. et al. 2014. *EMBO J.* 33:1104-1116.
- Dieu, M.C. et al. 1998. *J. Exp. Med.* 188:373-386.
- Escribano, C. et al. 2009. *J Immunol.* 183:6282-6295.
- Forster, R. et al. 2008. *Nat Rev Immunol.* 8:362-371.
- Forster, R. et al. 1999. *Cell.* 99:23-33.
- Gomez-Cabanas, L. et al. 2014. *Nat Protoc.* 9:1102-1112.
- Gunn, M.D. et al. 1999. *J. Exp. Med.* 189:451-460.
- Hildeman, D. et al. 2007. *Curr. Opin. Immunol.* 19:516-521.
- Kamath, A.T. et al. 2002. *Blood.* 100:1734-1741.
- Kobayashi, M. et al. 2001. *J. Immunol.* 167:3585-3591.
- Kushwah, R. et al. 2010. *J Immunol.* 185:795-802.
- Marsland, B.J. et al. 2005. *Immunity.* 22:493-505.
- Matzinger, P. 2007. *Nature Immunol.* 8,11-1. 8:11-13.
- Mempel, T.R. et al. 2004. *Nature.* 427:154-159.
- Miller, M.J. et al. 2004. *J. Exp. Med.* 200:847-856.
- Miller, M.J. et al. 2003. *Proc Natl Acad Sci U. S. A.* 100:2604-2609.
- Ohnmacht, C. et al. 2009. *J Exp Med.* 206:549-559.
- Palecek, S.P. et al. 1997. *Nature.* 385:537-540.
- Platt, C.D. et al. 2010. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 107:4287-4292.
- Randolph, G.J. et al. 2005. *Nat Rev. Immunol.* 5:617-628.
- Randolph, G.J. et al. 2008. et al. *Annu Rev Immunol.* 26:293-316.
- Riol-Blanco, L. et al. 2005. et al. *J. Immunol.* 174:4070-4080.
- Robbiani, D.F. et al. 2000. *Cell.* 103:757-768.
- Saeki, H. et al. 1999. *J. Immunol.* 162:2472-2475.
- Sánchez-Sánchez, N. et al. 2004. *Blood.* 104:619-625.
- Sánchez-Sánchez, N. et al. 2006. *J. Immunol.* 176:5153-5159.
- Sozzani, S. et al. 1998. *J. Immunol.* 161:1083-1086.
- Steinman, R.M. 2007. *Nat Med.* 13:1155-1159.
- Yanagawa, Y. et al. 2002. *Blood.* 100:1948-1956.
- Yanagawa, Y. et al. 2003. *Blood.* 101:4923-4929.
- Yoshida, R. et al. 1997. *J Biol Chem.* 272:13803-13809.
- Yoshida, R. et al. 1998. *J Biol Chem.* 273:7118-7122.
- Yoshimura, T. et al. 1987. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 84:9233-9237.

Fabricación de recubrimientos nanoporosos mediante pulverización por plasma: una técnica innovadora para producir materiales avanzados

RAFAEL ALVAREZ, PEDRO J. SÁNCHEZ-SOTO Y ALBERTO PALMERO
Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (CSIC/Universidad de Sevilla)

Los materiales nanoporosos tienen aplicaciones tecnológicas bien conocidas, e.g., catálisis, biomedicina, superficies autolimpiables, células fotovoltaicas o incluso el desarrollo de dispositivos microfluídicos. Estos materiales se caracterizan por poseer una gran cantidad de cavidades interconectadas entre sí de tamaño nanométrico, que confieren nuevas propiedades asociadas a su gran superficie y posibilidad de confinamiento de líquidos y gases en su interior. Recientemente, y gracias a esta cualidad, el grupo de investigación Nanotecnología en Superficies del Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla ha desarrollado un sensor de glucosa y mejorado la eficacia de células fotovoltaicas.

En la actualidad, la producción industrial de estos materiales se realiza en forma de polvo mediante síntesis química, demandando el uso de reactivos y, en la mayoría de los casos, altas temperaturas y presiones elevadas, lo que aumenta considerablemente el coste de producción. En este

sentido, un equipo de investigadores del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) ha desarrollado una técnica alternativa para fabricar recubrimientos nanoporosos mediante pulverización por plasma*. Este procedimiento extiende el uso de técnicas propias de la industria microelectrónica a un gran número de materiales, supone una alternativa sostenible y a la vez una técnica escalable industrialmente en un solo paso y a temperatura ambiente.

En palabras del doctor Rafael Alvarez "El plasma es un gas ionizado muy energético, repleto de iones y electrones. Mediante esta técnica, un plasma pulveriza un bloque de material sólido y lo descompone en átomos individuales, que posteriormente se aglomeran sobre una superficie". Además de la síntesis de estos materiales, los investigadores han conseguido modelar la llegada de dichos átomos así como su ensamblaje sobre la superficie, permitiendo diseñar por ordenador las nanoestructuras de los diferentes

* Ver por ejemplo: R. Alvarez et al. *Nanotechnology* 2013, 24 045604, J. M. Garcia-Martin et al., *Applied Physics Letters* 2010, 97 173103, R. Alvarez et al., *Journal of Applied Physics* 2010, 108 064316, R. Alvarez et al., *Physica Status Solidi A* 2013, 210 796, R. Alvarez et al., *Plasma Processes and Polymers* 2014, 11 571

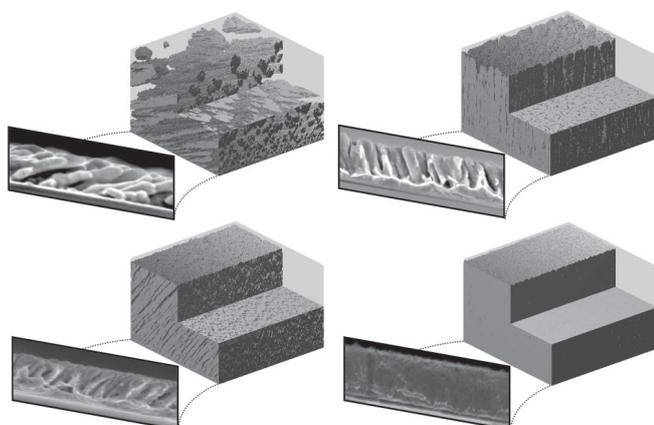


Imagen de microscopía electrónica de barrido de diferentes películas nanoporosas junto a la simulación por ordenador.

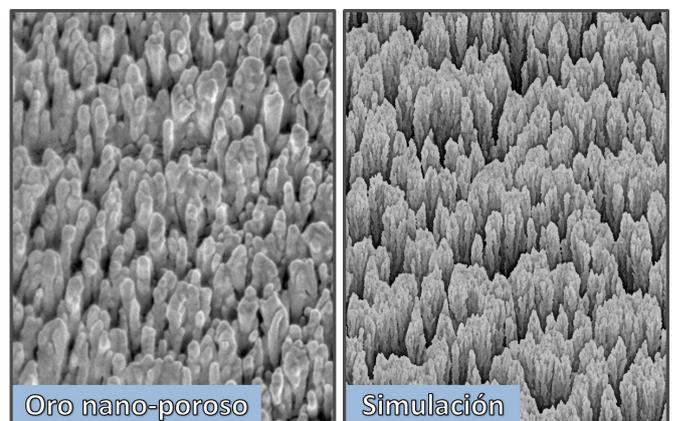


Imagen de la Izquierda: Imagen de microscopía electrónica de barrido de un recubrimiento de oro nanoporoso (vista superior). El diámetro de cada nanoestructura es de unos 20-30 átomos. Imagen de la derecha: Resultado de la simulación por ordenador.

recubrimientos fabricados en el laboratorio. Esta técnica ha sido empleada con éxito para el desarrollo de numerosos recubrimientos de utilidad, con resultados publicados en prestigiosas revistas internacionales y repercusión en diferentes medios de comunicación internacionales. Una de esas aplicaciones ha sido la obtención de recubrimientos de oro nanoporoso: a diferencia del oro convencional, su versión nanoporosa se caracteriza por generar una gran actividad catalítica en reacciones de oxidación. Esto permite usarlo, por ejemplo, para eliminar gases contaminantes y convertirlos en otros menos nocivos para el medioambiente.

Otro estudio destacable, que ha dado lugar a la presentación de una patente, es el desarrollo de recubrimientos de metales negros plasmónicos, es decir, que absorben la luz

en el espectro visible. Finalmente, también se ha patentado un nuevo tipo de recubrimientos de titanio nanoestructurado sobre superficies metálicas que presentan un comportamiento selectivo frente a bacterias y osteoblastos, de gran utilidad en la fabricación de prótesis ortopédicas de interés en biomedicina.

En este estudio han participado investigadores del Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (Centro mixto CSIC-Universidad de Sevilla), del Instituto de Microelectrónica de Madrid, del Centro Nacional de Aceleradores de Sevilla (Centro mixto CSIC-Junta de Andalucía-Universidad de Sevilla) y de la Universidad Complutense de Madrid.

Más información en: <http://nanoscops.icmse.csic.es>.

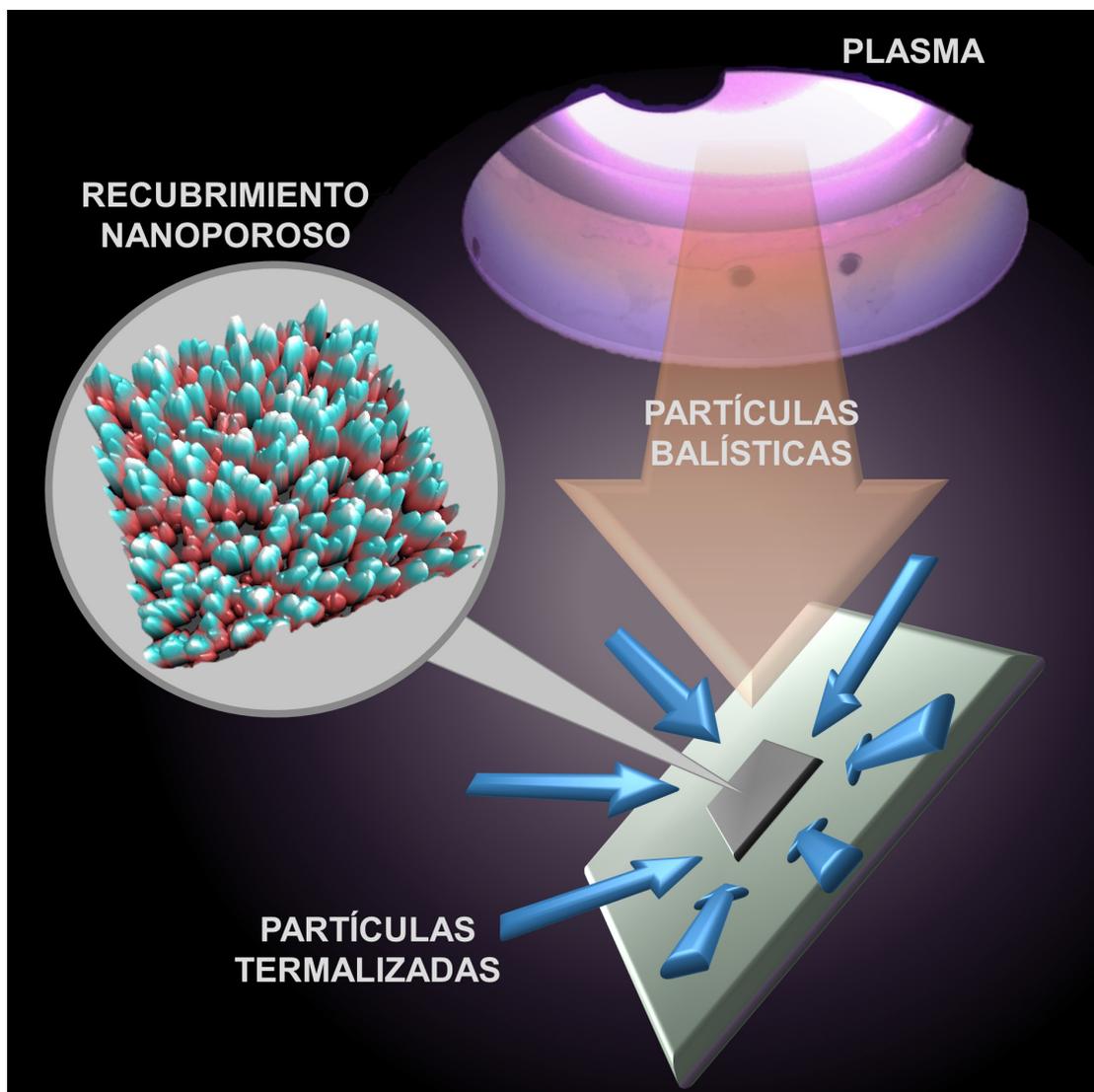


Ilustración de la técnica de crecimiento de recubrimientos nanoporosos. El procedimiento hace uso de un plasma, que erosiona y pulveriza un bloque sólido de un material dado. Los átomos eyectados desde dicho bloque pasan a la fase gaseosa, experimentando colisiones con las especies del plasma. Al colocar una superficie en el interior del reactor, estos átomos, tanto de alta energía (átomos balísticos) como de baja (átomos termalizados), se agregan sobre ella, recubriéndola. Dependiendo de la proporción entre ambos tipos de átomos se obtienen diferentes recubrimientos nanoporosos del material pulverizado.

Aspectos sostenibles de la Real Fábrica de loza y porcelana del Conde de Aranda en L'Alcora, Castellón

JOAQUIN CABRERA BACHERO, FRANCISCO PARDO FABREGAT,
TEOFILO SANFELIU MONTOLIO, ANA BELEN VICENTE FORTEA Y
MANUEL PASTOR PITARCH
Unidad de Mineralogía Aplicada y Ambiental de Universidad Jaume I de Castellón.

1. INTRODUCCIÓN

La nación española presentaba, a principios del siglo XVIII, todos los factores propios de una sociedad atrasada. La muerte en 1700 del rey Carlos II y la subida al trono de Felipe V provocaba el estallido de la Guerra de Sucesión (1702-1713), ocasionando grandes cambios en la configuración territorial y política del Estado español.

La organización tradicional de gremios aglutinaba, a comienzos del siglo, a las industrias artesanas. A lo largo del siglo se produce un proceso de concentración de la industria, desplazando a los gremios, por las mayores inversiones en el sector. La creación y construcción, por parte del empresariado, de nuevas instalaciones, dio paso a las denominadas *Fábricas Reales* en los sectores textiles, de objetos suntuarios (cerámica), de construcción naval y de armamento. Que, aunque de propiedad privada, gozaron de todo tipo de privilegios otorgados por la Administración, fruto de la política mercantilista de carácter proteccionista de Felipe V a imagen del *colbertismo* francés.

Don Pedro de Alcántara Buenaventura Ximénez de Urrea y Abarca de Bolea, IX Conde de Aranda, noble aragonés, fundó en el año de 1726 la *Real Fábrica de Loza* en la villa de Alcora (Figura 1), en su *Estado de la Tenencia de Alcalatén* en el *Reyno de Valencia*. Sus viajes y su formación militar, ayudaron a configurar las ideas de modernidad en la concepción de su propia empresa.

No faltaron en su producción, además de la loza, los adelantos de la cerámica europea: la *tierra de pipa*, la porcelana, el pedernal, la estampación, etc., como tampoco el desarrollo de sus propios diseños y ornamentaciones. La exclusiva decoración denominada *estilo alcoreño* creada por los grandes maestros locales, formados en su *Academia de Aprendices*, distinguió la producción de la manufactura a lo largo de toda su historia.

La *Real Fábrica* permaneció en manos de la Casa de Aranda a lo largo de todo el siglo XVIII. Fueron años de crecimiento social, industrial y artístico: el período más fructífero de la empresa.

La Casa de Híjar, por herencia, adquiere la titularidad de la empresa en el inicio del siglo XIX manteniendo su propiedad durante más de cincuenta años. Período especialmente convulso en nuestro país, que se refleja en el devenir de la propia *Real Fábrica*. Se producen varias interrupciones en su actividad, pese a ello, la empresa impulsó su desarrollo industrial con nuevas técnicas.

Una familia de comerciantes Girona adquiere la empresa en 1858 por los problemas financieros de la Casa de Híjar-Aranda, mediante *acensamiento* y tras casi una década de arrendamiento. Aunque trataron de relanzar la empresa inicialmente, se sirvieron de la fábrica para comercializar otros productos de su interés, circunstancias que aceleraron su declive.

En 1895 adquiere la propiedad de la manufactura don Cristóbal Aicart; siguiendo la misma producción industrial del período anterior, pero la falta de nuevos desarrollos contribuyó a su deterioro. Sus descendientes no enderezaron su rumbo, y los graves sucesos locales durante la Guerra Civil (*Colectivización* de 1938) cerraron sus puertas definitivamente. Finalizada la contienda, sus instalaciones fueron troceadas y vendidas.

La utilización de materias primas y energías renovables, y el desarrollo industrial de forma respetuosa con el medio ambiente, justifica la investigación histórico-científica de la *Real Fábrica* desde el punto de vista de la sostenibilidad. Concepto actual que integra los aspectos sociales, ambientales y económicos (industriales) de una forma equilibrada.

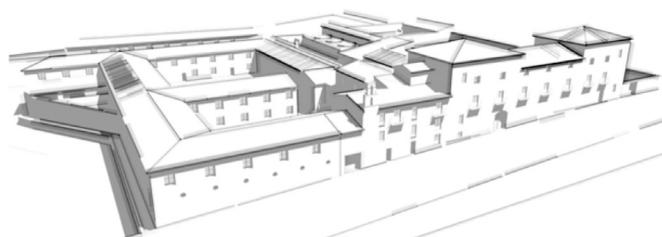


Figura 1. Perspectiva fachada principal en 1910 (fuente: elaboración propia).

2. ASPECTOS SOCIALES

En el aspecto social supo encauzar, dentro de sus procesos industriales, la tradicional pericia de los alcoreños en la alfarería, completando su formación artística y proporcionándoles un adecuado medio de vida. Impulsando, a su vez, el desarrollo social y cultural de la población.

El IX Conde de Aranda creó dentro de la fábrica la *Academia de Aprendices* para la enseñanza de los oficios, de forma gratuita, a los jóvenes de la localidad. Su funcionamiento quedó patente en cada una de las *Ordenanzas* promulgadas. Los resultados de la *Academia* se convirtieron, con el tiempo, en la mejor política de empleo cualificado para la empresa. Los más renombrados artistas de la manufactura condal, a lo largo de su historia, salieron de sus aulas.

Don Pedro Pablo, X Conde de Aranda, dictó el 1 de enero de 1749 las segundas *Ordenanzas*, reformando las primeras de 1727. En ellas aparece, por primera vez en la industria española, la prestación por baja laboral, que con el tiempo se convirtió en precursora de las nuevas leyes de protección social en caso de enfermedad o de accidente. Se dirigió, en principio, a *... todos los que sirviessen en la Fabrica à Pincèl, Ruedas, y Moldes, que quedaran imposibilitados por algun accidente.*

3. ASPECTOS AMBIENTALES O ECOLÓGICOS

En cuanto al aspecto ambiental, el consumo de materias primas, la utilización de energías renovables y el tratamiento de residuos industriales se basaron en la tradición histórica agrícola y alfarera. Gestionándose de forma respetuosa con el medio ambiente.

3.1 Extracción y utilización de recursos naturales. Materias primas

La utilización de *materias primeras de la mejor calidad* fue una constante en la política de empresa de los Aranda, recurriendo incluso a la importación de materiales de otros países sin condicionantes económicos.

Del estudio de los *legajos* de la Casa de Híjar-Aranda y de los Archivos Históricos relacionados con este tema, se han podido conocer la mayoría de los materiales empleados. Así como su procedencia, extracción, preparación y utilización. Delimitándose su estudio, según criterios de sostenibilidad, a las materias primas cuyos yacimientos se situaban en la *Tenencia de Alcalatén* y en las zonas limítrofes de influencia. La ubicación de las explotaciones, salvo casos puntuales, respondía a criterios geológicos y de cercanía con la *Real Fábrica* por economía de transporte. Todos los yacimientos han sido localizados y estudiados desde el punto de vista geológico (Tabla 1) y químico mediante Espectrometría de fluorescencia de rayos X (FRX) (Tabla 2).

RELACIÓN DE YACIMIENTOS DE MATERIAS PRIMAS ESTUDIADAS			
Denominación	Localidad	Míneral	Clasificación cronoestratigráfica
Araya (<i>Araia</i>)	Alcora	arcilla	Terciario Chatiense-Mioceno Inferior
<i>Barranc de la Font Juncosa</i>	S. J. de Moró. CS	arcilla	Terciario Chatiense-Mioceno
Partida dels Barrancons	Alcora	arcilla	Terciario Chatiense-Mioceno Inferior
Camino de la Sierra	Alcora	arcilla	Terciario Chatiense-Mioceno Inferior
Partida de La Grillera	Alcora	arcilla	Cretácico Necomiense-Inferior, facies Weald
<i>Mas de Quaresma</i>	Lucena. CS	arcilla	Triásico facies Keuper
La Mata de Los Olmos	La Mata. TE	arcilla	Cretácico Albiense-Cenomaniense, f. Utrillas
<i>Mas del Molí</i>	Alcora	arcilla	Cuaternario (QAI)
San Cristóbal	Alcora	arcilla	Terciario Chatiense-Mioceno Inferior
San Vicente	Alcora	arcilla	Terciario Chatiense-Mioceno Inferior
<i>Terrer del Poll</i>	Alcora	arcilla	Cuaternario (QAI)
Partida Mayada (<i>Mayá</i>)	Nules	arcilla	Triásico Buntsandstein, facies Röt
Villavieja	ídem.	arcilla	Triásico Buntsandstein
Partida de Aixart	Alcora	arenas	Cretácico-Inferior Albiense
Ptda. de Alcorna o Ancorna	Alcora	arenas	Cretácico Necomiense-Inferior, facies Weald
Castellote	Castellote. TE	arenas	Cretácico-Inferior Albiense
Fanzara	Fanzara. CS	arenas	Cretácico-Inferior Albiense
Partida de La Musolera	Alcora	arenas	Cuaternario (QAI)
<i>Piedra Clariza</i>	Alcora	caliza	Cretácico-Inferior Aptiense
San Vicente-Mas de la Mina	Lucena. CS	plomo	Cretácico-Inferior Aptiense
<i>Molí del Palomet</i>	Alcora	yeso	Triásico-Medio Muschelkalk

Tabla 1.- Yacimientos de materias primas estudiados y situación cronoestratigráfica (fuente: elaboración propia).

RESULTADOS DE LAS MATERIAS PRIMAS ESTUDIADAS										
Denominación	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	SO ₃	PPC
Araya	25,9%	9,28%	2,94%	1,68%	30,6%	2,10%		0,40%		26,4%
Font Juncosa	6,94%	1,80%	0,27%	0,42%	50,4%	0,39%				39,4%
Ptda. Barrancons	25,2%	6,43%	2,12%	0,52%	35,1%	1,36%		0,29%		28,6%
C. de la Sierra	29,4%	6,58%	2,27%	0,56%	32,6%	1,69%		0,34%		26,3%
La Grillera	61,0%	17,8%	8,54%	2,19%	0,56%	4,84%		0,85%		4,61%
M. de Quaresma	20,9%	5,55%	1,77%	13,7%	21,7%	2,65%		0,25%	2,35%	30,2%
La Mata de L. O.	66,7%	21,3%	1,13%	0,38%	0,16%	2,79%		0,94%		6,10%
Mas del Molí	43,5%	14,7%	6,12%	6,21%	9,17%	5,82%	0,15%	0,71%	0,19%	12,8%
San Cristóbal	30,4%	11,1%	3,68%	0,92%	26,8%	2,66%	0,06%	0,42%	0,10%	23,5%
San Vicente	46,5%	13,4%	1,92%	5,14%	12,8%	3,83%		0,62%		15,6%
Terrer del Poll	39,3%	10,2%	3,59%	0,59%	23,0%	2,44%	0,03%	0,42%	0,57%	20,1%
Villavieja	60,0%	19,9%	6,89%	2,0%	0,39%	7,15%		0,84%		1,93%
Ptda. de Aixart	88,0%	5,57%	0,72%	0,09%	3,04%			0,26%		0,94%
Ptda. de Alcorná	77,7%	11,3%	0,22%	0,36%	0,33%	4,83%	0,83%	0,10%		3,96%
Castellote	83,8%	8,86%	0,79%		0,12%	2,73%		0,88%		2,38%
Fanzara	85,7%	7,21%	0,39%		0,26%	4,13%		0,37%		1,50%
La Musolera	44,6%	3,34%	0,59%	0,28%	28,9%	1,49%		0,18%		22,0%

Tabla 2.- Datos del análisis FRX del mineral de los yacimientos estudiados (fuente: elaboración propia).

4. ASPECTOS INDUSTRIALES

4.1 Arquitectura vs Industria: el ejemplo del horno árabe

La industria cerámica islámica dejó en nuestro país, especialmente en la región valenciana, el horno más sencillo: el denominado horno árabe. Una verdadera joya de la construcción en ladrillo cerámico y ejemplo de construcción sostenible. Su proyecto y ejecución reunía diversos sistemas constructivos de ladrillo, integrándose la arquitectura en una máquina térmica de producción industrial, sin dispositivos mecánicos.

Los hornos árabes de la *Real Fábrica* estaban adosados a la nave de fabricación y con fachada recayente a la calle interior de la fábrica (Figura 2), situándose frente a los leñeros.

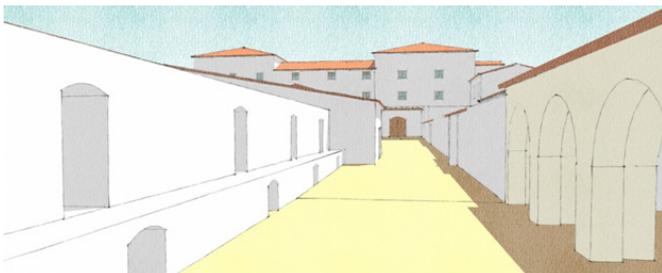


Figura 2. Perspectiva de hornos árabes y de los leñeros (fuente: elaboración propia).

Eran hornos de tipo intermitente, con tiro vertical directo y que funcionaban según los siguientes ciclos: carga, cocción y descarga. Carecían de chimenea y se asemejaba a una pira o montón permanente de combustión. Presentaban un gran rendimiento útil (volumen de cocción) pero, por el contrario, tenían un rendimiento térmico muy bajo.

Con forma de un gran cilindro cubierto, constaban de dos alturas o pisos: el dau o cámara inferior semienterrada y la cámara superior de cocción u *horno de arriba* (Figuras 3 y 4). Ambas se encontraban separadas por un suelo intermedio o *bóveda plana*.

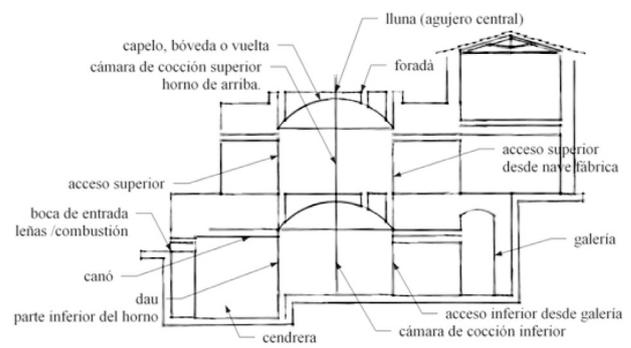


Figura 3. Croquis de la sección de horno árabe de la *Real Fábrica* (fuente: elaboración propia).

El piso superior u *horno de arriba* estaba cubierto con una *bóveda plana* de ladrillo cerámico denominada *capelo*, *bóveda o vuelta*, en la que se habían practicado una serie de agujeros, circular y regularmente dispuestos, denominados *foradà*. El hueco central de la *foradà* superior se conocía como *lluna*

(Figura 3). Se accedía al *horno de arriba* por medio de dos aberturas en fachada y en nave.

El *canó* y la cámara de cocción inferior, que en su conjunto integraban el piso inferior, se denominaba *dau*. El *dau* era un espacio semienterrado, con acceso directo desde una galería subterránea de la nave industrial de la manufactura. En el *canó* se producía la combustión y la leña (*gavells*) era introducida por la boca situada en fachada a nivel del camino interior y delante del leñero. El combustible caía sobre la *cedrera* o parte inferior del *canó*, generando energía térmica por la combustión (Figura 3). En ocasiones, se habilitaba un compartimento al final de la *cedrera* con el objeto de fundir la *calsina* o esmaltes, que más tarde sería objeto de molturación.

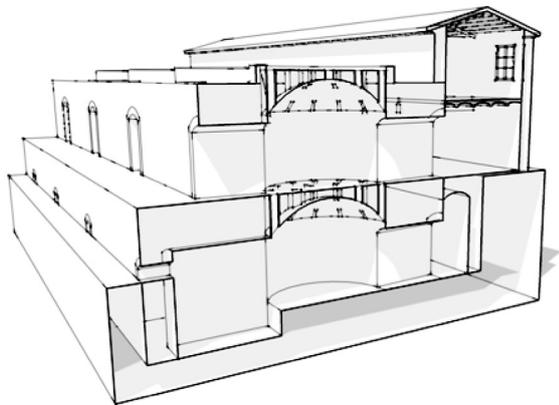


Figura 4. Perspectiva de la sección transversal de los hornos árabes de la Real Fábrica (fuente: elaboración propia).

4.2 La Real Fábrica: embrión del actual sector cerámico de Castellón

La Real Fábrica, en su aspecto industrial, fue el embrión de la prestigiosa industria cerámica actual de Castellón. La implantación de la manufactura en la villa de Alcora propició, a partir del último tercio del siglo XVIII, la imitación y el establecimiento de nuevas industrias en las vecinas localidades de Ribesalbes y Onda, por medio de operarios salidos de sus talleres. Estas industrias, con el tiempo, fueron evolucionando sus instalaciones hacia la *azulejería*. Bien avanzado el siglo XIX, los productores de loza de la villa de Alcora siguieron el mismo camino, convirtiéndose la fábrica del Conde de Aranda en la escuela de formación que fue nutriendo, de mano de obra especializada, a las azulejeras que se iban iniciando en la localidad.

5 EDIFICACIÓN INDUSTRIAL.

5.1 Antecedentes

La fábrica comenzó a construirse a primeros de octubre de 1726 ...el ámbito de dicha fábrica es de unos 200 palmos de longitud y 180 de latitud, las paredes de cal y canto y de texas cubiertas las navadas..., con una inversión de 50.000

pesos. Por lo tanto, el edificio inicial, tenía una superficie construida de 1.846,88 m² (el palmo valenciano equivale a 22,65 cm).

La Real Fábrica se desarrolló, a lo largo de su existencia, en función de las necesidades o de la adaptación de las instalaciones industriales a las nuevas tecnologías. Así en 1805, el complejo industrial (Figura 5) ocupaba un solar de 11.370,58 m², con una superficie construida total de 10.459,47 m²; características que se mantuvieron hasta su cierre definitivo en 1938.

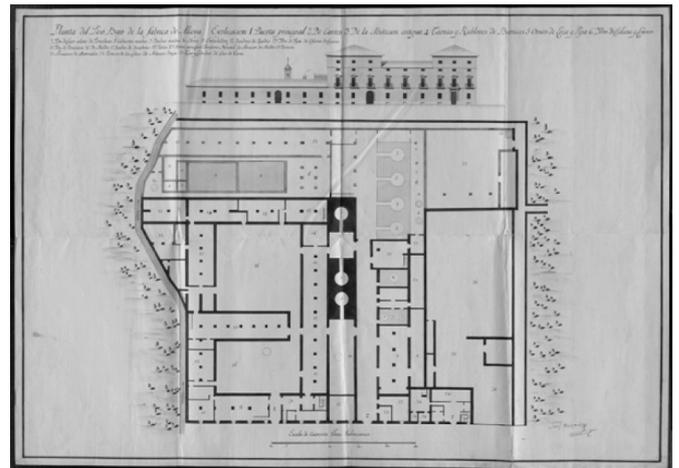


Figura 5. Plano de la Real Fábrica del Intendente Josef Delgado. 1805 (fuente: legajos Híjar A.H.P. Zaragoza).

5.2 El edificio industrial hacia 1910.

El edificio industrial de 1910, resultante de diversas ampliaciones y reformas, presentaba una disposición irregular como consecuencia de las necesidades de fabricación de cada una de las épocas. Mostraba dos pisos de altura en casi toda la planta industrial, salvo en la zona recayente a la fachada principal en la que se construyeron tres alturas. La arquitectura de la Real Fábrica era un claro exponente de construcción popular local, exenta de ornamentación y con utilización profusa de materiales procedentes de la zona.

Los documentos históricos estudiados, tanto escritos como gráficos, junto con la toma de datos *in situ* del edificio existente han permitido abordar la *lectura de la ruina* y realizar un completo levantamiento planimétrico de la Real Fábrica hacia el año 1910. Fecha en la que la edificación industrial, aún en uso, no había sufrido los grandes cambios que han desembocado en la situación actual.

Los datos obtenidos, mediante los instrumentos tradicionales, han servido de punto de partida para la aplicación de la fotogrametría y los distintos métodos gráficos de arquitectura inversa al estudio de la *ruina* de la Real Fábrica (Figura 6).

La fotogrametría es un método de medición y representación preciso, rápido y eficaz para la obtención de datos. Es un sistema idóneo para generar modelos 3D en CAD, como el caso que nos ocupa. La fotogrametría integra la fotografía digital y la informática, empleándose con éxito en la arqueología de la arquitectura en los proyectos de restauración y conservación de edificios. Ofreciendo numerosas ventajas: menor duración de los trabajos de campo, reducción notable de errores, visualización global del objeto, automatización del proceso, costo razonable, aplicaciones vía internet, etc.



Ortofoto de la fachada Norte en verdadera magnitud a escala requerida.



Plano de fachada principal dibujado con AutoCAD 2012 a partir de la fotogrametría y de la perspectiva inversa.

Figura 6. Proceso de elaboración de la planimetría del edificio (fuente: elaboración propia).

El estudio de la fachada principal mediante métodos gráficos de perspectiva o arquitectura inversa, de las fotos de la época (1910), ha permitido obtener las dimensiones de alturas de plantas, de los huecos y ventanas, y de la disposición de éstos a lo largo del paño (Figura 7).

Los muros de carga y cerramiento, de mampostería ordinaria, se ejecutaron con rocas calizas de la cantera *monte de San Cristóbal* o *loma de Alcora* (Cretácico Superior Cenomaniense), en la parte alta de la población. Estas calizas estuvieron presentes en la edificación inicial y en las sucesivas ampliaciones.

Las ventajas de la madera propiciaron su integración, de acuerdo con la práctica constructiva de la época, en la estructura del edificio. Del estudio de las piezas obtenidas

de los forjados se concluye que la madera empleada es una *conífera* del género *pinus*, muy abundante en la *Tenencia de Alcalatén*. La estructura portante de la cubierta de los leñeros sufrió un grave incendio en agosto de 1865, que obligó a su total sustitución.

El ladrillo cerámico macizo formó parte de sus elementos constructivos: tablero de cubierta, aleros, correas de escalera, soportes estructurales y recercado de huecos y ventanales. En el primer caso su colocación fue sin *argamasa* sobre *rastreles* de madera, utilizándose el mortero de cal en las fábricas de ladrillo de aleros, correas de escalera, soportes y arcos y dinteles de huecos.

Las cubiertas iniciales de la factoría estaban revestidas de tejas árabes. La teja se colocaba sobre el *faldón*, tablero de ladrillo cerámico macizo de la cubierta, en dos posiciones o *hiladas*. La inferior o *canal* con la convexidad de la teja hacia abajo, y la superior o *cobija* con la convexidad de la teja hacia arriba, tapando la junta de cada dos canales. La longitud de la teja se disponía paralelamente a la máxima pendiente del *faldón*, y todas las piezas tanto en canal como en *cobija*, solapaban sobre la inmediata siguiente no menos de 10 cm. Los canales, apoyados sobre el tablero de ladrillo macizo, se recibían a *torta y lomo* con mortero de barro, yeso y cal.

Las alfarerías y tejares de la época se surtían del yacimiento denominado *Terrer del Poll*. De las FRX realizadas en las arcillas de este yacimiento de Alcora, se puede destacar la similitud entre los valores medios de la composición química de los ladrillos y las tejas de la edificación de la *Real Fábrica* con las arcillas de la citada explotación.

Difieren los valores de SiO_2 (55,6% / 39,3%) en el caso de los ladrillos y SiO_2 (52,6% / 39,3%) en el de las tejas, siendo mayores los valores obtenidos en ambos casos con respecto al *Terrer del Poll*. Se debía a la adición de arena en la masa para aumentar la consistencia y rebajar la plasticidad. Además, al ser la confección totalmente manual, en la propia mesa de trabajo se espolvoreaba arena para evitar la adherencia de la pieza cerámica al marco (ladrillos) o *galap* (tejas) y a la superficie de trabajo, incorporándose ésta en las caras de las piezas moldeadas.

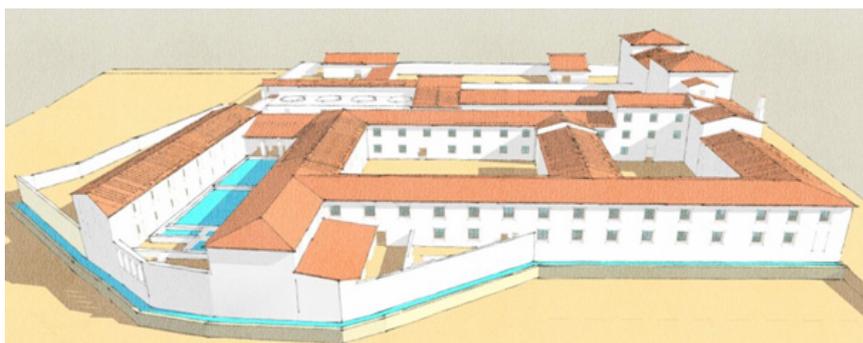
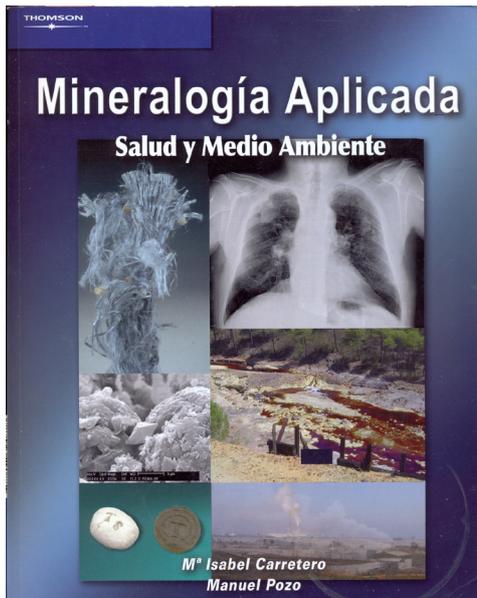


Figura 7. Perspectiva (Este) edificación industrial en 1910 (fuente: elaboración propia).



SUMARIO

Parte I: Capítulo 1. Introducción (que comprende desde la definición de la Mineralogía Aplicada hasta la relación entre los minerales, la salud y el medio ambiente)
 Capítulo 2. Los minerales y la salud a lo largo de la historia

Capítulo 3. Los minerales y el medio ambiente

Parte II: Mineralogía

Capítulo 4. Conceptos básicos de Mineralogía

Capítulos 5. Propiedades y técnicas para la clasificación de minerales

Capítulo 6. Principales minerales relacionados con la salud y el medio ambiente

Capítulo 7. Los minerales de la arcilla y el medio ambiente

Capítulo 8. Otras propiedades de las arcillas y las zeolitas. Aplicaciones industriales

Parte III: Efectos beneficiosos de los minerales en la salud humana

Capítulo 9. Minerales como principales activos farmacéuticos

Capítulo 10. Minerales como excipientes farmacéuticos

Capítulo 11. Minerales en centros terapéuticos y de estética

Parte IV: Efectos perjudiciales de los minerales en la salud humana

Capítulo 12. Patogenicidad de los minerales y métodos de evaluación

Capítulo 13. Efectos nocivos relacionados con la composición química de los minerales

Capítulo 14. Principales patologías por inhalación de partículas minerales: silicosis y asbestosis

Capítulo 15. Biominerales: Composición y características. Litiasis

Parte V: Efectos perjudiciales y beneficiosos de los minerales en el medio ambiente

Capítulo 16. Contaminación e impacto ambiental relacionado con la extracción de minerales

Capítulo 17. Aplicaciones de los minerales en la depuración y almacenamiento de residuos

Se incluyen al final referencias de las figuras, así como una exhaustiva lista de referencias consultadas, bibliografía recomendada para ampliar conocimientos y un completo índice analítico.

Mineralogía Aplicada Salud y Medio Ambiente

AUTORES: DRA. M^a. ISABEL CARRETERO Y DR. MANUEL POZO

RECENSION

Presentamos un interesante y completo libro en cuanto a su contenido y exposición escrito por los Profesores y Dres. M^a. Isabel Carretero León de la Universidad de Sevilla y Manuel Pozo Rodríguez de la Universidad Autónoma de Madrid. Ambos son docentes e investigadores reconocidos pertenecientes a los departamentos de: Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola (US) y de Geología y Geoquímica (UAM).

Se trata de un libro muy elaborado y completo editado no sólo con fines didácticos sino también como libro de consulta por la temática que aborda que tiene en el presente un gran interés no sólo científico y técnico, así como para el público en general interesado en la temática que desarrolla. Es un libro de obligada consulta para estudiantes de universidades en las especialidades de: Geología, Ingeniería de Minas, Ciencias Ambientales, Medicina, Farmacia, Química, etc.

Recoge este libro mucho material inédito y gran número de esquemas y gráficos que facilitan su comprensión. Las relaciones tanto positivas (beneficiosas) como negativas (perjudiciales) entre los minerales, seres vivos y medio ambiente, están perfectamente estructuradas, haciendo el libro de agradable consulta y estableciendo muy claramente las relaciones con otras ramas de la ciencia en la que son inevitables actualmente los enfoques multidisciplinares (tema que se desarrolla fundamentalmente en la Parte I). La Parte II desarrolla los principios básicos de la Mineralogía y de las propiedades, así como de la caracterización de los minerales, principios que son ineludibles para cualquier estudiante y estudioso que tenga relación con estos materiales naturales. Desde tiempos históricos vienen utilizándose los minerales tanto en aplicaciones farmacéuticas, como en medicina o en terapéutica, tema que queda desarrollado en la Parte II. Sin embargo, los minerales pueden ser a veces perjudiciales para la salud de los seres vivos y llegar a producir enfermedades profesionales, tema de especial interés actualmente para la seguridad e higiene en el trabajo, por lo que se desarrolla ampliamente en la Parte IV. Y, por último, en la Parte V se abordan las aplicaciones industriales del uso de minerales en procesos industriales relacionados con el medio ambiente, como son: la depuración y el almacenamiento de residuos de todos los tipos, así como sus usos en la descontaminación de suelos.

En fin, un libro realmente útil y valioso que se desarrolla a lo largo de sus 400 páginas y que contiene un práctico índice de palabras para facilitar su consulta incluyendo cerca de 1000 palabras clave paginadas. Todas las figuras, tablas y esquemas (todos ellos muy didácticos y suficientemente explicativos sobre todo para cuando se pretende hacer una consulta de un tema específico...) se unifican tanto en color como en blanco y negro, con más de 600 figuras.

(Comentario editorial realizado por : J. Ma. Rincón, Prof de Investigación del CSIC).

Editado por: THOMSON

Distribuido por: Editorial Paraninfo (clientes@paraninfo.es)



TECNICAS REUNIDAS

**MAS DE 50 AÑOS INVESTIGANDO, PROYECTANDO
Y EXPORTANDO TECNOLOGIA Y BIENES DE
EQUIPO ESPAÑOLES**

8.000 profesionales en España
Empleo anual generado en España: **25.000**



www.tecnicasreunidas.es