

CAMBIO CLIMÁTICO Y BIODIVERSIDAD EDÁFICA

Es común la confusión entre Cambio Global y Cambio Climático. El Conjunto de cambios ambientales afectados por la actividad humana (Cambio global) parece fuera de toda duda. Teniendo en cuenta la actividad industrial humana dentro del régimen climático variable de los últimos doscientos años, se desprende que siguió un crecimiento exponencial desde 1880 hasta la fecha. Esa actividad es comparable a la generación de opinión sobre Cambio Global y Cambio Climático en la sociedad humana, claramente manifestada a través de la prensa de todo el Mundo y muy especialmente en los debates científicos.

Respecto al cambio Climático, desde la última glaciación (hace 12.000 años) hasta los finales de la Edad Media (1.500 DC aproximadamente), hubo un incremento de la temperatura media de la Tierra de 7°C. Tras un breve periodo de descenso de la misma (hasta el inicio del siglo XIX) se ha detectado hasta fechas actuales un aumento ligero pero continuado de temperatura. La variación media puede ser fijada en un incremento de 1,5°C en los últimos doscientos años.

Este incremento coincide con ciclos naturales del clima de La Tierra pero es innegable que coincide también con la mayor actividad agresiva del ser humano sobre el Planeta. Así, se asume científicamente que en la actualidad el hombre también tiene capacidad de influir directamente en el sistema climático mediante la masiva emisión de gases con efecto invernadero, especialmente CO₂, como resultado de la utilización de combustibles fósiles, a pesar de opiniones en contra, algunas sólidamente argumentadas.

No obstante el destino de ese carbono y su efecto sobre el gran reservorio de biodiversidad que son los microorganismos y fauna de las comunidades edáficas es muy difícil de predecir. La mayoría de las aseveraciones se basan en aproximaciones indirectas que relacionan los efectos climáticos (aumento de las temperaturas y disminución de la pluviosidad) sobre la cubierta vegetal. Sin embargo, los cambios previstos por los expertos en la concentración de CO₂ atmosférico son pura anécdota comparados con la gran cantidad de CO₂ actualmente disponible en el espacio intersticial de cualquier suelo biológicamente activo. Aunque es verdad que el posible efecto sobre los microorganismos y fauna edáfica (productores secundarios del sistema) está mediatizado por la rizosfera de las plantas, los datos experimentales disponibles hasta la fecha apuntan a que los posibles efectos son increíblemente variables: la actividad biológica puede decrecer, aumentar o permanecer inalterada. Lo mismo cabe decir respecto al efecto sobre la diversidad biológica de los suelos. Determinar el efec-

to del cambio global y climático sobre las comunidades edáficas de microorganismos y microfauna se plantea como fundamental, puesto que esas comunidades controlan las respuestas de los ecosistemas al ralentizar o acelerar los ciclos del carbono y nutrientes e iniciar los procesos de mineralización.

Con el cambio climático se anticipan cambios en los procesos fenológicos asociados a las plantas, y el aumento brusco de evapotranspiración del suelo reduciría la producción de biomasa vegetal. Sin embargo dentro de unos límites razonables de cambio, y teniendo en cuenta el efecto amortiguador que el suelo tiene para la temperatura, no se descarta que se amortigüe en el sistema edáfico, el impacto sobre la diversidad de especies de microorganismos y fauna edáfica asociada. Naturalmente, las relaciones y funciones entre sus componentes se hipotetiza que también serán modificadas. Dada la trascendencia del cambio climático y el interés que el tema suscita en todos los foros de debate, el estudio científico integrado del suelo y sus componentes biológicos, aportará puntos de vista convenientes para el diseño de medidas que intenten paliar o reducir los efectos que con más o menos dramatismo nos vaticinan en un próximo futuro. La Región Mediterránea de Europa será la zona más afectada por los cambios climáticos previstos y dada su tradición cultural (sobreexplotación de recursos, industrialización y sobreexplotación) se verá claramente afectada por la modificación ambiental y los cambios de uso del suelo. De todos los componentes que definen los agroecosistemas mediterráneos, el suelo es un elemento clave e indicador del impacto y transformación de los mismos, no sólo por el efecto de la agricultura sino también por impactos naturales. Dado que el fenosistema es manifestación de las relaciones bióticas y abióticas del suelo, el sostenimiento de la biodiversidad general en Europa y el estudio de su pérdida pasan por el mantenimiento de su biodiversidad edáfica.

AGRICULTURA, CAMBIO CLIMÁTICO Y POLÍTICA AGRARIA COMÚN (PAC)

En el previsible Cambio Climático, la Península Ibérica será muy vulnerable por el aumento de temperaturas y la reducción de precipitaciones con agravamiento de las sequías, lo cual implica la pérdida de potencial agrario y forestal. Un porcentaje muy grande de la población europea mediterránea, vivirá en áreas con déficits hídricos y gran demanda de agua para la agricultura. La ciencia puede anticipar respuestas y prepararnos para la toma de decisiones políticas desde un enfoque global como es la Política Agraria

Director: Jesús Martín Tejedor

Editor: Enrique Ruiz-Ayúcar

Consejo Editorial: Antonio Bello Pérez, Luis Guasch, María Arias Delgado, Ismael Buño Borde.



Junta de Gobierno de la Asociación Española de Científicos (AEC).

Presidente: Jesús Martín Tejedor

Vicepresidente: Ismael Buño Borde

Secretario General: Enrique Ruiz-Ayúcar

Vocales: María Arias Delgado, Antonio Bello Pérez, José Luis Díez Martín, Pascual Balsalobre, Fernando García Carcedo, Armando González-Posada, Sebastián Medina, Felipe Orgaz Orgaz, Jesús María Rincón, Jaime Sánchez-Montero, Alfredo Tiemblo, Antonio Cortés Ruiz, Luis Guasch Pereira, José María Gómez de Salazar, Marcial García Rojo, Celia de la Cuadra.

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

ÍNDICE

Cambio Climático y Biodiversidad Edáfica

ALFONSO NAVAS 1

La universidad, esa inventora del futuro: tres ejemplos

ANTONIO FERNÁNDEZ-RAÑADA 4

Investigación e Innovación y la sociedad española

ALVARO AZCÁRRAGA 6

Heliostatos de bajo coste y altas prestaciones.

El concepto de TITAN TRACKER

JUAN PABLO CABANILLAS Y CARLOS GARCÍA 9

De la radio analógica al usuario de banda ancha

ALFREDO CALDERÓN SAMITIER 15

Ingeniería de materiales para la defensa

MANUEL RINCÓN 19

Penetración de gas radón en edificios. Actuaciones para evitar la penetración de dicho gas

MANUEL OLAYA ADÁN Y BORJA FRUTOS VÁZQUEZ 23

MEDICINA Y SALUD

Evolución de las Biocerámicas: de inertes a regenerativas

MARÍA VALLET REGÍ 30

El obligado ritmo del sueño y la vigilia

MARGARITA RODRIGO Y SUSANA HEREDERO 34

IN MEMORIAM

Julia María González Peña

JESÚS M^o. RINCÓN 36

Común (PAC) que interfiere con la economía, agricultura, medio ambiente y recursos naturales.

Europa es un territorio de “economía de mercado” es decir, ampliamente liberal, donde el valor del comercio y la competencia de productos, teóricamente selecciona la mejor opción y por tanto es un motivo de mejora económica. Sin embargo a la mayoría de los europeos no les llama la atención el proteccionismo que existe para la agricultura. Aquellos que se lo plantean, en general se preguntan. ¿Cuál es la razón de la planificación agraria?, ¿por qué motivo existe el proteccionismo? Hay que remontarse al pasado. Los años transcurridos entre 1845 y 1945 fueron impresionantemente nocivos para los europeos, con las más devastadoras crisis económicas que nunca se pudieron imaginar. En la memoria colectiva queda la gran hambruna iniciada en Alemania pero que se magnifica en Irlanda a finales del siglo XIX, causada por una epidemia de *Phytophthora infestans*. El problema se generó por ausencia de política agrícola del Reino Unido y la existencia de un cultivo monovarietal de patata que hizo que fueran destruidas de forma prácticamente inmediata todas las plantaciones por una cepa muy virulenta del hongo.

La patata era el alimento más importante de la época para los europeos (el hambre comenzó a desaparecer de Europa a partir del siglo XVII gracias a la patata). Las consecuencias de la hambruna se extendieron hasta tiempos muy recientes debido a la mortandad ocasionada y la emigración de la población. Los problemas políticos y sociales ligados a la Revolución Industrial se agravaron al concluir el siglo XIX con la pujanza económica de Alemania al reclamar su espacio político tras la unificación y que lleva a la Gran Guerra (1914-1918). Ésta además, se considera que es el prólogo de la II Guerra Mundial (1939-1945). Contado así, esta sucesión de eventos es una simplificación extrema de sucesos que durante cien años exactos representaron una catástrofe social, política, económica y biológica sin parangón en la Historia, pero que supone la raíz de lo que hoy es la PAC de la Unión Europea.

Tras la II Guerra Mundial, Europa es consciente de que el hambre es la consecuencia más inmediata de esos últimos cien años y se plantea la necesidad de garantizar el suministro de productos agrarios de primera necesidad. Esta PAC se inicia con una idea claramente “productivista” y de rentabilidad hasta el punto de que La Unión Europea es actualmente el principal productor y exportador de productos agrícolas del Mundo. Es justo reconocer que dicha política ha contribuido a garantizar el suministro de productos alimenticios básicos a unos precios razonables además de contribuir al crecimiento económico. Todo el mundo sabe que la PAC es la política más importante de la Unión Europea e instrumento esencial de su institucionalización con un presupuesto que supone el 50% del total; ahora bien, con los antecedentes apuntados, ¿A quién le parece caro?

Sin la PAC, los europeos no podrían competir con los agricultores de otros países en los cuales, las condiciones de producción cuestionan los derechos humanos y laborales. En la mayoría de los países existe, además, apoyo o subvenciones a la producción agrícola sin informar a los organismos internacionales pertinentes, a diferencia de las ayudas europeas, cuya cuantía es públicamente conocida. Por

lo tanto, la PAC lejos de ser un mecanismo de competencia desleal con los países que no subvencionan su agricultura (para estos países la UE prevé acuerdos bilaterales específicos), es un mecanismo de cohesión garante de la pervivencia de la tradición y cultura europea a través de la subvención.

En marzo de 2010, el Consejo de Agricultura de la Comisión Europea ha definido el papel que debe tener la Agricultura y la PAC ante la nueva estrategia UE 2020 (una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador). El Consejo Europeo ha señalado los compromisos agrarios y su importancia en el éxito de dicha Estrategia. La agricultura está por tanto en el núcleo del futuro de Europa y se focaliza en la estrategia UE-2020 contribuyendo al crecimiento económico y el mantenimiento de la cultura rural. Además hace hincapié en el uso sostenible de los recursos, la conservación de la naturaleza y su biodiversidad, y propugna la adaptación hacia el nuevo escenario de cambio climático.

Cualquier política Medioambiental europea ha de contar necesariamente con la Agricultura cuya amplitud, teniendo en cuenta que las zonas rurales o naturalizadas, representa más del 75% del territorio. De acuerdo con los antecedentes históricos productivistas de la PAC, la sensibilidad ambiental de los europeos y el cambio climático y global, la agricultura europea refuerza su importancia estratégica. En el año 2013 se debe reelaborar la PAC donde se materializarían los retos de una producción sostenible y competitiva. Las tres prioridades de la nueva estrategia sólo se pueden lograr utilizando y potenciando la Investigación Científica y desarrollando la innovación y la calidad de la educación científica de sus ciudadanos.

En lo que respecta a España, la sociedad reclama formación y educación científica en temas medioambientales y hay seria preocupación sobre el cambio climático. Los científicos españoles han demostrado que son muy competentes y activos y totalmente homologables en cuanto a su productividad y capacidad científica en temas ambientales y agrícolas. A estas realidades, sumemos las iniciativas que como país europeo moderno ha realizado el sector agrario para actualizar sus estructuras. Para nosotros, la Agricultura es una fuerza económica importantísima, no sólo por su realidad actual, sino por su potencialidad, al ser el estado de la Unión Europea con mayor diversidad de cultivos y características edafoclimáticas que permite generar productos agrícolas durante todo el año. No obstante hay una correlación negativa entre estas realidades científicas, geográficas, potenciales y la pujanza sectorial con los retornos en Investigación. Países con menor importancia agrícola como Holanda, Gran Bretaña y Alemania lideran la investigación en Ciencias Agrarias y Ambientales dentro del espacio europeo. Una razón puede ser la capacidad política de dominio que esos países tienen dentro de la Unión Europea, al tener diputados y políticos plenamente integrados en las estructuras administrativas que saben reconocer la importancia que tiene la Agricultura en Europa y defienden sin complejos los intereses de sus connacionales. La nueva PAC prevista para el 2013 será una gran oportunidad para situar los políticos españoles a la altura de sus agricultores y sus científicos.

ALFONSO NAVAS

Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC. Madrid

La universidad, esa inventora del futuro: tres ejemplos

AUTOR: ANTONIO FERNÁNDEZ-RAÑADA
Facultad de Ciencias Físicas. UCM

La universidad es necesaria para la formación profesional de los jóvenes y para mantener la cultura. Esto se suele entender bien. Pero tiene además otra misión, igual de importante al menos, que preocupa poco en España. Me refiero a la creación y el análisis de nuevas ideas que cambian luego nuestro modo de pensar y de vivir. Por ello, la universidad es una institución para el debate y el descubrimiento, no sólo para el estudio. En sus departamentos se deben reevaluar continuamente el conjunto de conceptos y valores sobre el mundo físico, biológico, humano o social que caracterizan y definen los modos de estar en el mundo a la altura de los tiempos. O sea, las ideas recientes que luchan entre sí cada momento, de las que algunas permanecen y otras decaen. Sin duda es por esta segunda misión que ha llegado a ser calificada como la institución más importante del segundo milenio y por eso también, el matemático y filósofo inglés Alfred North Whitehead, coautor con Bertrand Russell del impresionante libro "Los principios de la Matemática", dijo "La tarea de la Universidad es inventar el futuro, en todo lo que pueda afectar el pensamiento racional y la apreciación civilizada de las cuestiones en juego".

Ello es así porque los humanos somos seres proyectivos y siempre estamos intentando superar nuestros límites. No paramos de buscar algo nuevo, ya desde antes de descubrir el fuego. Los animales están a gusto quietos en su nicho ecológico, nosotros no. Cambiar es un elemento definitorio de nuestra naturaleza, no en vano somos el producto de dos evoluciones, la biológica descubierta por Darwin y la social en que vivimos hoy, que vienen a ser dos viajes, uno de la naturaleza y el otro de la cultura. Lo expresa bien el Principio de la Reina de Corazones, ese personaje de las historias de "Alicia en el país de las maravillas" así llamado por algunos biólogos evolucionistas porque decía: "Aquí hay que correr mucho para poder seguir en el mismo sitio", como de hecho nos ocurre a las personas y las sociedades. Esa evolución cultural tiene dos motores principales. Por un lado el arte y la literatura, por el otro, la ciencia, entendida ésta en sentido general, incluyendo a las de la naturaleza, del hombre y de la sociedad y sus aplicaciones, es decir las tecnologías. La universidad es la impulsora de este segundo motor, y también influye en el primero. Se sigue que en la universidad hay que hacer algo más que explicar cosas ya conocidas.

Para entender mejor la frase de Whitehead, consideremos tres ejemplos, tres invenciones del futuro que marcan hondamente a la sociedad de hoy. Se refieren a las ondas electromagnéticas, al transistor y a la doble hélice de la herencia biológica, sin las cuales serían muy distintas nuestras maneras de vivir y nuestras visiones del mundo y de la vida. En el primer caso, el físico escocés James C. Maxwell descubrió teóricamente en la década de 1860 la existencia de las ondas electro-

magnéticas, comprendiendo que la luz es un tipo de ellas, sin duda uno de los descubrimientos más importantes de la historia de la ciencia. Le ocurrió siendo profesor primero del King's College de Londres y luego de la universidad de Cambridge, donde escribió uno de los libros más importantes de la historia de la ciencia, "Un tratado de electricidad y magnetismo" publicado en 1874 (curiosamente por la Clarendon Press de la universidad rival de Oxford). En él se basan nuestro conocimiento actual de la materia y muchas aplicaciones que han cambiado radicalmente nuestra vida cotidiana. En 1888 el alemán Heinrich Hertz dio el paso siguiente al conseguir la hazaña de generarlas por primera vez y ser capaz de enviarlas desde una habitación hasta la de al lado (hoy puede parecer poca cosa pero, como dijo Lao-Tse, por muy largo que sea un viaje, empieza siempre por un primer paso). Lo hizo en los laboratorios de la Universidad de Karlsruhe, donde era profesor de física. Entra entonces en acción una persona de un tipo muy distinto, Guglielmo Marconi, no académico sino ingeniero y empresario, quien comprendió la importancia de las ondas electromagnéticas, consiguió enviar una hasta la distancia de cuatro kilómetros y fue el primero cuya voz se oyó por la radio. Pero a él no le interesaba tanto estudiar esas nuevas ondas como usarlas de modo práctico y para ello fundó en Inglaterra la empresa "Marconi's Wireless Telegraph and Signal Company". La radio había nacido. Por sus realizaciones recibió el premio Nobel de Física en 1909. Luego la idea cobró vida propia y aparecieron la televisión, el máser, el láser, los móviles, el GPS y muchas otras aplicaciones.

El transistor, segundo ejemplo, es quizá el elemento más ubicuo en la tecnología de hoy. Todos tenemos muchos en los electrodomésticos de nuestras casas. Fue inventado y desarrollado por tres norteamericanos, William Shockley, John Bardeen y Walter Brattain, en los años 1940, trabajando en los famosos Laboratorios Bell de EEUU. Recibieron por ello el Premio Nobel de Física en 1956. Años más tarde y desde su puesto de profesor de la universidad de Stanford, Shockley fue uno de los fundadores del Valle del Silicio en California donde se han gestado muchas de las ideas de la informática. Los Laboratorios Bell no son una institución universitaria ni ellos estaban en ninguna universidad en los años de su invención. Mas para desarrollar el transistor, entender cómo funciona y mejorarlo tuvieron que recurrir a unas ideas nacidas anteriormente en varias universidades. Me refiero a la teoría cuántica que explica cómo se mueven los electrones en los transistores, surgida en las de Berlín, Copenhague, Zurich, Cambridge y Gotinga, gracias a Planck, Einstein, Bohr, Heisenberg y Schrödinger. (De pasada, esto muestra la falsedad del aserto frecuente de que esa teoría es una maravilla conceptual pero sin aplicaciones prácticas. Tiene muchas y entre ellas vivimos.)

El tercer caso se refiere al entendimiento de la molécula de DNA en 1953, un hito que cambió muchas cosas en nuestro entendimiento del fenómeno de la vida y que valió el premio Nobel en 1963 a Francis Crick, James Watson y Maurice Wilkins cuando trabajaban en el

Medical Research Council de Cambridge y las universidades de Cambridge y Londres, respectivamente. El primero no es una universidad sino un laboratorio público de investigación médica, al que convenía mucho estar junto a una universidad creativa para aprovechar los conocimientos allí generados.

Es curioso que se perciba tan mal este papel de inventora de futuro que tienen las grandes universidades, pues todo el mundo se beneficia de él. Cuando vamos al médico y nos propone un tratamiento, es más que probable que se base o esté influenciado por ideas gestadas en alguna facultad de medicina o en algún hospital universitario. Lo mismo ocurre con las medidas que adoptan las grandes empresas o los gobiernos en sus políticas económicas; de hecho, prácticamente la totalidad de los sesenta receptores de premios Nobel de economía dados hasta ahora han desarrollado sus ideas en institutos universitarios. Es significativo que el sitio web de la Fundación Nobel tenga un espacio donde se informa de la universidad es en dónde trabajaban los laureados al recibir el premio.

Ortega y Gasset decía en su famoso ensayo “Misión de la universidad” que su misión más importante es la transmisión de la cultura, definida como “el sistema *vital* de las ideas de cada tiempo” o sea el repertorio de convicciones con que la gente dirige su existencia. Por ello proponía que el núcleo de cada universidad debería ser una Facultad de Cultura, donde se enseñarían lo que él llamaba las cinco grandes disciplinas culturales: la física, la biología, la historia, la sociología y la filosofía. Sin embargo declara de modo tajante: “es preciso separar la enseñanza profesional de la investigación científica” y “ha sido desastrosa la tendencia que ha llevado al predominio de la investigación en la universidad”. No parece dar importancia al hecho de que, si la enseñanza universitaria está completamente separada de la investigación, llega a transmitir una visión del mundo estática, desenfocada por ello. Al final de su ensayo insiste aún más en que la universidad no debe investigar, pero que la ciencia es necesaria para ella. Para salir de esta aparente paradoja, propone que “en torno a la universidad misma establezcan sus campamentos las ciencias —laboratorios, seminarios, centros de discusión— porque la universidad es distinta pero inseparable de la ciencia”.

Es curioso que Ortega, tan atento a los signos de los tiempos y para quien el concepto de generación era tan importante, no parezca prever aquí hasta qué punto se iba a acelerar la evolución cultural, ni que los cambios en las ideas vivas pronto empezarían a notarse a lo largo de la vida de una persona, precisamente porque están vivas. Dice por ejemplo “El médico tiene que aprender a curar, y en cuanto médico no tiene que aprender más; para ello necesita comprender el sistema de la fisiología *clásica* de su tiempo” (énfasis suyo). Pero por muy bien que un médico conozca ese sistema clásico necesitará más tarde enfrentarse a las novedades de su oficio —en las ideas, las prácticas terapéuticas o los métodos de diagnóstico—, y para ello le será muy útil haber tenido algún contacto con la investigación, pues ésta se ocupa precisamente de lo que cambia en su saber. Le ayudaría mucho, por ejemplo, haber recibido clases de profesores que investigan. Por otra parte, ¿para qué van a establecerse esos “campamentos científicos” de que habla Ortega en torno a una universidad que no busca nuevos conocimientos? ¿Qué incentivo tendrían para ello? Como se

vio más arriba, el Medical Research Council inglés está en Cambridge, cerca de una universidad muy investigadora. Creo que Ortega se equivocó a fondo en su “Misión de la Universidad”. Las grandes universidades de hoy van por un camino muy distinto.

La universidad española cumple aceptablemente la misión de dar un título a los jóvenes para que ejerzan una profesión, si bien de modo mejorable. Pero eso es insuficiente para un país que aspire a contar en el mundo, pues la creatividad de las universidades investigadoras será cada vez más necesaria en la dura competencia económica de las próximas décadas, con la emergencia de los tigres asiáticos, China, India y demás. Para enfrentarse a ese reto, la UE lanzó en 2000 la Agenda de Lisboa que fija el objetivo de lograr para 2010 “la economía basada en el conocimiento más dinámica del mundo”. Por desgracia ese proceso ha sido más lento de lo previsto, pero la convicción de su absoluta necesidad se ha acentuado con la actual crisis. Es fácil entender que no puede ser de otra manera. Por un lado, el sistema de ciencia y tecnología eleva la prosperidad de las naciones. Por el otro, esta crisis se debe en buena parte a que muchos países han estado viviendo por encima de sus posibilidades. En consecuencia, como la gente vive aquí en España de una manera similar a la de nuestro entorno internacional, pero nuestro sistema tecnológico es más débil, el desequilibrio entre el querer vivir bien y el poder hacerlo es mayor en nuestro caso. Por eso nuestra crisis es más seria y debemos esforzarnos en aplicar los conocimientos a la innovación, considerándolo como una cuestión de Estado. De no hacerlo, la salida de esta crisis será más larga y dolorosa todavía.

En ese proceso las universidades son esenciales. Por desgracia, quienes toman las decisiones en España, sean líderes políticos o dirigentes económicos, no parecen ser muy sensibles a esta misión de la universidad; las reformas habidas desde la transición no la han tenido en cuenta, más allá de declaraciones retóricas. Hay en España grupos universitarios muy buenos que sí están a la altura, pero la suma de todos está lejos del tamaño crítico necesario para un país como el nuestro.

Éste es probablemente un motivo de peso de la baja valoración internacional que alcanzan nuestras universidades. Hay dos listas de referencia obligada de las mejores universidades del mundo por orden de calidad, una elaborada por la Universidad Jiao Tong de Shanghai y otra por el periódico The Times de Londres. Nuestra universidad mejor colocada en el año 2008 es la de Barcelona, empatada con otras 50 en los puestos 152-202 de la lista de Shanghai (la Autónoma de Madrid estuvo también en ese grupo hasta hace un par de años) y en la posición 186 de la lista del Times. No tenemos ninguna entre las 150 mejores de las dos listas, mientras que, por comparación, Bélgica tiene 3, Holanda, 5 y Suiza, 4, a pesar de que la población de las tres juntas no llega a la de España. En la segunda lista hay ocho universidades chinas, tres indias y una de Tailandia por delante de todas las españolas (con la de Beijing en el puesto 14). A finales de 2008, el Lisbon Council, un think tank basado en Bruselas, dio a conocer un estudio sobre las universidades de la Europa de los quince, más EEUU y Australia. España quedó en último lugar de las 17. Estos datos indican que necesitamos abrir sin demora un debate sobre esta cuestión. Una sugerencia: deberíamos fijarnos pronto el objetivo de tener pronto alguna entre las cien mejores universidades del mundo. ■

Investigación e Innovación y la sociedad española

AUTOR: ALVARO AZCÁRRAGA
Consultor de SENER y miembro de la Academia Internacional de Astronáutica

1. Una animada velada organizada por el Colegio Libre de Eméritos, con el título “La Ciencia en la España de hoy” ha sido el punto de arranque de este artículo, que espero que de una visión distinta, y quizás no del todo correcta (¿pero que lo es hoy en día?) sobre el estado de la Ciencia en España visto por un ingeniero involucrado en la gestión del conocimiento, y no tanto en la generación del conocimiento, y en el ámbito de la empresa privada. Es como estar en un huerto, mejor o peor cuidado, rodeado de un inmenso bosque. El no tener experiencia en vivir en el bosque no debe ser óbice para ver lo que sale del mismo, y dar una opinión.

Una cosa importante aprendida en casi medio siglo de ejercer la profesión, es que cuando un país crece, su esfuerzo investigador crece más rápido que la media general, y si además a las más altas autoridades del país les parece oportuno salir en la foto, mejor todavía. En España, tras la estabilización de 1959, y hasta la crisis del petróleo de 1972, se hizo un esfuerzo notable en el campo de la I+D, y con el beneplácito de los prohombres del Régimen, excepto quizás el del Jefe del Estado, al que esto le daba muy poca importancia, como a tantas otras cosas, pero al menos no lo impedía.

Ha ocurrido recientemente, con gobiernos de signo distinto, hasta que ha llegado la crisis de 2008, y también ahora, como en aquellos años 60 del siglo pasado, al Jefe del Ejecutivo la I+D le parece poco importante, lo importante es el gasto social, sin reparar que una manera eficaz de luchar contra la crisis es usar el intelecto.

Curiosamente ahora, como al final del ciclo depresivo anterior, también se alumbra una nueva Ley de la Ciencia, que esperemos que de algo más que la vigente de 1986, que tras un laborioso parto la única acción directa que tomó fue que “a la publicación en el B.O.E. de esta Ley, queda extinta la Comisión Nacional de Investigación del Espacio”, una Comisión interministerial (¡milagro!) que trajo a España la Investigación Espacial, los primeros cohetes de sondeo y el primer satélite español, los acuerdos con la NASA y la entrada de España en organismos internacionales como la ESA, Intelsat, Eumetsat y otros. Se decía que era impensable que un órgano científico estuviera regido por militares (el Espacio dependía orgánicamente del extinguido Ministerio del Aire, por cierto como la Aviación Civil o los Aeropuer-

tos), pero había que preguntarse ¿qué era lo impensable, que unos militares hicieran I+D, o que unos militares gestionaran la I+D? Si uno ve quiénes fueron los pioneros en los EEUU, en Rusia y ahora en China e India, se percibe el complejo que teníamos en España, parecido al que tenemos en el campo de la Energía, y procedente de una visión parcial de la realidad.

2. Una de las cosas que conviene precisar, y precisar con acierto, es la diferencia entre Investigación e Innovación, que no son lo mismo, ni se contradicen, pero se les relaciona mutuamente.

La Investigación es un esfuerzo que hace la Sociedad para buscar el Conocimiento, así con mayúsculas. El día que la raza humana pierda la curiosidad, es muy probable que signifique su fin, y por tanto todas las sociedades han invertido, con mayor o menor fortuna, en la búsqueda del conocimiento, que no es sólo una nueva vacuna, o unas máquinas esotéricas, es también sobre filología, bellas artes, música y tantas cosas más. Los investigadores son todos los que contribuyen a esa búsqueda, y no necesariamente tienen que ser genios, pero sí tenaces y laboriosos. No todos los niños que dan patadas a un balón salen Cristianos Ronaldos, pero hacen falta muchos para aumentar las posibilidades de que así sea. La Investigación tiene que ser libre, pero no desordenada, y sin corsés artificiosos como se encuentran en tantos programas que empiezan pidiendo que se cuantifique cuantas patentes se van a crear, o qué cosa se va a descubrir. Si se supiera de antemano, sobraba el programa de investigación solicitado.

La Innovación es la aplicación del conocimiento para obtener una ventaja competitiva o funcional. La Innovación no busca el Conocimiento con mayúsculas, busca su utilización, la mayoría de las veces con fines prácticos y de resultados económicos, aunque hay innovaciones sin ánimo de lucro, para deleite de nuestras mentes, por ejemplo. Los Innovadores, como los músicos excelsos, los deportistas de élite, incluso los cocineros de fama, no se producen con métodos industriales, ni siquiera un gran esfuerzo investigador garantiza un gran éxito innovador, aunque evidentemente no le perjudica. Los innovadores son, las más de las veces, considerados bichos raros, excepto si tienen el aplauso de las masas, y entonces se convierten en líderes de la moda e incluso de las costumbres. Y hay que saber distinguir, el conocimiento no es malo, lo malo puede ser la aplicación maligna del conocimiento, lo que hace que en ciertos regímenes alérgicos a las libertades los innovadores sean mal vistos (contra-revolucionarios).

Tabla 1: Exploración espacial. Presupuestos actualizados de 2008 (civil y militar)

PAÍS	PRESUPUESTO ANUAL (M€)	CONTRIBUCIÓN PER CÁPITA (M€)	PIB/CÁPITA
EEUU	25.000	85	45.000
Europa (CE)	8.000	20	40.000
España	300	7,5	30.000

La inversión en el espacio, incluso en los EEUU es poco significativa.

Pese a todo es justo reconocer que en aquellos lugares donde existe un respeto hacia la figura del investigador han salido más innovadores, al menos en el campo de las Ciencias Físicas y Exactas, (véase el caso de Einstein, entre otros, y que además era un modesto funcionario de Estadística), al contrario que en aquellos otros países donde la medida de éxito es cuanto ganas, no cuanto sabes, y entonces se alumbran genios aplicados a la contabilidad ingeniosa, y a la zonificación del medio rural, obteniendo buenas fortunas personales, como es el caso de España (el ex-ministro Solchaga dixit).

Este asunto no es baladí, y sinceramente nos deberíamos preguntar qué pasa en los barrios pudientes de nuestras ciudades, cuando ese hijo de familia comunica a sus afligidos progenitores que quiere dedicarse a la filología Comparada en vez de hacer un master en dirección de empresas, y la muchas veces furibunda reacción de éstos. Hace falta devolver el prestigio a los (humildes) obreros del conocimiento, para incentivar la búsqueda del mismo, sin perder de vista que de esta manera, entre ellos saldrá algún "listo" que además hará fortuna, con el conocimiento, no con los ladrillos. Fantástico ¿no?

3. Un asunto importante, en España, es la diferenciación entre Investigación Pública y Privada, que parecen que deberían ser como los bloques de la ya extinta Guerra Fría, intocables e impenetrables. Lo mismo ocurre con las Pensiones, la Medicina, los Transportes y tantas otras cosas que en realidad reflejan el espíritu intransigente y cainita de distintas opciones políticas, sin detenerse a observar que lo Público y lo Privado conviven admirablemente juntos, y se apoyan mutuamente.

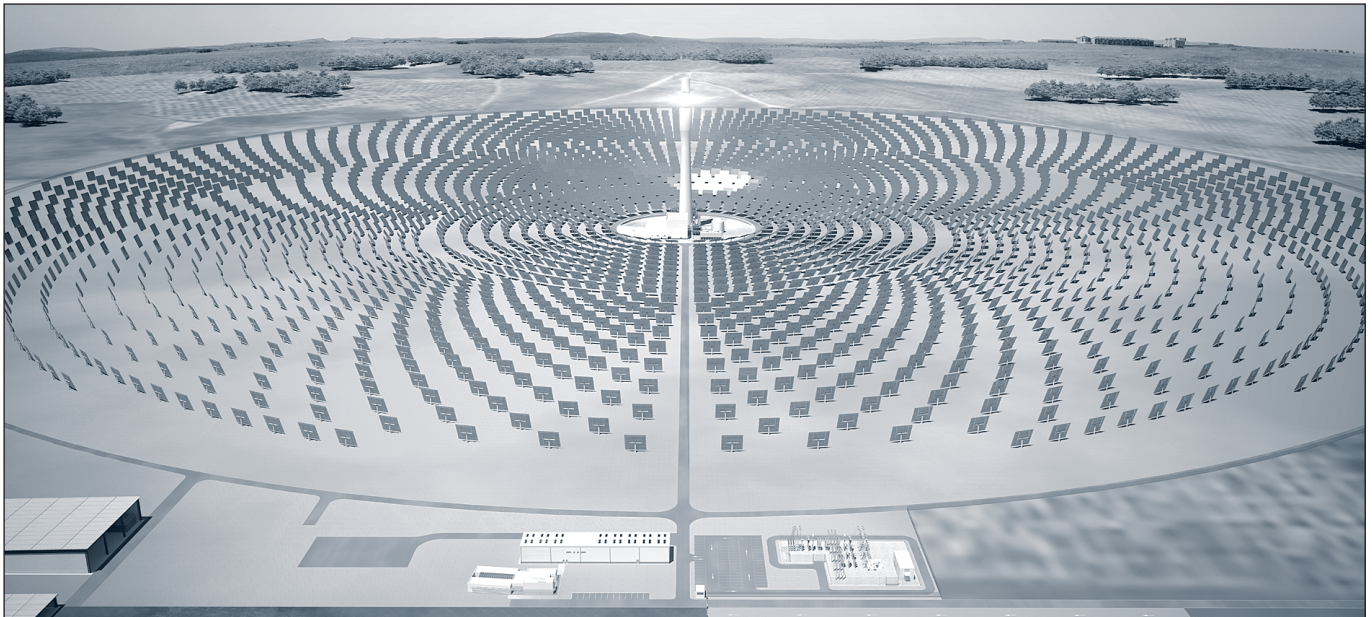
Uno de los disparates más frecuentes, y desgraciadamente más costoso, es el empeño de evitar que el investigador público pueda llevar sus conocimientos a la empresa privada. Precisamente los horarios de la función pública permitirían que aquellos investigadores funcionarios que destacaran fueran llamados por empresas privadas para apoyar a estas en su esfuerzo investigador, sin coartar su carrera y de paso mejorando sus ingresos sin carga al erario público. Evidentemente estas personas no pueden asignar ni promover ayudas públicas a las empresas donde colaboran, pero el sistema tiene herramientas de sobra para prevenir esto. Ha-

bría que preguntarse cuanto tiene que ver la envidia con esta animosidad a la cooperación entre estos dos mundos.

Otro asunto importante, ya esbozado en el párrafo 1 de este artículo, es la importancia de la investigación en el ámbito de la Defensa, que tantos injustificados recelos levanta en ciertos ambientes. Para empezar la I+D de Defensa, o militar, como a mi me gusta llamarla, no sólo estudia explosivos y armas, pero también logística, prevención de desastres, medicina, ropa especial para todo tipo de ambientes, comunicaciones, incluso innovadores utillajes de cocina. Además la investigación militar empuja más que ninguna otra a la innovación, por la necesidad de encontrar soluciones prácticas a problemas muy concretos. Es pues importante dotar generosamente estas I+D, aunque dependa del Ministerio de Defensa, como no se deja de dotar a la investigación sobre el clima, que depende del Ministerio de Medio Ambiente. Lo que se precisa es una Comisión interministerial, la CICYT eficaz y con autoridad para coordinar esfuerzos y evitar duplicaciones, y mejor si está presidida por un prohombre, como antaño. Vuelve la pregunta del principio ¿entonces, porque se extinguió la CONIE? ¿Es que la CICYT, o su equivalente, no puede ser presidida por un militar?

Otra leyenda urbana a desmentir es la de los "ingentes gastos" espaciales. El cuadro adjunto indica que en España se gasta el equivalente a dos cervezas por persona y año, y eso teniendo cuidado de no ir a algunos de los bares del Paseo de la Castellana en Madrid o del Puerto Olímpico de Barcelona. Y bromas aparte, los números son demoledores. Hagamos la hipótesis que en la presente crisis se decidiera suprimir la investigación espacial, y dedicar el 100% de los fondos a mitigar el paro. En España, y suponiendo unas prestaciones verdaderamente escasas (500€/mes) daría para atender a 50.000 parados o sea el 1.1% del total actual, aparte de generar nuevo paro en las industrias espaciales. Y no es que la cifra de 300 M€ anuales sea despreciable (España es la undécima potencia espacial mundial) es que hay que tener perspectiva, por ejemplo la inversión espacial española es del orden de magnitud de los fichajes "galácticos" del Real Madrid.

4. ¿Cuál es la conclusión? Uno es optimista vital y tiende a ver el vaso medio lleno, y no medio vacío. Es cierto que el borrador de la nueva Ley de la Ciencia parece ocuparse más de levantar un edificio administrativo, y poco o nada se



Planta Gemasolar en Sevilla.

ocupa de los temas aquí citados. También es cierto que el ambiente no es propicio para el investigador, y que el que sabe está postergado ante el que más gana, y que el país sufre un complejo igualitario que castiga premiar a los mejores en las entidades públicas, pero sin embargo no hablamos, al menos en mi caso, de más recursos, sino de mejor distribución, de aplicación estricta de la meritocracia, y de mayor respeto y consideración al investigador. Quizás esto último sea lo más difícil ya que hay que inculcarlo desde pequeños, y ya sabemos las lacras de los métodos de enseñanza modernos y las deficiencias del sistema educativo español.

Pero un cambio de rumbo es posible, y además aportaría la tan necesaria iniciativa privada. En efecto ¿cómo se quiere que haya más esfuerzo privado cuando lo fácil es ganar dinero, y encima es esto lo más prestigioso? ¿Cómo evitar las injerencias de los que no saben, y pese a ello se aupan a altos puestos de la Administración? Y sin embargo el mayor problema está en el escaso reconocimiento que se hace de la investigación y desarrollo españoles, por sus propios ciudadanos, cuando ni es tan escasa, ni es tan mala. Lo que ocurre es que tendemos a compararnos con los primeros de la clase, pero no con la media, donde saldríamos mejor parados, pero sí es cierto que el rango económico mundial de España no se corresponde con el que tiene en Investigación (pero tampoco Brasil, por ejemplo) aunque ya hemos diagnosticado las razones.

No puedo entrar a valorar la Investigación pública, por ignorancia, pero sí puedo valorar la Investigación privada que se hace en España, con gran acierto y además con recompensa económica a sus líderes. No es cosa de hacer publicidad gratuita de entidades específicas, pero España lidera mundialmente muchas y buenas cosas, en el ámbito bancario, textil, energético, pesca, comunicaciones y otros muchos más, como el de los servicios.

Como botón de muestra me ciño a la entidad donde trabajo, SENER Grupo de Ingeniería, con más de cinco mil profesionales, y medio siglo de crecimiento ininterrumpido (y algunos tropezones serios). En la década de los 60 se diseñó y fabricó la mayor grúa flotante del mundo, y la torre de lanzamiento de cohetes de Kiruna, en Suecia. En los 70 SENER fue la primera empresa española en licenciar (sí, en vender, no comprar, patentes) aun gigante japonés, NK, y en desarrollar un sistema de diseño de buques que hoy se utiliza en una cincuenta de astilleros por todo el mundo. En los 80 se desarrolló y fabricó el mecanismo de focalización del celeberrimo telescopio espacial Hubble, que permitió su uso incluso cuando el telescopio tenía su espejo principal deformado, y que tuvo la no pequeña distinción de ser el mecanismo de usos civiles más preciso del mundo y diseñó y montó el primer aerogenerador de España, en el Cerro del Cabrito, en Cádiz. En los 90 SENER lanzó la iniciativa de ITP, la única empresa de turbopropulsión de España, y los primeros tratamientos de residuos sólidos urbanos. Y por fin en esta primera década del siglo XXI la empresa es líder mundial en generación de energía termosolar, pero también es el líder del primer proyecto europeo de vuelo en formación de satélites.

¿Cómo ser pesimista con estos datos? No hacen falta movilizar más recursos, lo que hace falta es movilizar a la sociedad española, que hoy vive encandilada atendiendo a las intimidades de algunos personajes en televisión, que eso sí que es un ejemplo de innovación, pero no de la que deseamos algunos españoles.

Uno se pregunta, con cierto pesar, si el mes de julio hubiera tenido, en avances científicos, el éxito para España que ha significado en lo deportivo, si hubiera habido la misma reacción de la sociedad española. ■

Heliostatos de bajo coste y altas prestaciones

El concepto de TITAN TRACKER

AUTORES: JUAN PABLO CABANILLAS Y CARLOS GARCÍA
TITAN TRACKER

Los heliostatos son el componente con mayor incidencia en el coste de las centrales termoeléctricas de tipo torre, suponiendo el 50 % de la inversión¹ total en la planta. En los últimos años, se ha intentado reducir el coste relajando algunas prestaciones. El concepto TITAN TRACKER consigue lograr el objetivo de reducción de costes ofreciendo unas prestaciones superiores a las del resto de heliostatos.

INTRODUCCIÓN

La principal conclusión del exhaustivo informe² de Sandia National Laboratories "Heliostat Cost Reduction Study" que se editó en Junio de 2007 es que la viabilidad de las centrales termoeléctricas de tipo torre pasa por conseguir heliostatos fiables y eficientes a un coste mucho más reducido que el de las diferentes soluciones conocidas.

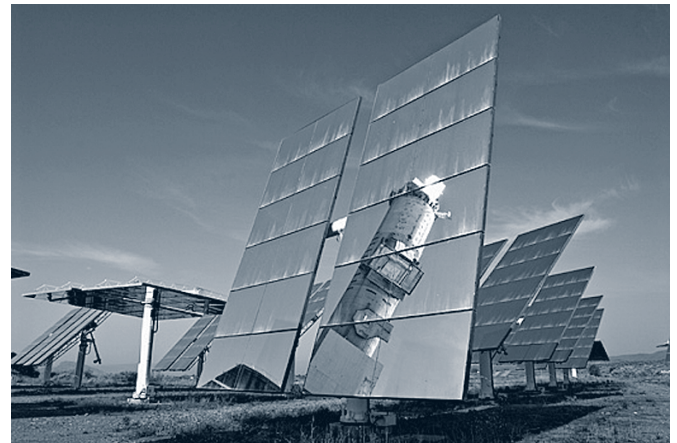
El grupo de trabajo que participó en dicho estudio, unos 30 expertos internacionales, indicó como objetivo de coste para los heliostatos a largo plazo el **índice de 100 \$/m²** (base 2006) definiéndose una serie de proyectos de I+D para lograrlo, entre otros, aumentar el tamaño, mega heliostatos, reducir el coste del accionamiento o aplicar diseños de tipo carrusel.

Posteriormente, TITAN TRACKER dio a conocer su novedosa tecnología, que permite la total satisfacción de todos

los objetivos marcados a los heliostatos, tanto económicos como técnicos, para facilitar el despliegue comercial de centrales de tipo torre.

HISTORIA Y ESTADO DEL ARTE

Cuando hablamos de heliostatos para centrales de tipo torre estamos hablando de sistemas para el seguimiento solar a dos ejes y obviamente de seguimiento de precisión. Las soluciones hoy conocidas son numerosas y de muy variada tipología, lo cual demuestra por sí solo que la determinación de la solución correcta no es una cuestión trivial.



Heliostato tipo monoposte. Cortesía PSA



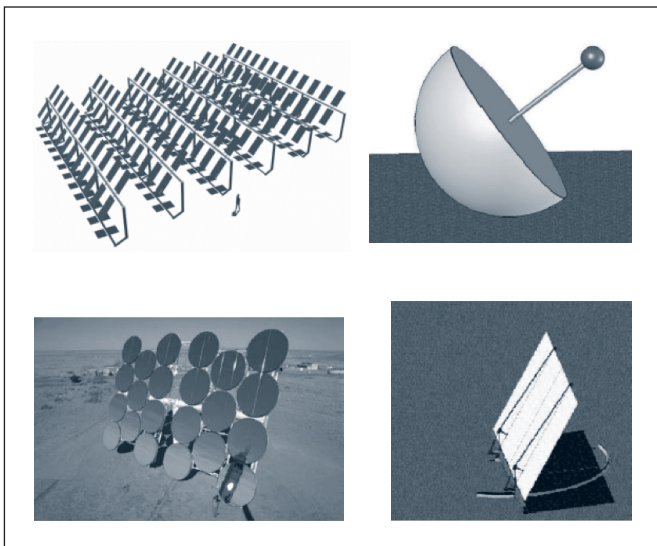
Campo de heliostatos en la PSA. www.psa.es

El grupo más numeroso entre los heliostatos se caracteriza por tener “**un solo apoyo central**”, con poste (monoposte) y también sin poste.



Heliostato tipo carrusel

Otra importante familia son los heliostatos de tipo “**carrusel**” y está caracterizada porque el giro acimutal se consigue gracias a la rodadura sobre una pista generalmente de hormigón y en algunos casos de perfilera metálica. En esta familia de seguidores de tipo carrusel hay que diferenciar un subtipo que es el de “**mesa o lenteja giratoria**”; este subtipo se caracteriza porque los espejos se disponen en diferentes planos paralelos.



Otros tipos de heliostatos

Fuera de estas familias hay otras diferentes soluciones pero su catalogación es realmente difícil porque las características de cada una son tanto exclusivas como comunes a otras soluciones, no resultando fácil su clasificación y considerándose que no aportan ventajas relevantes

EVALUACIÓN TÉCNICA

Consecuencia del concepto de partida, cada una de las tipologías de heliostatos reúne unas características técnicas que facilitan o dificultan el cumplimiento de los requerimientos funcionales y, consiguientemente, los objetivos económicos finales.

Heliostatos de “un solo apoyo central”

- Al tener un solo apoyo central, son **más sensibles a las cargas del viento** (menos rígidos) y sus deformaciones son realmente altas, perdiendo la funcionalidad por alta deformación incluso con vientos bajos, induciendo menos producción.
- La unión entre la vela y el suelo pasa siempre por el accionamiento. **Se somete el accionamiento a cargas altas y pulsantes** que condicionan su durabilidad por hacerlo trabajar como componente estructural. En muchos casos es muy difícil su reparación o sustitución.
- **Precisión baja** por accionar desde el centro y, en consecuencia, sufrir la problemática siguiente:

Brazo de acción reducido ⇒ **movimiento discontinuo** ⇒ **Holguras** ⇒ **Histéresis**

Sufren un alto stress por los numerosos ciclos arranque-parada (más numerosos cuanto mayor es la precisión que se desea obtener)

- Accionamiento con componentes no estandarizados, especiales de diseño “ad-hoc” que repercute en alto precio (uno de los elementos identificados en el estudio como precursor del alto precio de los heliostatos de un apoyo central)

Heliostatos de tipo “carrusel”:

El concepto carrusel permite evitar la mayor parte de los defectos característicos de la familia anterior de “un solo apoyo central”

- Tienen varios puntos de apoyo, por lo tanto, son más estables y rígidos.
- El accionamiento no es parte de la estructura.
- El brazo de acción es alto: al no mover desde el centro pueden ser más precisos, y realizar un seguimiento continuo, sin paradas, menor stress, etc...
- Los accionamientos pueden ser elementos estándar de comercio.

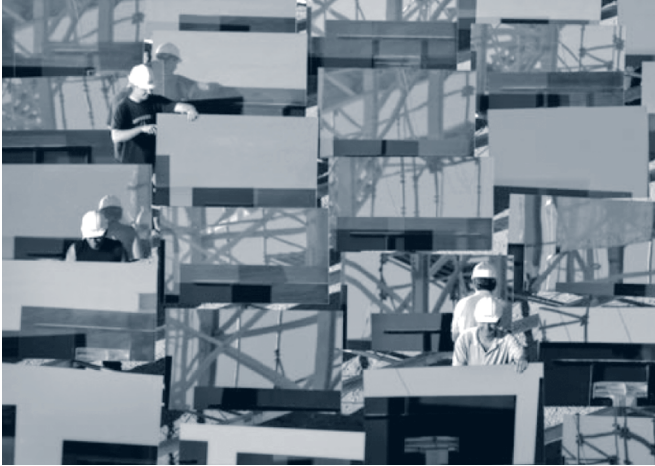
En el tipo de “**mesa o lenteja giratoria**” el mayor inconveniente es que se transporta también la zona de sombras y que, por lo tanto, se transporta una superficie o zona inútil con la correspondiente repercusión en el coste económico, dificultando la competencia en costes con el resto de soluciones de tipo “**carrusel**”.

La ejecución de la pista, en algunos casos, puede suponer un alto coste económico, sobre todo, en aquellos tipos que

precisan una alta calidad de nivelación para el correcto funcionamiento del heliostato.

Otros tipos de heliostatos:

Fuera de esas dos familias principales no conocemos ningún sistema o concepto relevante que merezca ser analizado en detalle.

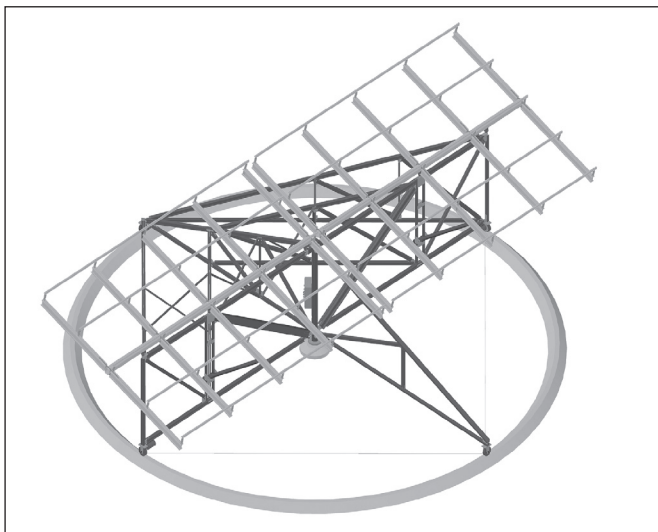


EL CONCEPTO DE HELIOSTATO

TITAN TRACKER

El heliostato de Titan Tracker es de tipo **carrusel mejorado** gracias a que tiene parte de la estructura soporte situada por delante del plano de espejos o paneles; esa estructura es su "nariz" característica. La geometría del seguidor permite el establecimiento de esa "nariz" sin producir sombras.

Es una tecnología probada que ratifica en el uso sus ventajas teóricas. Desde su lanzamiento al mercado, este concepto está siendo empleado en fotovoltaica plana, teniendo



Geometría de TITAN TRACKER

desde hace años cientos de Titan Trackers funcionando sin problemas. Por lo tanto, Titan Tracker no es sólo una idea, sino una tecnología probada real que demuestra todas sus ventajas..

Las ventajas características derivadas de esta nueva geometría son, entre otras:

- **Apoyos:** Se cuenta con cinco apoyos: un apoyo central y cuatro exteriores rodantes. Los cinco apoyos y su ubicación confieren una gran estabilidad.
- **Estructura:** Su geometría permite su fabricación mediante celosías 3D, lo cual aporta una gran rigidez compatible con una excelente economía de acero.

Estas dos características hacen que las deformaciones sean bajas incluso con vientos altos, manteniéndose la funcionalidad con vientos medios y altos, así como permitiendo su cálculo y diseño para cargas de viento mucho más altas que las consideradas habitualmente.

- **Cimentación:** Se necesita solamente el 65% del hormigón y el 20% del acero necesario en un monoposte con la misma superficie de espejos. La pista no precisa alta calidad de nivelación, admitiéndose en los modelos de 220 m² unos desniveles o irregularidades de ± 10 mm. Se consigue así una cimentación muy económica.
- **Accionamiento:** El accionamiento y la estructura son totalmente independientes. El accionamiento acimutal se sitúa en los bordes, permitiendo seguir al sol con un **movimiento continuo de una altísima precisión** (sin frecuentes arranques y paradas) Su geometría permite trabajar con un brazo en la acción acimutal unas 50 veces mayor que el de un seguidor del tipo de un apoyo central de la misma superficie (equivale a 50 veces más precisión y a 50 veces menos necesidad de fuerza para el mismo por motor).

Los componentes del accionamiento son comunes, estándar de comercio (bajo precio)

- **Precisión:** La precisión intrínseca "control lazo cerrado-accionamiento-estructura" obtenida es altísima, estando en **0,01°** y, por lo tanto, en un orden de magnitud 10 veces mejor que los seguidores de un apoyo central conocidos.

Téngase en cuenta que si la precisión aumenta 10 veces, las superficies receptoras pueden reducir su superficie en 100 veces.

A continuación se puede ver una trayectoria donde se muestra la precisión extrema del modelo 125-219 PRECISION el día 1 de agosto de 2009, primer prototipo de CPV situado en las instalaciones del ISFOC.



Seguidores TITAN TRACKER de FPV.

■ **Producción:** La prestación de precisión en esta tecnología es sinónimo de mayor rendimiento y, por lo tanto, de mayor rentabilidad.

ANÁLISIS COMPARATIVO: PRESTACIONES

Las prestaciones técnicas que en el referenciado estudio de SANDIA se establecen como objetivo para la segunda generación de heliostatos son las detalladas en la tabla siguiente:

te; se adjuntan también las prestaciones que ofrece TITAN TRACKER.

Entendemos que esas prestaciones objetivo establecidas para los heliostatos actuales cabe considerarlas de muy poco exigentes. Imaginamos que el problema radica en que si se incrementa la exigencia, se incrementa también el índice "coste/m²" del heliostato, y por lo tanto, se produciría un alejamiento del objetivo económico en lugar de un acercamiento. De hecho, una de las pro-

Tabla 2: Comparativa de prestaciones

Requerimiento	Heliostatos actuales	TITAN TRACKER
Modos	Track, standby, wirewalk, stow	Idem
Vientos de operación	Track up to 35 Mph	Track up to 50 Mph
Tracking singularity	Slew up to 50 Mph	Slew up to 78 Mph
Desapunte rápido	Resolve in 15 minutes	Idem
Precisión de apuntamiento	3 minutes	Idem
Calidad de rayo	1,5 mrad rms	0,17 mrad ^a
Deformaciones por viento	Según reflector ^b	Según reflector
Deformaciones por cimentación	3,6 mrad rms max 0,45 mrad rms max after survival loads; 1,5 mrad max tilt in 27 Mph	1 mrad a 27 Mph 0 mrad
Vientos de supervivencia	50 Mph in any orientation 90 Mph in stow position	78 Mph in any orientation
Vida de operación	30 years, mínimo coste O&M	35 años, mínimo coste O&M

^a Precisión del conjunto "control lazo cerrado-accionamiento-estructura".

^b Una calidad de rayo suficiente se considera por debajo de 1 mrad, según algunos expertos.

Tabla 3: Comparativa de costes^a. Producción 50.000 unidades/año

Componentes / Diseños ^b	Helio ATS (USD 2010)	TITAN (USD 2010)	Ahorro \$/m ²
Espejos	23,0	23,0	
Estructura soporte	36,5	35,8	+0,7
Accionamiento azimut	33,4	4,5^c	28,9
Accionamiento elevación	8,7	5,9	2,8
Electrónica y control	4,2	(*) ^d	
Total costes directos	105,8	75,8	
Margen (20%)	21,2	15,2	
Cableado campo	7,1	(*)	
Cimentación	2,2	4,2	-2,5
Montaje y puesta en marcha	6,1	(*)	
Coste total instalado	142,4	106,6	35,8

^a Variación promedio anual IPI 3% ; tipo de cambio euro dólar 1,3652 €/\$.

^b Diseños considerados: ATS: modelo de heliostato un solo apoyo central de 150 m²; TITAN TRACKER: modelo de heliostato TITAN TRACKER 125-211 PRECISION de 220 m². ^c Incluye accionamiento y ruedas. ^d (*) Dato no relevante para el análisis.

puestas del informe de SANDIA era reducir aún más las prestaciones para abaratar el accionamiento en el diseño monoposte.

Analizamos los dos requerimientos técnicos más relevantes en los heliostatos: las cargas de diseño y la precisión de apuntamiento.

- **Cargas de diseño.** Los requerimientos de supervivencia de 50 Mph en cualquier orientación y 90 Mph en posición de defensa (horizontal) son muy inferiores a los que deberían establecerse como seguros o mínimos para una larga vida útil a la intemperie. En el caso de TITAN TRACKER se diseña para soportar un viento último en posiciones de trabajo de 78 Mph (125 km/h) con desequilibrio del 100 %. La presión dinámica de un viento de 78 Mph es 2,43 veces mayor que la del viento de 50 Mph propuesto.
- **Precisión de apuntamiento.** La suma de errores límite³ establecidos para el apuntamiento es manifiestamente mejorable (establecida en 8 mrad, es decir, 0,46°) En el caso de TITAN TRACKER ese error suma en el apuntamiento en condiciones de viento de 27 Mph es de 1,17 mrad, siete veces mejor que los 8 mrad objetivo.

Con independencia de cualquier valoración económica, un equipo para ser considerado válido lo primero que debe satisfacer son las necesidades de funcionalidad para la vida útil deseada. Nosotros entendemos que los requisitos marcados por el estándar actual son poco exigentes.

No obstante lo anterior, TITAN TRACKER ofrece unas prestaciones mucho mejores que las establecidas como objetivo.

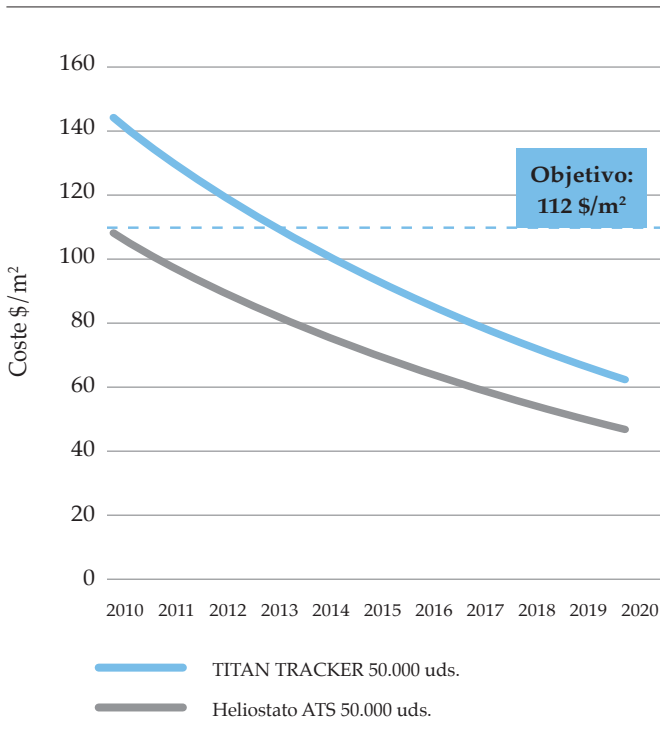
ANÁLISIS COMPARATIVO. COSTES

El informe de SANDIA realiza el estudio de costes de los heliostatos, así como la estimación de su evolución basada en el efecto de las economías de escala (fabricación de grandes volúmenes) y en el efecto de aprendizaje para dos diseños diferentes: cristal-metal (ATS) y membrana tensionada (SM) siendo ambos modelos de la familia de "un apoyo central" En el análisis comparativo nos centramos en el primero (ATS), por ser el más común en el sector.

Para el bajo nivel de prestaciones que hemos analizado y para la fabricación de 7,5 millones de m² (50.000 uds. de heliostato de 150 m²) en el año 2006 y en dólares de ese año, el informe estima que el coste se situaría en torno a 126 \$/m² (equivalentes a 142,4 \$/m² del año 2010) También estima que manteniendo ese ritmo de fabricación de 7,5 millones de m² cada año, los efectos de aprendizaje y de ese volumen de fabricación conducirían a alcanzar el objetivo de 100 \$/m² (112 \$/m² del año 2010) en el año 2015.

En el caso de TITAN TRACKER tenemos que actualmente para una fabricación de esos 7,5 millones de m² (3.400 unidades del modelo estándar 125-211 PRECISION) ya obtenemos un precio de 106 \$/m² que supone una mejora radical respecto a los 142,4 \$/m² (2010) dados por SANDIA, así como la consecución e incluso superación del objetivo dado de 112,4

Gráfico 1: Reducción de costes



\$/m²(2010). TITAN TRACKER además mejora las prestaciones; y si se optara por reducir las equiparándolas con el estándar de SANDIA analizado lógicamente se obtendría una mejora añadida, reduciéndose aún más ese índice de costes.

También es notable la influencia debida al cambio actual euro-dólar en 1,3652 USD/EUR (en el año 2006 el tipo de cambio era de 1,2 USD/EUR y la fortaleza del euro perjudica a TITAN TRACKER en la comparativa al ser una compañía europea y todos sus datos actuales ser en euros).

La tabla adjunta pone de relieve que algunos componentes como el accionamiento azimut reducen su coste en TITAN TRACKER en un orden de magnitud de casi 8 veces (de 33,4 \$/m² a 4,5 \$/m²).

En cuanto a la estructura se observa un nivel de costes similar, pero en ella hay que resaltar la influencia del viento de cálculo (50 Mph << 78 Mph) En TITAN TRACKER se trata además de componentes sencillos, que permiten la fabricación a gran escala como recomienda el informe de SANDIA.

En la geometría de TITAN TRACKER se puede fácilmente aumentar de tamaño (megaheliostatos) debido a las características intrínsecas que se han mencionado anteriormente. Además, este efecto del tamaño tiene beneficios adicionales en los costes de cableado, así como en el mantenimiento. El aumento de tamaño no es posible como estrategia de reducción de costes en los heliostatos de un solo apoyo central.

En el caso de TITAN TRACKER el coste de la cimentación es solo un 5% del total debido a un mecanismo patentado que resuelve esta dificultad característica en algunos diseños de tipo carrusel. Consideramos poco realista el precio publicado en el informe de 2,2 \$/m² para los heliostatos de tipo monoposte.

CONCLUSIONES

Entendemos que no se debe confiar toda la reducción de costes a las economías de escala, a la exigencia de prestaciones mínimas o al efecto del aprendizaje. Es necesario aprovechar todas las tecnologías disponibles en el mercado que ayuden reducir el time-to-market para el despliegue comercial de las centrales termoeléctricas de tipo torre.

El estudio publicado en el año 2007 por los laboratorios SANDIA apuntaba como una de las posibles soluciones para la reducción de costes el desarrollo de grandes heliostatos de tipo carrusel, y en ellos, buscar la reducción del coste de la cimentación.

Precisamente esto es lo que a finales de 2006 había patentado TITAN TRACKER, funcionando hasta el momento, demostrando sus ventajas, logrando conseguir una drástica reducción de costes con una mejora significativa de las prestaciones técnicas de los heliostatos. ■

REFERENCIAS

- Heliostat Cost Reduction Study* Gregory J. Kolb, Scott A. Jones, Matthew W. Donnelly, David Gorman, Robert Thomas, Roger Davenport, and Ron Lumia
<http://prod.sandia.gov/techlib/access-control.cgi/2007/073293.pdf>
- Sargent & Lundy, *Assesment of Parabolic Trough and Power Tower Solar Technology Cost and Performance Forecast*, SL-5641, May 2003
<http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/34440.pdf>

NOTAS

- (1) Sargent & Lundy, *Assesment of Parabolic Trough and Power Tower Solar Technology Cost and Performance Forecasts*, SL-5641, May 2003
<http://www.energylan.sandia.gov/sunlab/PDFs/Assesment.pdf>.
- (2) Heliostat Cost Reduction Study Gregory J. Kolb, Scott A. Jones, Matthew W. Donnelly, David Gorman, Robert Thomas, Roger Davenport, and Ron Lumia
<http://prod.sandia.gov/techlib/access-control.cgi/2007/073293.pdf>
- (3) (Control = 1,5 mrad / Beam = 1,4 mrad / wind = 3,6 mrad. Foundation: 1,5 Suma = 8 mrad <> 0,46°)

De la radio analógica al usuario de banda ancha

La evolución de las tecnologías radio del mundo profesional, y la contribución de la industria española en este recorrido

AUTOR: ALFREDO CALDERÓN SAMITIER
Director de I+D, Teltronic SAU

LA RADIO MOVIL PROFESIONAL

Mientras intentan resistirse a la vertiginosa mutación tecnológica de su vecino mundo de la telefonía celular, las comunicaciones radio profesionales renuevan votos, lustro a lustro, en su particular cruzada: La de conjugar las innegables ventajas de los avances tecnológicos con un mercado que toma lentamente sus decisiones y cuyo foco de atención está –de forma acertada- mucho más centrado en valores tradicionales (robustez, fiabilidad, disponibilidad) que en el entusiasmo tecnológico que producen las modulaciones digitales de última generación.

El mundo del PMR (del inglés *Professional Mobile Radio*, también *Private Mobile Radio* en el Reino Unido y *Land Mobile Radio* –LMR– en Norteamérica) marca la diferencia en lo que respecta a exigencia en el grado de servicio esperado de sus sistemas de radiocomunicaciones, que son piedra angular en el eficaz desempeño de su actividad, de forma particular en los entornos *Mission Critical* (servicios de emergencias en su más amplia extensión) y *Business Critical* (compañías de distribución de energía, refinerías, aeropuertos o transporte ferroviario, entre otros).

De forma resumida, estas son algunas de las particularidades que definen a un sistema PMR frente a un sistema de comunicación radio generalista:

Requisitos básicos en un sistema PMR

Inmediatez en establecimiento de llamadas (en órdenes de milisegundos)

Comunicaciones de grupo (*push-to-talk*)

Simultaneidad e interacción de diferentes tipos de servicios (voz, datos)

Prioridades selectivas en el acceso y uso del medio radio

Movilidad (con *handover*)

Confidencialidad en la comunicación (diferentes niveles de seguridad)

Terminales particularizados para los diferentes entornos de uso

Disponibilidad, robustez, fiabilidad

Interconexión a otros sistemas de comunicaciones fijos y móviles

Hasta mediados de los 90, los usuarios PMR se comunicaron casi exclusivamente en analógico, en un escenario tecnológico abanderado por los sistemas radio con modulación FM, en

canales de 25 kHz, con señalizaciones selectivas basadas en tonos y subtonos (DTMF, CTCSS, DCS, y los famosos *cinco tonos*), y extendido en múltiples bandas de frecuencia, desde los 80 MHz para sistemas en entornos rurales hasta las bandas en UHF. El uso de los sistemas era casi exclusivamente para voz, y allá donde se comenzaban a realizar los primeros pasos en transmisión de datos vía radio (telemetría modesta, fundamentalmente), la tónica dominante eran los módems de modulación FFSK. Estas soluciones para datos permitían velocidades típicas de 1200 bps, alcanzando con dificultad los 2400 bps en redes cuidadosamente optimizadas para salvar toda la cadena de filtros vocales de pre-énfasis y de-énfasis en terminales y repetidores nunca antes pensados para permitir el tránsito de señales moduladas sin deteriorar su fase.

La aparición del estándar de trunking analógico MPT-1327, publicado en 1988 y con notable y progresivo éxito durante los años 90, estableció un primer hito en la optimización del uso del espectro radioeléctrico, introduciendo el concepto de red troncalizada, y reduciendo por lo tanto el número de canales radio (portadoras únicas) necesarios para atender a un mismo número de usuarios, además de adoptar el posible uso de canalizaciones de 12,5 kHz.

Junto con la creciente preocupación por la optimización del uso del espectro radioeléctrico –bien escaso y cercano a la saturación–, la demanda de un mayor grado de confidencialidad de las comunicaciones (especialmente en los entornos de *Mission Critical*), la necesidad de ampliar las capacidades de transmisión de datos y la posibilidad de interconectar los sistemas PMR con otros medios (redes, aplicaciones) requeridos para la explotación fueron los detonantes del esfuerzo estandarizador que ha marcado ya casi dos nuevas décadas de radio profesional: El estándar ETSI TETRA (*Terrestrial Trunked Radio*).

TETRA: LA PRIMERA REVOLUCIÓN

DIGITAL PMR

Inspirado en el reciente éxito de la tecnología GSM, TETRA salió a mediados de los 90 de la productora de estándares ETSI con vocación europea, que inmediatamente elevó a la categoría de mundial.

Este referente mundial de PMR digital *narrowband* utiliza 25 kHz para su transmisión TDMA de 4 slots (siendo por lo tanto 6,25 kHz equivalente) con una tasa máxima efectiva de

28,8 Kbps, está diseñado para entornos móviles multitrayecto urbanos y rurales, ofrece *seamless handover*, diversos niveles de seguridad en las comunicaciones y capacidades simultáneas de voz y datos, amén de un extenso catálogo de servicios básicos y complementarios orientados a satisfacer las particulares exigencias de los usuarios PMR.

La aparición pública de TETRA, coincidiendo con la segunda mitad de los años 90, estuvo marcada por las inevitables discusiones técnicas –y en algunas ocasiones, no tan técnicas ni objetivas– sobre la idoneidad de las tecnologías sucesorias para satisfacer el variopinto panorama del PMR:

- **TETRAPOL:** A pesar de la cuidada elección mercadotécnica de su nombre, esta tecnología propietaria de Matra (hoy incorporada en EADS), basada en transmisión FDMA en canales de 12,5 kHz, y con tasas máximas de transmisión de datos de 9,6 Kbps, está a medio camino entre las prestaciones del MPT-1327 y las de TETRA, fue desestimada como estándar ETSI, y su baja implantación ha quedado relegada a algunos países de influencia francesa, condicionada por la ausencia de proveedores alternativos y los efectos que ello conlleva.
- **APCO 25:** Con un fuerte énfasis en los aspectos de compatibilidad hacia las antiguas redes analógicas, esta tecnología FDMA en canales de 12,5 kHz con una tasa máxima de transmisión de 9,6 Kbps disfruta de posibilidades de expansión comercial en el mercado norteamericano y su ámbito de influencia beneficiándose de las restricciones al uso de TETRA en EEUU y Canadá por limitaciones en la concesión de licencias sobre sus IPRs esenciales.
- **GSM-R:** Evolución del estándar GSM (la –R– corresponde a *railway*) al que añade una capa adicional de protocolos para adecuarlo a los servicios requeridos en el entorno ferroviario. Fue elegido estándar de referencia en Europa, aunque años después haya perdido parte de su influencia en favor de TETRA sobre otros transportes ferroviarios como metros, tranvías y trenes de cercanías.

De forma más reciente se está produciendo la aparición de otras tecnologías digitales como DMR (Digital Mobile Radio) y algunas otras soluciones basadas en conceptos técnicamente equiparables, que están enfocadas a los usuarios de más bajas necesidades.

En medio de este panorama, TETRA se erige actualmente como la tecnología PMR de referencia en el mundo, habiendo sido ya adoptada por más de 115 países y más de 2 millones de usuarios y con grandes perspectivas de crecimiento alentadas por la enorme base de usuarios analógicos (más de 25 millones en todo el mundo) que lentamente planean su migración a digital, de forma acorde al largo ciclo de inversión que caracteriza al sector.

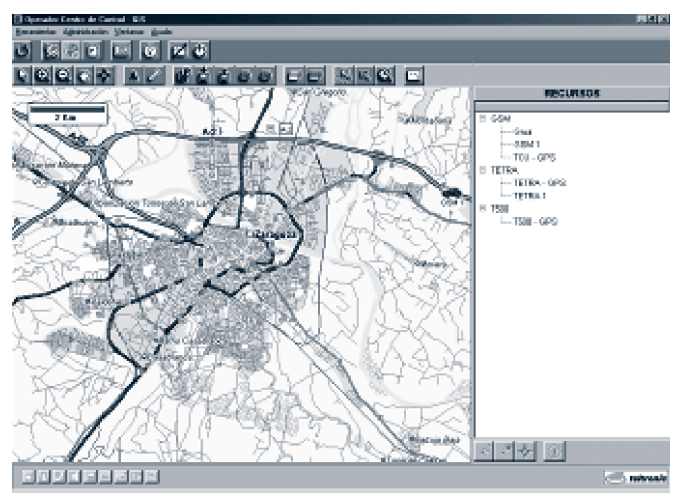
EXPRIMIENDO LAS CAPACIDADES DE LA BANDA ESTRECHA

La posibilidad de simultanear los servicios de voz y datos en las redes TETRA han abierto un interesante abanico de mejoras en la explotación sobre los usuarios existentes y quienes se han incorporado a TETRA a partir de las ventajas mostradas.

Junto con la voz, que sigue siendo el modo de comunicación por excelencia en las redes PMR, el servicio más demandado es el de localización de vehículos y personas, dado que el geoposicionamiento en tiempo real de los recursos es una información imprescindible hoy en día en la toma de decisiones dentro de las actividades de explotación.

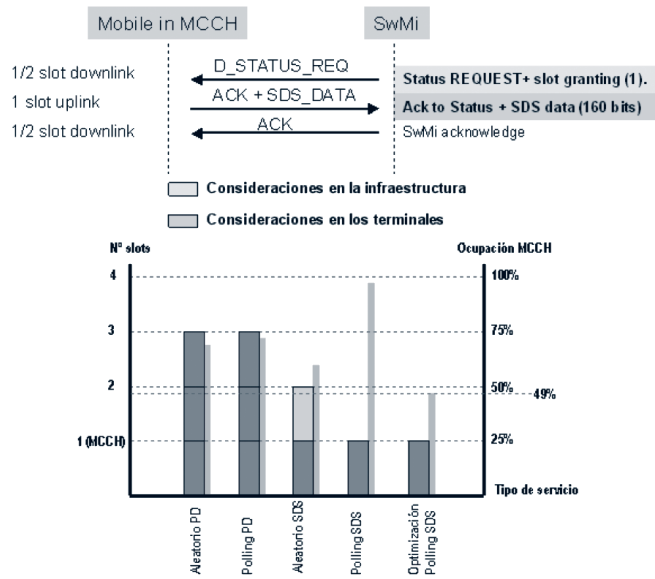
Para satisfacer esta demanda de soluciones AVL (*Automatic Vehicle Location*), los distintos servicios de TETRA permiten encaminar la información de los receptores satélite GPS, alojados en los terminales de los usuarios, hasta los centros de control, encapsulados en diferentes formatos y apoyados en distintas estrategias de comunicación utilizando canales de control (en formato de datos cortos) o de tráfico (encapsulados en datos por paquetes o por circuitos).

Solución AVL desde aplicación en centro de control



Sin embargo, esta flexibilidad es también un riesgo en sí mismo cuando el diseño de las aplicaciones no incorpora el suficiente *know-how* sobre la tecnología en la que se basa la solución (TETRA en este caso), pudiendo llegar a equivocadas conclusiones que infravaloren las prestaciones que pueden alcanzarse. En ese sentido, una interesante aportación de Teltronic al uso optimizado de las redes TETRA es el SDM (*Synchronous Data Manager*), una técnica patentada consistente en una optimización en el uso de los protocolos de nivel de enlace entre el terminal y la estación base para dotar, sobre la base de un acceso aloha-ranurado (y por tanto asíncrono por naturaleza), un grado suficiente de sincronización en aquellos contextos en los que se requiere una alta velocidad de actualización de posición sobre un número considerable de terminales de usuario. Todo ello basado en el estándar TETRA y manteniendo la compatibilidad en el resto de los servicios dentro de la misma red.

Optimización de los recursos TETRA mediante el uso de SDM



En función de las características de la red (abonados, portadoras, estaciones base), SDM ofrece un incremento de entre 10 y 20 veces en la capacidad de transmisión de la información de posicionamiento respecto a las prestaciones que ofrece TETRA en condiciones normales o las redes de telefonía celular mediante GPRS.

Con el mismo objetivo de obtener el máximo rendimiento de las redes TETRA, Teltronic ha identificado la posibilidad de realizar optimizaciones en la interacción de servicios de voz y datos que coexisten dentro de una misma red. En la actualidad, Teltronic se encuentra trasladando a implementaciones reales un paquete de nuevos resultados de investigación acuñados con el acrónimo HSDUT (*High Speed Data Uplink Transfer*) que permitirán incrementar todavía más la eficacia en el uso de los limitados recursos que siempre constituyen las redes PMR.

EL FUTURO: ¿CONVERGENCIA O INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS?

Desde la perspectiva de una tecnología consolidada, pero lejos todavía de alcanzar todavía su techo comercial y haberse exprimido en todas sus posibilidades, TETRA ocupa su silla en el cónclave en que se comienza a tratar la sucesión digital en el PMR.

Acudiendo a la opinión y experiencia de los grupos de usuarios, el incremento de las tasas de transmisión de datos en sus sistemas de comunicaciones parece a día de hoy la principal –si no única– motivación para plantearse la futura migración a una nueva solución tecnológica. Una simple reflexión que condensa un heterogéneo universo de particularidades en cada uno de los rincones del PMR (seguridad pública, transporte, utilities, etc.).

Visualizando las necesidades genéricas de transmisión de datos como un gradiente que puede ir resolviéndose con la utilización progresiva de soluciones *narrowband*, *wideband* o *broadband*, una primera derivada de ese requisito general (incrementar la tasa de transmisión) pone en compromiso cualquier esquema de solución que pretenda cubrir mediante una única tecnología todos los escenarios de voz y datos. Y es sin duda la transmisión de vídeo en tiempo real, como caso particular de transmisión de datos, una de las claves en dicha discusión.

A priori parece lógico optar por mantener los servicios de voz bajo los sistemas ya existentes de banda estrecha, dado su alto grado de optimización, las excelentes prestaciones que ofrecen, y el hecho de que no haya nuevos requerimientos sustanciales en la evolución de los servicios de voz. De acuerdo a ello, las tecnologías necesarias para la mejora en las tasas de transmisión de datos comienzan a aparecer como complemento a las ya existentes (como es el caso de TETRA), más que como sustitutos de éstas.

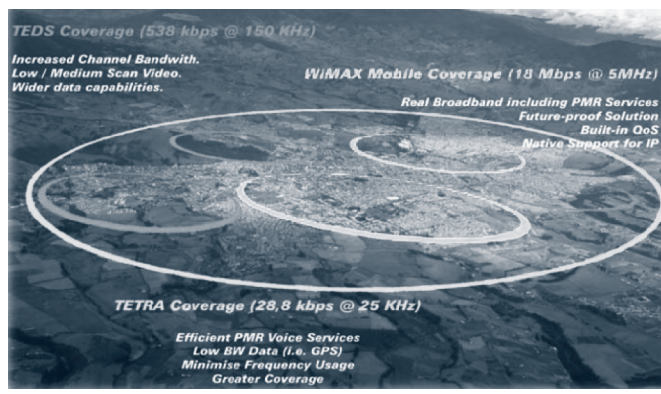
En esa búsqueda de extensión de las capacidades, TEDS (*TETRA Enhanced Data Service*), la nueva extensión *wideband* para datos de TETRA, basada en modulaciones QAM (variable desde QPSK hasta 64-QAM y aplicable a canales desde 25 a 150 kHz) ofrece tasas de transmisión de hasta 576 kbps en las mejores condiciones de canal (ciertamente difíciles de obtener en campo real). De acuerdo a las expectativas de regulación radioeléctrica, es a priori difícil pensar en llegar a disponer de canales mayores de 50 kHz para el uso de TEDS, por lo que el rendimiento máximo esperable en sistemas reales podría quedarse reducido de forma proporcional. Estas tasas de datos obtenidas podrán llegar a ser suficientes para mejorar la agilidad en aplicaciones de acceso remoto a bases de datos o telemetría, pero mantienen en compromiso las posibilidades de transmitir vídeo con suficientes garantías en los escenarios de uso más adversos.

Es por ello que las tendencias en el diseño de sistema radio en el que se conjugan los servicios PMR de voz con las nuevas necesidades de transmisión de vídeo o acceso a aplicaciones basadas en web pasan por la combinación de TETRA (o APCO 25 en su caso) con tecnologías *broadband* que ponen un orden de magnitud adicional respecto a las capacidades de TEDS, y despejan los riesgos de dimensionamiento de las soluciones a largo plazo.

Las dos tecnologías candidatas por prestaciones para acompañar a TETRA en esa solución *narrowband+broadband* son Mobile WiMAX y LTE. Ambas dos, dentro del paraguas de las llamadas tecnologías 4G, están basadas en conceptos constructivos bastante equiparables: Modulaciones downlink OFDMA (*Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*) con subportadoras que se ajustan dinámicamente desde QPSK hasta 64-QAM, anchos de banda entre 1,25 y 20 MHz, QoS (*Quality of Service*) mejorado y soporte de técnicas de diversidad en antena (desde MIMO 2x2 hasta MIMO 4x4), permitiendo lograr tasas de transmisión por encima de los 35 Mbps en el *downlink* y 15 Mbps en el *uplink*.

De entre las alternativas, Mobile WiMAX (estándar promovido por IEEE) es una tecnología ya exitosamente demostrada en el mundo real y ofrece a priori menores obstáculos en lo referente a la carga de patentes que LTE (patrocinada por el 3GPP), la cual se encuentra todavía en fase de demostraciones y cuyo enfoque parece más centrado en satisfacer al mundo de la telefonía celular.

Comparativa de tecnologías narrowband, wideband y broadband



En cualquiera de los casos, la clave principal en la aceptación de la tecnología *broadband* que acompañe a TETRA estará en la forma en la que se adecúe a las particularidades de los sistemas PMR, donde es preciso conjugar unas amplias coberturas geográficas con el mínimo número de estaciones base para un número relativamente bajo de usuarios (en comparación a los modelos de la telefonía celular). Por consiguiente una buena parte del éxito de estas soluciones estará condicionado por la disponibilidad de espectro radioeléctrico para servicios móviles de banda ancha en frecuencias compatibles con el modelo de PMR (esto es, generalmente por debajo de 1 GHz). Un asunto que comienza a estar en la mesa de los administradores del espectro en muchos países a partir de las conclusiones de la última *World Radiocommunication Conference* de Noviembre 2007 en relación con la reasignación del *dividendo digital*, cuyas frecuencias se presentan idóneas para la implantación de estos servicios móviles *broadband*.

EL PAPEL DE TELTRONIC

EN LA (R)EVOLUCIÓN DEL PMR

Fundada en 1974, Teltronic (www.teltronic.es) es una compañía española dedicada desde sus inicios a la investigación, desarrollo y fabricación de soluciones completas de radiocomunicación profesional: Infraestructuras, terminales, centros de control y soluciones sectoriales. Su independencia tecnológica y la capacidad de adecuación de las soluciones a diferentes entornos de uso son sus señas de identidad principales.

Tras su época de productos PMR analógicos y trunking MPT-1327, el inicio de su actividad en el desarrollo de la tecnología TETRA supuso un punto de inflexión en la compañía, que ha sido

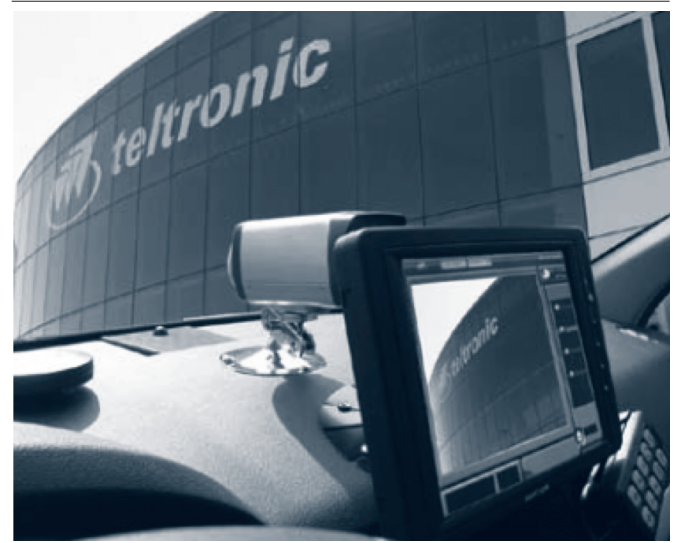
reciente objeto de un caso de estudio (*Fundación Cotec para la Innovación Tecnológica. (2010). Casos de Desarrollo de Producto. Madrid: Cotec*). Su solución de infraestructura basada en IP/Ethernet fue una propuesta pionera que ha marcado la senda de la evolución en el desarrollo de productos en la industria TETRA.

Teltronic es un miembro activo en la dirección y foros técnicos de la TETRA Association, así como de otros organismos internacionales, y atesora un destacado reconocimiento internacional en sus propuestas sobre la optimización del uso de la tecnología para ofrecer soluciones más eficaces al mundo PMR.

En su proceso de crecimiento y diversificación tecnológica, ha abordado el desarrollo de la tecnología APCO 25 y la adecuación de las soluciones PMR al mundo de los sistemas de transporte, donde sus productos son actualmente un referente mundial.

En la actualidad realiza actividades de investigación y desarrollo en TEDS y las futuras soluciones *broadband* PMR, donde su propuesta TETRA+WiMAX ha suscitado nuevamente el interés de los usuarios y la industria como eficaz evolución desde las actuales soluciones de banda estrecha.

TETRA + WiMAX en plataforma vehicular para seguridad pública



Teltronic lidera el *proyecto TelMAX* (www.proyectotelmax.es), enmarcado dentro del programa CENIT del Ministerio de Ciencia e Innovación, que es sin duda una de las propuestas más atractivas de investigación industrial que un consorcio español, junto con destacados centros tecnológicos y universidades, dedica a consolidar el futuro de las comunicaciones móviles profesionales de la próxima década. Se trata de una iniciativa que pretende conjugar el estado del arte en redes celulares y la capacidad de la banda ancha con la robustez y el grado de disponibilidad que caracterizan a los sistemas del ámbito profesional. El *proyecto TelMAX* pretende una renovación profunda de sus bases tecnológicas, desde la perspectiva y la experiencia que atesoran las empresas participantes y la frescura sin prejuicios de la investigación académica. ■

Ingeniería de materiales para la defensa

AUTOR: MANUEL RINCÓN
*Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas,
 CSIC. Madrid*

RESUMEN

El 26 de junio de 2.008, se celebró en el CENIM una Jornada sobre Materiales con Inteligencia, aplicados para la Defensa. Tomando como base esa jornada y lo que en ella se presentó, por parte de reputados investigadores del sector, se ha elaborado el presente artículo, que está dedicado a la divulgación científica de un área de creciente importancia estratégica a nivel nacional, y que se encuentra necesitada de apoyos tanto a nivel de investigación tecnológica, como de ingeniería aplicada, para su correcto desarrollo en los próximos años.

La ingeniería de materiales, para este tipo de actividad aplicada a Defensa, ha evolucionado continuamente, pasando de incluir en exclusiva materiales metálicos, a tratar un abanico más amplio de distintos componentes, lo cual permite abrir un espectro mucho mayor en investigación y desarrollo que sobre materiales en general y soluciones particulares aplicadas a casos concretos, como se verá a lo largo de esta exposición.

En definitiva son necesarios nuevos caminos y esfuerzos, a realizar por investigadores e ingenieros, para afrontar los retos actuales que se presentan dentro del trabajo en este campo y poder diseñar un futuro acorde con las necesidades reales que presenta el campo de la Defensa.

Dentro de este artículo se analizan los puntos básicos, que constituyen los pilares, de esta ingeniería de materiales, y los factores más determinantes para abordar los temas de mayor relevancia en los momentos actuales.

INTRODUCCIÓN

La investigación y desarrollo en estas tecnologías de materiales de nuevo diseño, necesitan de una ingeniería previa, que necesariamente debe de estar internacionalizada, para que puedan aflorar resultados aprovechables en la industria, que es en definitiva quien debe de materializar los esfuerzos tecnológicos para obtener productos que sean de utilidad a los usuarios del Sector. Además este proceder garantizará que las inversiones que se realicen en ingeniería, investigación y desarrollo, producirán resultados que las hagan económicamente rentables.

El premio Príncipe de Asturias de 2.008, viene a poner el acento de interés que está despertando la investigación en este campo. Con referencia a las cualidades de los materiales deseados dentro del campo de la Defensa, hay una serie de par-



Laboratorio para investigación de estructuras en nuevos materiales.

ticuliaridades o requisitos, que se tratan de mantener, dentro de estas técnicas. Los de mayor importancia, se comentan a continuación:

- Materiales que resulten económicos.
- Materiales de bajo peso y alta resistencia a los impactos.
- Materiales indeformables.
- Facilidad de producción.
- Procedimientos de elaboración ecológicos y de bajo consumo energético.
- Múltiples aplicaciones (vehículos, naves, aviones, armamento, etc.).

Además, hay que tener en cuenta la globalidad e internalización de todos los procesos en juego y, finalmente que, industrialmente hablando, que el descubrimiento de nuevas cualidades en materiales, tarda tiempo en germinar en desarrollos industriales aplicables.

Bajo estas premisas debe de moverse la ingeniería de nuevos materiales y, en base a ellas, se desarrollarán los puntos siguientes de este artículo.

MATERIALES PARA DEFENSA

Con referencia a este campo de nuevos materiales, en estos momentos, tanto en el ámbito de I+D como en el industrial, nos estamos moviendo en un mundo, en el que las nuevas necesidades y competitividad precisas, han cambiado los conceptos válidos anteriormente y, por tanto, quedan obsoletos muchos de los planteamientos que estaban en vigor a finales del siglo XX, con referencia a los materiales utilizables en las distintas ramas aplicadas a Defensa.

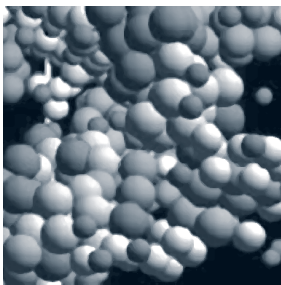
Por estos motivos, la buena sintonía entre el destinatario final de los productos (Defensa) y todos los eslabones de la cadena de investigación y producción, es fundamental para obtener un resultado óptimo y canalizar correctamente todos los esfuerzos e inversiones que se realicen.

El abanico de materiales sobre los cuales hay interés y la elaboración de sistemas complejos con los mismos, es amplio, por lo que hay que centrarse dentro de los que pueden representar un interés mayor en estos momentos.

La elección del material en el cual se aplique la ingeniería correspondiente, no debe de realizarse de una manera aleatoria, sino siguiendo unos pasos muy cuidados [1] y precisos, que se exponen a continuación:

1. Identificar de una manera muy clara que objetivo se persigue, y concretar las restricciones que puedan aparecer.
2. Especificar las necesidades del material, ya sean funcionales o estructurales.
3. Identificar con las bases de datos disponibles un conjunto de materiales que cumplan con el punto 2.
4. Hacer un estudio comparativo, para poder averiguar cual de los materiales seleccionados en el punto anterior es el más adecuado.
5. Tener en cuenta todos los costes asociados a este material para ver que resulta viable su utilización dentro del modelo económico que se esté utilizando.

Todos estos pasos no necesariamente conducen a un material único sino a una gama de posibles materiales que pueden ser utilizados, entre los cuales se realizará la elección del que puede resultar más adecuado para la aplicación en la que se esté realizando la ingeniería.



Estructura molecular de material composite

A continuación se presentan una serie de materiales, a los cuales se ha llegado por aplicación de los puntos anteriores, y que serían, a nuestro juicio, los más demandados o interesantes para Defensa en estos momentos [2], sin que esto signifique que solamente estos son los representativos. Se trata de una selecta muestra, que resulta suficiente para dar una

idea del campo de aplicaciones que se presenta dentro de estas tecnologías. Por tanto una clasificación válida puede ser:

■ **Materiales piezoeléctricos**, que producen una tensión eléctrica, en función del esfuerzo a que se les somete y, por tanto, pueden dar unas pautas de medidas de esfuerzos y tomas de decisión en tiempo real, en función del comportamiento esperado del propio material.

■ **Materiales electro-strictivos**, que varían su dimensión de acuerdo con la tensión eléctrica a que son sometidos y, por tanto, permiten un control de su tamaño (dentro de ciertos límites), regulado por una tensión eléctrica totalmente controlable.

■ **Aleaciones complejas** con memoria de forma, que cambian de una a otra forma en función de un estímulo concreto, que puede ser regulado externamente. Esto aporta gran interés a estas aleaciones, que permiten variaciones controladas de forma, según resulte más interesante.

■ **Materiales auto-reparables**. Este tipo de materiales puede regresar a su forma original después de sufrir un impacto. Son de interés para vehículos y embarcaciones.

Estas familias de materiales son pues las que deben abordarse en más profundidad por los grupos de investigación y desarrollo involucrados en estos temas.

Sistemas realizados con estos materiales

En general, las aplicaciones de Defensa tienen bastante complejidad y demandan sistemas de materiales realizados como combinación de varios de los pertenecientes a las familias anteriores. Para realizar adecuadamente esta combinación, se aplica una ingeniería de materiales previa. A continuación se exponen una serie de sistemas que se consideran representativos:

Sistemas MEMS

Sus siglas proceden de Micro Electron Mechanical Systems. Se trata de unos sistemas que son capaces de generar movimiento. Se realizan combinando materiales de las familias electro o magnético-strictivos. Presentan en Defensa una gran utilidad, al construirse con ellos robots, sistemas generadores de formas, sistemas sin visibilidad acústica y otras aplicaciones que son también de alto interés.

Es un área totalmente abierta a la investigación experimental. Un ejemplo de ello son las **láminas de composite inteligente**, que están formadas por un conjunto que incluyen sensores de esfuerzos mecánicos y actuadores de deformación embebidos.

En general, los sensores son piezoeléctricos y los materiales utilizados son polímeros y fibra de carbono combinados. Se consiguen, de esta manera, materiales más resistentes y menos pesados, con mayor duración y con posibilidad de reacción ante eventualidades.

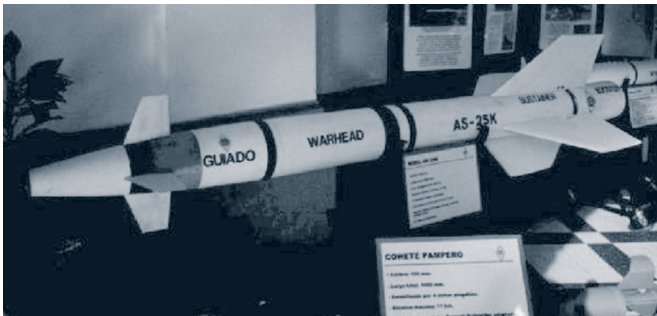
En Defensa se está desarrollando esta tecnología, que precisa de fuerte apoyo de ingeniería, para construcción de alas inteligentes para helicópteros y alas de avión adaptativas. Como se ve este tipo de materiales son de un gran interés para aplicaciones Aeronáuticas en Defensa.



Utilización de nuevas palas de composite en helicóptero.



Nuevas aletas de helicóptero.



Misil realizado con nuevos materiales.



Campamento a base de nuevos materiales.

Otro ejemplo de interés, que se está investigando, lo constituyen las **aletas de dirección de misiles inteligentes**, que incluyen elementos embebidos para tener materiales con memoria de tipo metálico y accionados por elementos eléctricos. Por tanto, la investigación y desarrollo están dando sus frutos con este tipo de materiales.

Materiales con memoria de forma

Son de gran interés dentro de Defensa, ya que permiten estructuras que, al ser deformadas por un impacto, tienen capacidad de retornar a su forma original. Este tipo de sistemas están en pleno desarrollo y su ingeniería se basa en el estudio y desarrollo de las siguientes estructuras:

- Polímeros con memoria de forma.
- Aleaciones metálicas con memoria de forma.

La tecnología es realizar la pieza que incluye la forma a memorizar. Al calentarse, después de sufrir algún tipo de deformación, retoma la forma de recuerdo. Las aplicaciones de interés en Defensa son los habitáculos, barcas, contenedores y puentes.

Sistemas luminosos sólidos

Estos sistemas proporcionan información luminosa, aún siendo sólidos. Su aplicación actual se centra en la obtención de pantallas planas flexibles que pueden presentar información cartográfica, servir de vídeo comunicador, etc., con la ventaja de su escaso peso y con una gran transportabilidad.

Sistemas textiles inteligentes

Este tipo de sistemas se está aplicando a la ropa del combatiente para lograr que ésta se adapte, de manera automática, a los cambios de temperatura del entorno. Así mismo, se aplica la memoria de forma a estos sistemas.

Nanotubos y nanohilos semiconductores [3]

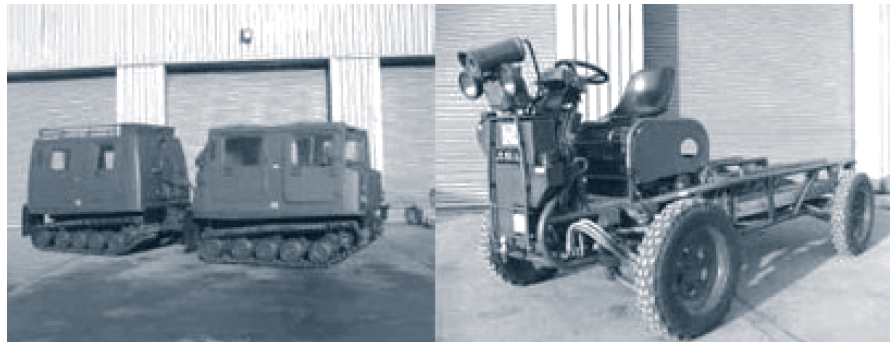
Están en amplio desarrollo este tipo de materiales. La ingeniería se centra en sus estructuras básicas, procesos de fabricación y aplicaciones industriales de los mismos. Básicamente se trata de obtener sistemas que puedan almacenar información de bits, de una manera económica y segura, sin posibilidad de borrado por agentes externos (campos magnéticos, temperatura, golpes, etc.). También se benefician de estas técnicas los sensores y actuadores micro-mecánicos. Se trata de obtener este tipo de componentes con una alta fiabilidad en condiciones ambientales extremas.

Los desarrollos con este tipo de materiales se integran en dispositivos más complejos como equipos de vídeo, medidores de parámetros, servo sistemas para armas, etc. En el futuro estos materiales puede que se integren dentro de las nuevas generaciones de Ordenadores especializados para Defensa.

Otros campos de aplicación de estos nuevos materiales son la construcción de acelerómetros y giróscopos, de importancia crucial en operaciones militares.



Estructura de filamentos.



Contenedores y transportes militares con nuevos materiales.

Materiales para vehículos militares [4]

Bastantes de los materiales que aquí se han presentado, son utilizables en diferentes facetas de los vehículos militares.

Materiales para blindajes. Permiten mayor resistencia que los materiales tradicionales, fundamentalmente resistencia a los impactos, reconstrucción en caso de daños, desarrollados con materiales dotados de memoria de forma. En estos materiales el peso es más bajo que en los tradicionales, lo que redundará en un gasto más bajo de combustible.

Materiales para motores. Los motores de estos vehículos están sometidos a duras condiciones de trabajo. Los nuevos materiales aportan más resistencia a temperaturas altas y a presiones y roces extremos.

Materiales para contenedores indeformables y a prueba de explosiones, que tienen mucho interés en el transporte de material de la forma más segura posible.

Materiales con sensores electrónicos embebidos. Esta tecnología permite tener información en tiempo real, sobre el comportamiento del material en el que se sustenta el vehículo tanto en el propio vehículo como externamente, para su control desde un centro de gestión.

Equipos de obtención de energía. En campaña es fundamental obtener energía para todo el equipamiento militar. Los nuevos materiales están sirviendo para realizar la ingeniería de estos equipos, fundamentalmente para obtener energía eléctrica, con nuevas pilas que incorporan desarrollos realizados en esta línea.

Obtención de agua dulce. En campaña obtener agua dulce del mar, de manera eficiente, es de la mayor importancia. También la ingeniería de diseño de estos dispositivos se está beneficiando de la utilización de los nuevos materiales.

Equipos de energía solar. Los equipos de obtención de energía solar portátiles (utilizables en desiertos), también se están diseñando con ingeniería basada en los nuevos materiales.

Fases de la ingeniería de nuevos materiales

A todos estos materiales se les aplican una serie de pasos en su ingeniería, que se pueden resumir de la siguiente manera:

- Nuevas necesidades en Defensa, que obligan a nuevos planteamientos de ingeniería, para este tipo de materiales.
- Ingeniería no solo de diseño, si no también de fabricación.
- Etapas de ingeniería con otros productos.
- Aprovechamiento de la reingeniería que se está aplicando a materiales metálicos.

CONCLUSIÓN

A lo largo de estos puntos se ha tratado de dar una visión de los diferentes temas y enfoques que se trataron dentro de esta Jornada destinada a nuevos materiales utilizables en tecnologías aplicadas a la Defensa, presentando los materiales más novedosos, que ya se encuentran en fase de desarrollo y de ingeniería de aplicación.

Es un campo en continua evolución por lo cual hay que prestar, por parte de los involucrados, una especial atención al desarrollo que vayan teniendo los diferentes materiales aquí enumerados y otros nuevos que sean susceptibles de aparecer en el futuro.

Los investigadores e ingenieros que trabajan en este tipo de proyectos, tienen en sus manos las posibilidades de conseguir unas nuevas generaciones de materiales, con amplias ventajas sobre los tradicionales. ■

REFERENCIAS

- [1] Luis Felipe Verdeja. Materias Primas en materiales con inteligencia.
- [2] Mariano Sastre: Materiales con Inteligencia.
- [3] J. Francisco Suárez. Sistemas embebidos.
- [4] M. Rincón Materiales cognoscitivos.

Penetración de gas radón en edificios. Actuaciones para evitar la penetración de dicho gas

AUTORES: MANUEL OLAYA ADÁN,
BORJA FRUTOS VÁZQUEZ
*Instituto de Ciencias de la Construcción
Eduardo Torroja, CSIC*

RESUMEN

Se ha investigado la concentración de gas radón que se acumula en el interior de un módulo experimental, que simula un edificio, con objeto de estudiar la penetración de dicho gas antes y después de haber introducido diversas medidas correctoras enfocadas a frenar el paso de dicho gas. Dentro de esta investigación se ha realizado:

- 1º) Medidas de penetración del gas sin ningún tipo de protección en el módulo, correlacionadas con las variables meteorológicas.
- 2º) Mediciones de concentración de radón con una actuación de extracción natural con dispositivos de conducción desde dos arquetas (sump) situadas bajo el módulo en dos posiciones distintas.
- 3º) Mediciones de concentración de radón con una actuación de extracción natural con dispositivos de conducción desde una arqueta (sump) situada bajo el módulo.

Palabras clave: gas radon en edificios, extracción, control, variación diurna del gas radon. Keywords: Radon in existing dwellings, mitigation, extraction, diurnal radon variation

1. INTRODUCCIÓN

El uranio (U-238), elemento presente en la composición de suelos, aparece como origen de una cadena de desintegración de elementos radiactivos dentro de la cual se haya el gas radón (Rn-222). Este gas inerte de origen natural, con un periodo de vida de 3,8 días, es capaz de viajar entre los poros del suelo hasta alcanzar la superficie, donde podrá diluirse entre los gases de la atmósfera o penetrar en el interior de los edificios si éstos no se encuentran debidamente protegidos, completando en ambos casos su proceso de desintegración. Al penetrar en un espacio cerrado, el radón se acumula aumentando su concentración. La inhalación de este gas puede llegar a generar cáncer pulmonar debido a

que la radiación que se produce de la desintegración del mismo y sus descendientes de vida corta, en el interior de nuestro organismo, es capaz alterar el ADN de los tejidos pulmonares. En diversos estudios, especialmente entre trabajadores de minas de uranio donde las concentraciones de radón son elevadas, se ha investigado la relación entre la inhalación del gas radón y sus efectos cancerígenos sobre la persona, y sus resultados han hecho que en muchos países se haya desarrollado una legislación que tiene como objetivo proteger al ser humano de una excesiva concentración de dicho gas. La Organización Mundial de la Salud, califica al radón como agente carcinógeno de grado 1. Según este Organismo, el radón es la segunda causa de cáncer pulmonar detrás del tabaco.

En el mes de marzo de 2006 se aprobó el Código Técnico de la Edificación en España. Este nuevo código establece una reglamentación concerniente a la Seguridad y a la Salud en los edificios de nueva construcción a partir de la fecha de aprobación del Código. Durante la fase de redacción del Código, el Consejo de Seguridad Nuclear de España (CSN), presentó una propuesta de inclusión de un capítulo que incluyese medidas de protección concernientes a la entrada de gas radón en edificios de nueva construcción.

En esta primera versión del Código ya aprobada, el ministerio no creyó oportuno incluir aspectos relativos a la protección frente al gas radón. Uno de los argumentos para no hacerlo fue el de evitar una percepción de riesgo en la sociedad en aquellas viviendas que ya estaban construidas y para las que no se tenían datos en el momento de aprobación de código de medidas correctoras probadas. Por este motivo, se creyó oportuno la presentación de este proyecto de investigación que se está realizando bajo el amparo y subvención del Consejo de Seguridad Nuclear. El proyecto tiene como título "*Estudio de la viabilidad y la efectividad de las actuaciones de remedio frente a la presencia de gas radón en los edificios existentes*" y el objeto de este artículo es presentar los avances en esta primera fase en la que se ha construido un módulo experimental y se ha estudiado la entrada del gas en el mismo correlacionándola con datos climáticos y la eficiencia de las primeras medidas correctoras introducidas. El equipo investigador esta formado por personal del: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja IETcc (CSIC) y de la Cátedra de Física Médica. Facultad de Medicina. Universidad de Cantabria.

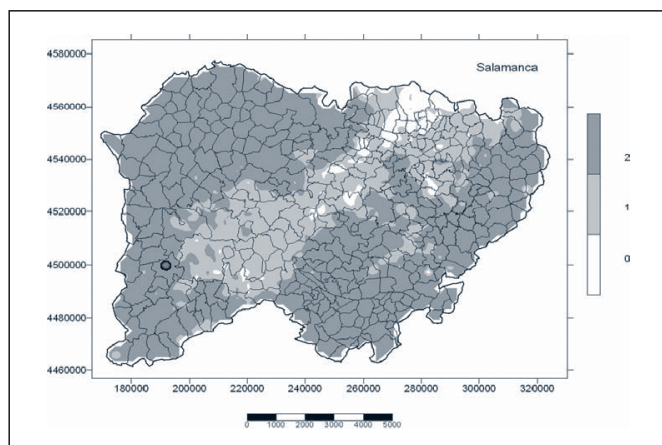


Figura 1: Según se ve en el mapa de presencia de radón elaborado por el Consejo de Seguridad Nuclear, la provincia de Salamanca presenta unos índices altos (grado 2) en la mayoría del territorio. El punto rojo indica la situación exacta de la ubicación del módulo en las instalaciones de ENUSA, Ciudad Rodrigo, Salamanca, España.

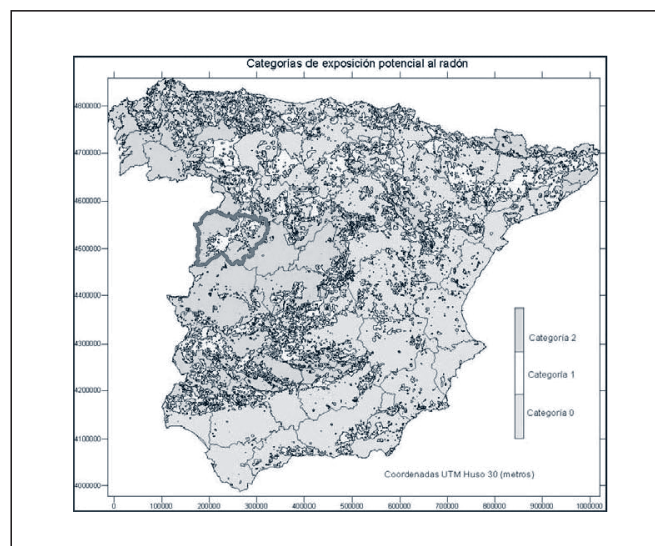


Figura 2: En el mapa de estimación de presencia de radón en viviendas, se observa que la provincia de Salamanca se encuentra en una zona de alto riesgo.

Categoría	Exposición Potencial	Tasa exposición ($\mu\text{R/h}$)	Conc. de ^{226}Ra (Bq/kg)	Tasa Exhalación Bq/m ² .s	Conc. Media 2 ^{222}Rn (Bq/m ³)
0	Baja	<7,5	<37,5	<0,053	<150
1	Media	7,5-10	37,5-50	0,053-0,070	150-200
2	Alta	>10	>50	>0,070	>200

2. MÉTODOS

2.1. Ubicación del módulo experimental

Para la elección del lugar donde construir el módulo experimental se ha pretendido escoger una zona con alta presencia de radón en el terreno para así poder llegar a experimentar con las actuaciones de remedio con mayor efectividad y tener datos suficientes de concentraciones que permitan comprobar las efectividades de las medidas correctoras una vez instaladas. (La empresa ENUSA Industrias Avanzadas, S.A. que desde hace años dedica su actividad a la extracción de uranio en las inmediaciones de Ciudad Rodrigo en la mina de Saélices el Chico, provincia de Salamanca, España, ha colaborado en el proyecto cediendo el terreno donde se ha construido el módulo).

La alta presencia de radón en la zona y la disponibilidad de la empresa ENUSA han sido determinantes para la elección de la ubicación final. En las Figuras 1 y 2 se puede observar la situación de la zona de actuación dentro del mapa de presencia de radón elaborado por el CSN (Consejo de Seguridad Nuclear).

2.2. Registros de radón en el terreno de actuación. Verificación de concentraciones

Se han llevado a cabo una caracterización radiológica del suelo elegido sobre el que se ha construido el módulo experimental, que ha consistido básicamente en:

- Determinación de la concentración de elementos radiactivos en suelo
- Evaluación de la concentración de radón en profundidad
- Estudio granulométrico del suelo y permeabilidad

Se presentan, pues, a continuación los principales resultados alcanzados en cada uno de los apartados indicados según el protocolo del laboratorio de la Cátedra de Física Médica de la Facultad de Medicina de la Universidad de Cantabria

2.2.1. Determinación de la concentración de elementos radiactivos en suelo

Se han caracterizado nueve muestras del terreno en el lugar de construcción del módulo experimental. En la tabla 1 se muestran los resultados de una muestra obtenida en la excavación realizada bajo el módulo.

2.2.2. Evaluación de la concentración de radón en profundidad

Mediante el empleo de una sonda, células de centelleo, equipo contador, se ha evaluado la concentración de radón a 1 metro de profundidad, en la zona donde ha sido colocado el módulo así como en los alrededores del mismo. Los resultados de las 20 medidas realizadas en una superficie de unos 150 m², muestran una concentración media de radón a un metro de profundidad de 250.000 Bq/m³, si bien es de des-

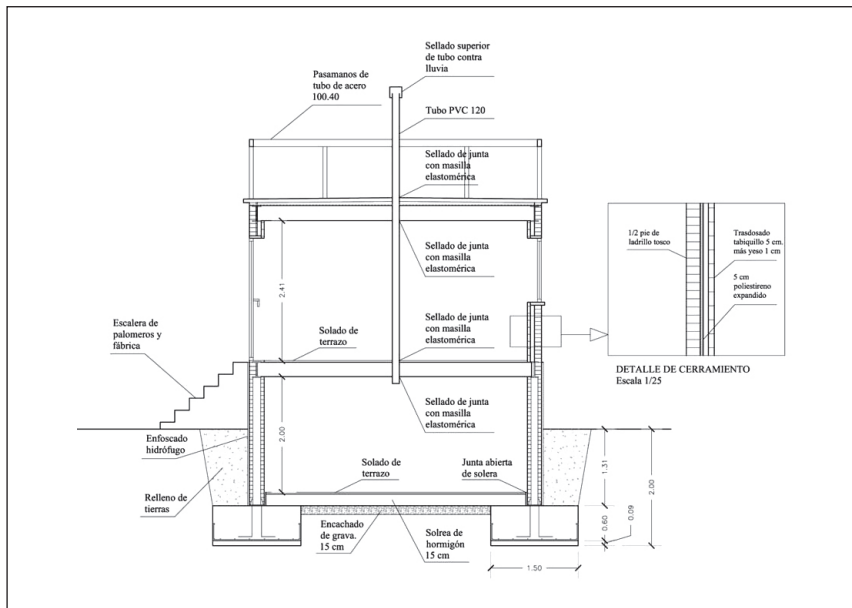


Figura 3: a) Izquierda, sección del módulo experimental por el eje central y b) Derecha, fotografía del módulo terminado.

acar la gran variabilidad encontrada en la concentración de radón que oscila desde los 70.000 Bq/m^3 hasta 500.000 Bq/m^3 , lo que en principio, clasificaría la zona como de alto riesgo a la presencia de radón en viviendas según la propuesta que aparece en el anteproyecto de nuevo Código Técnico de la Edificación.

2.2.3. Estudio granulométrico del suelo y permeabilidad

Al objeto de disponer de una información global del suelo sobre el que se construye el módulo, se ha llevado a cabo un análisis granulométrico en dos de las muestras recogidas que han dado un resultado de permeabilidad media para el suelo de $10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$.

2.3. Diseño y construcción del módulo. Materiales empleados

El diseño del módulo experimental parte de la idea de reproducir las características tipológicas de una vivienda en España usando los materiales comunes para este tipo de construcciones. El módulo presenta dos alturas, una de ellas sobre la rasante del terreno y la otra semienterrada. De esta manera se puede estudiar la presencia de radón en sótanos y en plantas elevadas. También se puede usar el semisótano para reproducir el caso de una cámara ventilada bajo un forjado sanitario.

En planta ocupa un cuadrado de 5 metros de lado. Las dos plantas están unidas mediante una escalera interior con puerta que cierra ambos espacios. La cubierta es plana transitable para poder acceder a ella y manipular los sistemas de extracción que se vayan a colocar. En las figuras 3a se puede observar los planos de diseño arquitectónico del módulo experimental.

Para la construcción se han usado materiales propios de este tipo de edificaciones, a saber:

Sótano: Muros de sótano de 1 pie de ladrillo tosco con enfoscado exterior. Sin drenaje ni lámina impermeabilizante. De esta manera, el módulo se encuentra sin protección alguna frente al paso de radón desde el terreno.

Solera: Losa de hormigón de 10 cm de espesor sobre enchafado de grava. No se ha instalado lámina impermeabilizante para no obstaculizar el paso de radón hacia el interior

Cerramiento de planta: Muro de $\frac{1}{2}$ pie de ladrillo exterior, cámara de aire y trasdosado interior con tabique de hueco sencillo.

Cubierta: La cubierta es plana con acceso desde el exterior para la instalación de sistemas de extracción.

El módulo cuenta con una puerta de acceso y dos ventanas en fachadas opuestas que se utilizan para provocar una ventilación natural.

Además esta dotado de red eléctrica a través de un generador de gasoil que garantiza un suministro constante para abastecer a los equipos de medida y a los extractores que se instalen. En la figura 3b se puede ver el módulo terminado.

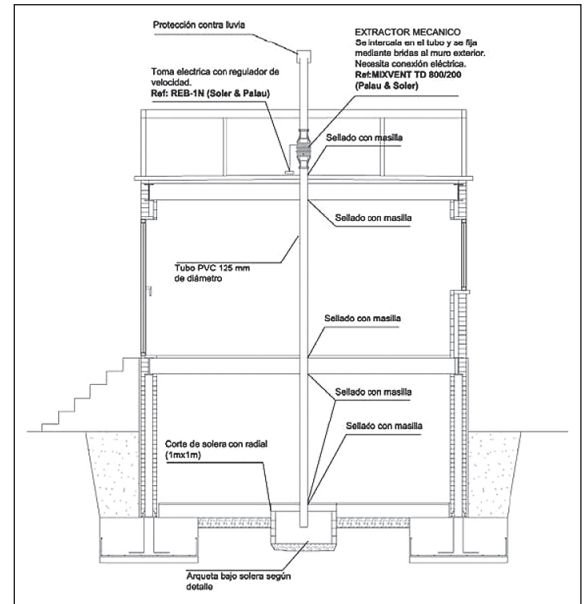
2.4. Programa de trabajo

El proyecto de investigación tiene como objetivo previo estudiar la entrada de radón en el módulo experimental construido sin protección alguna frente al paso del gas. Durante los primeros meses del año se ha estudiado la concentración de radón en los espacios interiores (planta de sótano y planta baja) correlacionando los registros con los datos de viento, presión atmosférica, precipitaciones y temperaturas.

La segunda fase del proyecto pretende estudiar la viabilidad y la efectividad de algunas medidas correctoras. En



Figura 4: Arriba, laboratorio instalado en el interior del módulo para la medida en continuo de los diferentes parámetros de registro. Figura 5: Derecha, sección del módulo por el eje central. Se observa el diseño del sistema de extracción.



el estado actual de la investigación se disponen de datos de concentración de radón en el interior tras haber instalado tubos de extracción en unas arquetas bajo la solera. Correspondería con las primeras soluciones correctoras.

2.5. Equipo para el registro de los diferentes parámetros

En el interior del módulo se han instalado los equipos necesarios para registrar los distintos parámetros:

Para medir la permeabilidad del terreno “in situ” se ha utilizado el equipo Checo RADON-JOK que usa el flujo de aire que se extrae a un 1 metro de profundidad. Para el registro de las concentraciones de radón se han usado equipos DOSEMAN (Sarad) y SCOUT (Sarad) que proporcionan medidas en continuo con promedios de hora en hora.

En algunos periodos se han usado detectores de trazas CR-39 para una medida integrada de radón promediando varios días. También se dispone de 8 sondas de temperaturas en el interior y exterior y otras 4 para el registro de diferencias de presión entre el interior y el exterior del módulo y entre la planta superior e inferior. Por otro lado contamos con el uso de información meteorológica a través de la estación de ENUSA en Saelices (lluvia, viento, temperatura, humedad). Las figuras 4 y 5 muestran respectivamente fotografías del laboratorio de medición instalado en el interior del módulo experimental y la sección de dicha edificación experimental.

3. RESULTADOS

Se presentan a continuación los registros obtenidos de concentración de radón en el interior del módulo cuando este se encontraba sin ningún tipo de protección frente al

paso del gas. Estos se han correlacionado con los datos atmosféricos del periodo de medida.

Posteriormente se muestran los resultados de efectividad de las primeras medidas correctoras introducidas.

3.1. Concentraciones de radón correlacionadas con datos atmosféricos durante los meses de enero a marzo. Módulo sin sistema protección

Para estudiar posteriormente la influencia que puedan tener los distintos sistemas correctores es necesario analizar la penetración de radón en el interior del módulo y ver las posibles consecuencias que en ello puedan tener los agentes atmosféricos.

3.1.1 Concentraciones de radón correlacionadas con datos de precipitaciones

Se observa una correlación positiva entre la lluvia y el aumento de la concentración interior de radón, tanto en el sótano como en la primera planta. Este efecto de la precipitación puede estar relacionado con una reducción de la permeabilidad del suelo en el entorno de la casa, que induce una salida preferente del radón por el suelo seco bajo la casa (figura 6a).

3.1.2 Concentraciones de radón correlacionadas con datos de velocidad de viento y presión producida por este.

La acción del viento sobre la concentración de radón interior tiene dos vertientes opuestas. Por un lado, en función de las características arquitectónicas de la vivienda, el viento puede favorecer el intercambio de aire entre el interior y el exterior de la misma. Este aporte de aire con baja concentración de radón, daría lugar a una reducción de la misma en el interior.

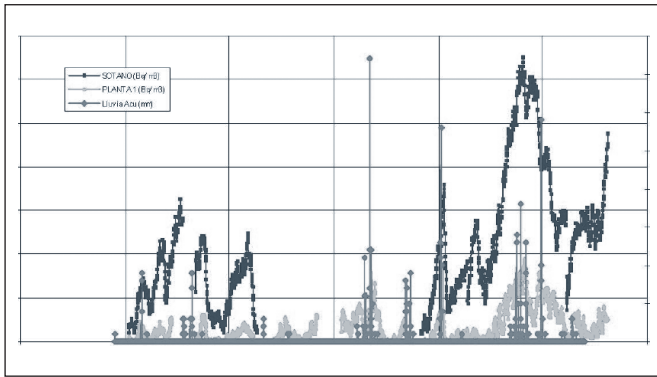
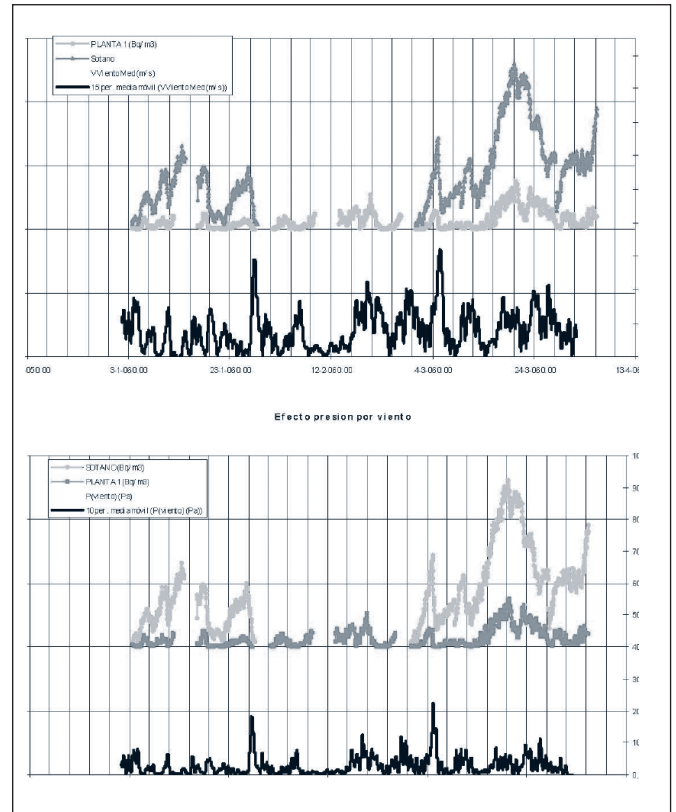


Figura 6: a) Arriba, concentraciones de radón de los espacios de sótano y planta baja, correlacionados con las precipitaciones registradas en la zona. Se aprecia un aumento de las concentraciones cuando se producen picos sustanciales en las precipitaciones. b) Derecha, concentraciones de radón de los espacios de sótano y planta baja y c) correlacionados con los datos de velocidad y presión de viento indistintamente



Por otra parte, el viento induce una diferencia local de presiones entre el interior y el exterior proporcional al cuadrado de su velocidad, que favorece la entrada de radón en el recinto cerrado. En nuestro módulo, este efecto parece más eficaz que el de intercambio de aire. No obstante, las diferencias de presión inducidas apenas superan los 20 Pa, significativamente menores que las diferencias observadas en la presión atmosférica (Figuras 6 b y c).

3.1.3 Concentraciones de radón correlacionadas con datos de temperaturas exteriores.

Únicamente en los últimos siete días se observó correlación positiva entre las temperaturas exteriores y la concentración de radón interior. Por otro lado, la diferencia de temperaturas entre el aire exterior e interior del módulo pueden inducir una diferencia de presiones que modifique la entrada de radón. Para el intervalo de datos disponibles, estas diferencias son pequeñas (del orden de 1 Pascal) y no parecen responsables de las variaciones observadas en la concentración de radón.

3.1.4 Concentraciones de radón correlacionadas con datos de presión atmosférica.

Se observa una correlación negativa entre la presión atmosférica y las concentraciones de radón en el interior del módulo. Los descensos de presión provocan un incremento significativo de la concentración. El mecanismo por el que se produce tal incremento podría relacionarse con la permeabilidad del suelo a diferentes profundidades. Las variaciones observadas de presión son del orden de 10^3 Pa, tres órdenes de magnitud mayores que las inducidas por el viento o la diferencia de temperaturas, lo cual indica que se trata del parámetro dominante de entre los otros tres analizados anteriormente.

Complementariamente se ha observado una relación entre los cambios de presión atmosférica, las precipitaciones y la velocidad del viento. Las bajas presiones suponen un incremento de la probabilidad de precipitaciones. De una forma menos evidente, también se observa que los descensos de presión incrementan la velocidad del viento.

3.2. Concentraciones de radón después de la instalación de un sistema de extracción natural.

En este punto ya se tienen datos que nos han permitido analizar las concentraciones de radón en el interior y estudiar la influencia que los agentes atmosféricos tienen sobre ésta.

Con esta base inicial se procedió a introducir las primeras medidas correctoras que tienen como objeto reducir la concentración en el interior. Estas han consistido en sistemas de extracción natural del gas en el terreno de asiento de la edificación.

Se han construido al efecto dos arquetas enterradas para captar el gas en el subsuelo. Una de ellas se ha situado bajo la solera del módulo perforando la losa de hormigón y la otra en el exterior del módulo, adosada al mismo, a una cota de cimentación. Ambas se han construido con ladrillo perforado para permitir la entrada del gas hacia el interior. (figuras 9 y 10) Se han insertado tubos por la parte superior de las arquetas y se les ha conducido hasta cubierta para forzar un tiro natural. Se trata de estudiar la mitigación que puede producir el sistema de extracción en la concentración interior (figuras 7 a- c).

Tabla 1: Caracterización radiológica de la muestra de terreno número 3 obtenida en la excavación realizada para construir el módulo experimental.

PROCEDENCIA	Instalaciones de Enusa – Saélices El Chico (Salamanca)
REFERENCIA	CSIC-ENUSA 03
REFERENCIA UC	068/05
FECHA RECOGIDA	10/02/05
FECHA ANÁLISIS	10/03/05

PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS : CFM-FM-1003.01

	ACTIVIDAD (Bq/Kg)	ERROR DE LA ACTIVIDAD (Bq/Kg)	L.I.D. (Bq/Kg)
^{238}U (^{234}Th)	1278,8	94	160,1
^{226}Ra (^{214}Bi)	1012,5	62	16,4
^{232}Th (^{228}Ac)	47,3	11,0	32,3
^{40}K	826	67	107
^{137}Cs			11,1

En un primer momento se pusieron en funcionamiento ambas arquetas de captación con salida a la cubierta a través de tubos. En los extremos de estos tubos, se colocó un dispositivo de extracción natural que funciona por el efecto del viento. El efecto que ello causó fue una reducción considerable de la concentración de radón en el interior del módulo. En la Gráfica 6 se observa como la concentración de radón en el sótano se reduce de unos índices que oscilan entorno a los 80.000 Bq/m^3 hasta los 1.500 Bq/m^3 . En planta baja la concentración ha pasado de un valor medio de 20.000 Bq/m^3 a un valor medio de 500 Bq/m^3 . Las figuras 8 a-c muestran con una escala aumentada las concentraciones de radón cuando han entrado en funcionamiento las extracciones naturales y las forzadas que se explican en el siguiente párrafo.

En una fase posterior se procedió a sellar la salida del tubo de la arqueta exterior dejando así en funcionamiento únicamente el de la arqueta central. La figura 8c muestra las concentraciones de radón resultantes al funcionar únicamente el dispositivo de extracción natural con captación por la arqueta central. Como se puede ver en la gráfica, los resultados obtenidos no se diferencian sustancialmente de los registrados cuando estaban en funcionamiento las extracciones naturales desde las dos arquetas.

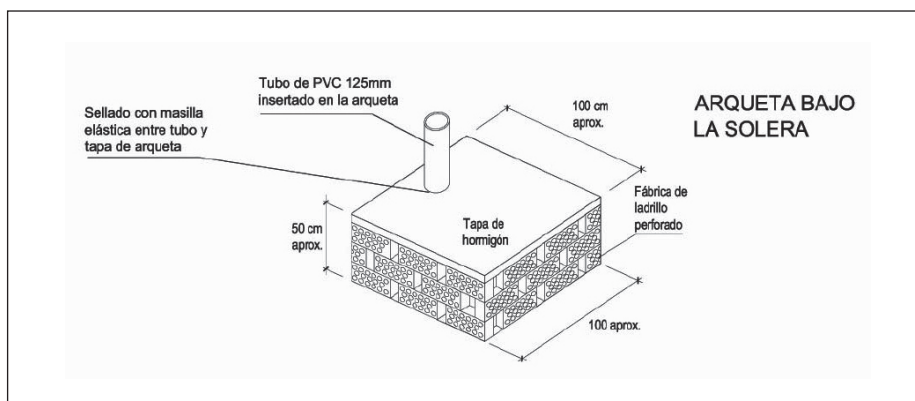


Figura 7: a) Diseño de la arqueta tipo, b) Fotografía de la construcción de la arqueta situada bajo la solera del sótano y c) Salida de los tubos a cubierta (en esta fotografía se encuentran sellados en su extremo).

4. CONCLUSIÓN

Parece ser que es la presión atmosférica el parámetro determinante de las variaciones en la concentración observadas en el interior del módulo, respecto a los registros de concentraciones de radón en el módulo cuando se encuentra sin ningún tipo de protección frente a la entrada del gas. En cuanto a la relación de las concentraciones de radón con las

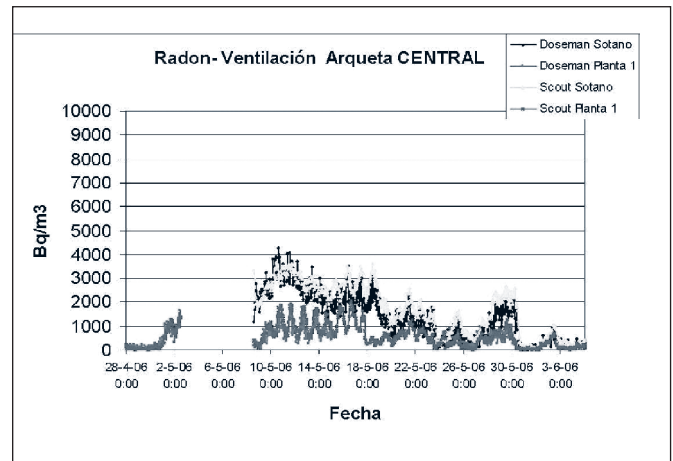
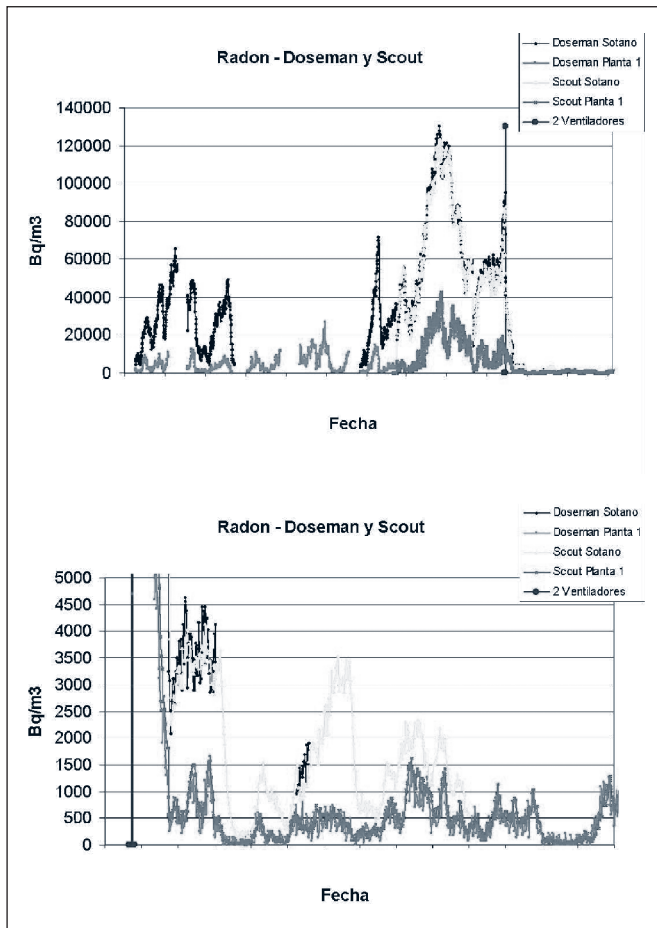


Figura 8: a) Izquierda, arriba, en esta gráfica se observa la reducción en la concentración de radón cuando han entrado en funcionamiento la extracción natural a través de las dos arquetas. b) Izquierda, abajo, concentraciones de radón en sótano y en planta baja después de poner en marcha el dispositivo de extracción natural a través de las dos arquetas. c) Arriba, concentraciones de radón en sótano y en planta baja después de poner en marcha el dispositivo de extracción natural a través de la arqueta central.

precipitaciones registradas, parece que se evidencian positivamente cuando las lluvias adquieren un valor significativo. Durante el periodo analizado de varios meses, no parece haber correlación entre ninguna de las temperaturas medidas y la concentración de radón interior. Lo más significativo de esta investigación es que se ha demostrado que los sistemas de extracción instalados han demostrado su efectividad reduciendo la concentración considerablemente (ver gráfica 7). Teniendo en cuenta que el tiro se ha producido sin ayuda de extractor mecánico, parece que las variaciones de concentración que se observan en los diferentes días tienen que ver con la velocidad del viento puesto que el dispositivo que se colocó en el extremo de salida del tubo aumenta su efectividad de tiro cuanto mayor sea esta velocidad.

Estas investigaciones se continúan en el Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción del CSIC con objeto de aumentar nuestro conocimiento sobre los medios de control del gas radón en la edificación. ■

BIBLIOGRAFIA

- B. Frutos, J.P. García, J.L. Martín, M. Olaya, J.L. Serrano, E. Suárez, J.A. Fernández, F. Rodrigo "La protección al radón en el Código Técnico de la Edificación (CTE)" Revista del Consejo Superior de Seguridad (CSN). Número 27. (II Trimestre 2003)
- B. Frutos, M. Olaya, E. Suarez Mahon, J.P. García Cadierno, J.L. Martín Matarranz. "Catalogo de soluciones constructivas enfocadas a la protección frente a gas radón en el ámbito del Código Técnico de la Construcción (CTE)" Documento interno del instituto Eduardo Torroja en colaboración con el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) (2003)
- Bertil Clavensjö, Gustav Akertblom. "The Radon Book. Measures against radon" The Swedish Council for Building Research. Suecia (1994).
- Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). "Dosis de Radiación". CSN (2002)
- CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction). "Le radon dans les habitations". CSTC. Bélgica (1999)
- Dr. Luis Quindós Poncela. "Radón, un gas radiactivo de origen natural". CSN y Universidad de Cantabria. (1995)
- Informe I.C.R.P-60 (International Commission on Radiological Protection.)- (1977)
- J.M. Barros Dios. "Radón y Cáncer pulmonar". Universidad de Santiago de Compostela. III Workshop. Radón y Medio Ambiente. Madrid (2004)
- Linda Loomis Shelley. Florida Department of Community Affairs. Radon Program "Florida standard for mitigation of radon in existing building". USA (1994)
- Roger Johnson. "Protective measures for housing on gas-contaminated land" Building Research Establishment. BRE. Reino Unido
- Sarah C. Darby and David C. Hill. "Health Effects of residential radon: European perspective at the end 2002" II Workshop. Radón y Medio Ambiente. Santiago de Compostela (2003)
- World Health Organization (WHO). Department of protection of the human environment. "Sources, Exposure and Health Effects" Organización Mundial de la Salud. (2001)

MEDICINA Y SALUD

Evolución de las Biocerámicas: de inertes a regenerativas

AUTORA: MARÍA VALLET REGÍ
Facultad de Farmacia
Universidad Complutense de Madrid

La evolución de los biomateriales está siendo espectacular. En muy pocos años han cambiado muchos conceptos y formas de trabajar. Todo ello impulsado por la demanda social, las necesidades clínicas, el desarrollo tecnológico, el empuje legislativo junto a los programas de financiación tanto internacionales como españoles. El avance de los biomateriales, que no son otra cosa que materiales que se utilizan en la fabricación de dispositivos que interactúan con los sistemas biológicos y que se aplican en diversas especialidades de la medicina y la farmacología no ha cesado de reclutar especialistas de los campos de las ciencias, la ingeniería, la biología y la medicina. Por sistemas biológicos se entienden moléculas de naturaleza bioquímica, tales como células, tejidos, órganos y fluidos corporales. Las especialidades médicas y farmacológicas incluyen la cirugía reparadora y plástica, la medicina regenerativa, la administración de fármacos y la diálisis, entre otros. Y en todo este conjunto no deben olvidarse los dispositivos de diagnóstico y pronóstico clínico en base a sensores o material biológico como el análisis genético y molecular en base a marcadores.

Los biomateriales se enmarcan dentro de la ingeniería biomédica, y aglutinan conocimientos del mundo de las ciencias, la ingeniería, la biología y la medicina (figura 1).

Los biomateriales han pasado de utilizar materiales inertes para *sustitución* de tejidos vivos, al diseño de materiales bioactivos y biodegradables para *reparación* de los mismos, y esto ha desembocado en la tercera generación de biomateriales donde el objetivo es su *regeneración*.

La regeneración de tejido óseo es un proceso natural que involucra tanto a células como a la matriz ósea. Las células son las responsables de la formación de hueso, y en ese proceso intervienen muchos factores. En efecto, la matriz ósea está formada fundamentalmente por materia orgánica (un 25%), materia inorgánica (60-70%) y agua (5-8%). La parte orgánica está constituida mayoritariamente por fibras de colágeno tipo I (90%), y en menor proporción, pero no por eso con un papel menos importante, por proteínas no colagénicas y factores bioquímicos locales (figura 2). Teniendo en la mente el proceso natural de formación del tejido óseo, no es

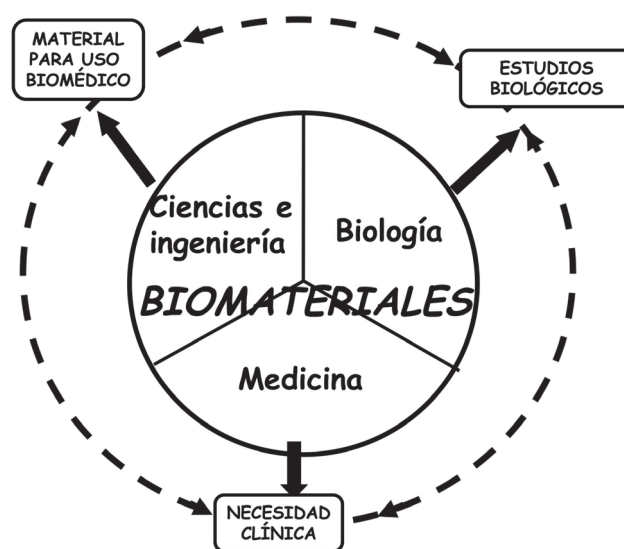


Figura 1.

difícil entender el rumbo que ha tomado el mundo de los biomateriales de tercera generación, donde el papel de las células es prioritario, y la necesidad de funcionalizar la superficie de los biomateriales con diversos grupos funcionales ha pasado a ser una necesidad evidente para poder anclar proteínas y/o factores de crecimiento.

Cuando un biomaterial se implanta en el cuerpo humano es imprescindible tener en cuenta el contexto biológico que se va a encontrar, que es complejo tanto a escala celular como molecular. Se va a poner en contacto con distintos tipos celulares y diferentes biomoléculas, que van a interactuar y a entrar en contacto directo con el implante. En función de cómo sea esa interacción célula-biomaterial se producirán situaciones muy diferentes: encapsulación del implante en una cápsula colagínosa acelular, que es lo que ocurre con los biomateriales inertes, o por el contrario, si esa interacción es positiva, el tejido dañado se regenerará, y nos encontraremos por tanto, con implantes de tercera generación.

En esta última situación pueden intervenir proteínas y factores de crecimiento, de forma similar a como se produce el proceso natural. Estas sustancias están recogidas en la figura 2. Entre las moléculas de interés para unirse covalentemente a la superficie de los biomateriales se encuentran todas aquellas que favorecen la interacción con la matriz extracelular y con la membrana celular, de tal forma que se

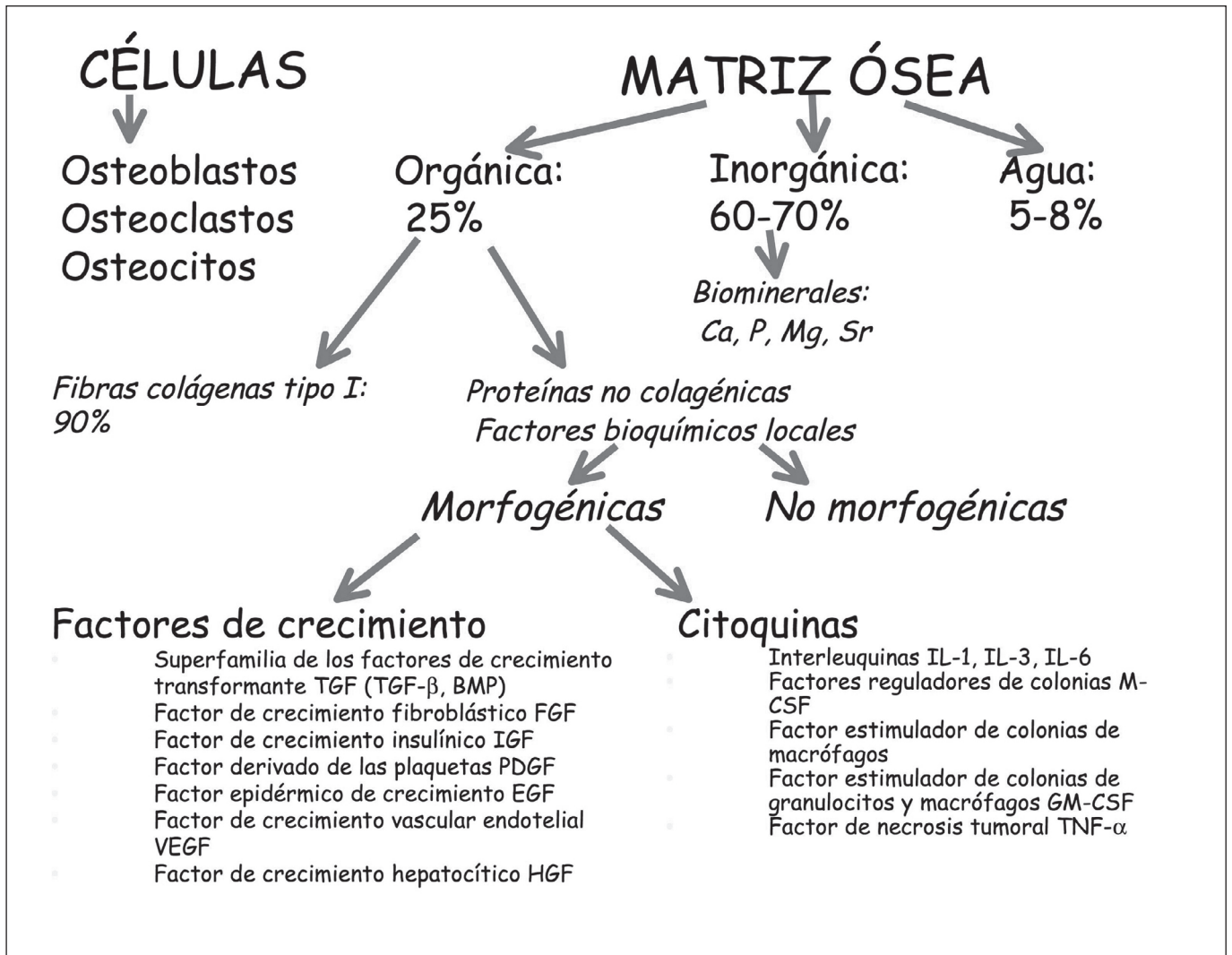


Figura 2.

faciliten los procesos de adhesión y proliferación celular en la zona del implante. Y no hay que olvidar en este contexto a las moléculas que facilitan y promueven la angiogénesis, para favorecer la formación de vasos sanguíneos. Para lograr las mejores condiciones de interacción entre el implante y el mundo biológico en el que va a ser implantado, una vía que actualmente se está investigando es la adecuada funcionalización de la superficie del implante, que tiene como objetivo la modificación de la superficie de los biomateriales, con diversos grupos funcionales, de tal forma que facilite la interacción con las distintas biomoléculas que están presentes en el entorno celular y molecular del entorno del implante. De esta forma, se lograrán biomateriales con superficies funcionalizadas, que facilitarán la adhesión de las células proporcionándoles un entorno apropiado. Favorecer la interacción de las células que rodean al implante con su superficie las estimulará en sus procesos de adhesión, proliferación y angiogénesis, así como los procesos de mineralización imprescindibles para la regeneración del tejido óseo. Se han utilizado tanto péptidos que contienen una secuencia de aminoácidos presentes en las proteínas implicadas en adhesión celular como otros péptidos no re-

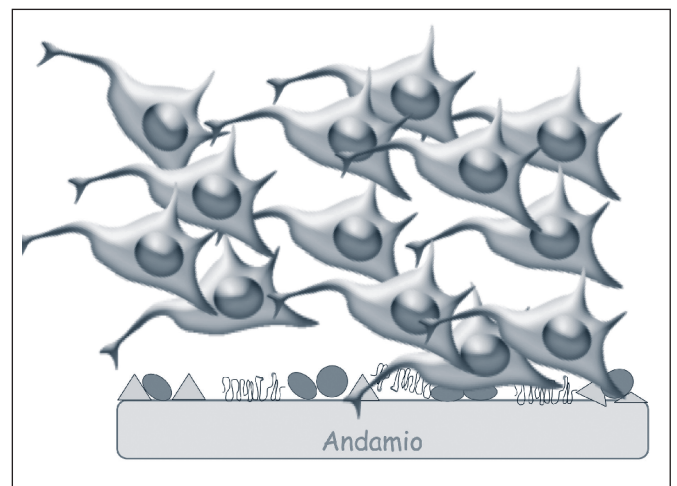


Figura 3.

lacionados pero que facilitan la adhesión de las células. Todos ellos contienen una secuencia de aminoácidos con afinidad por los heparán sulfato, que es un componente de los proteoglicanos de la membrana celular. Los factores mor-

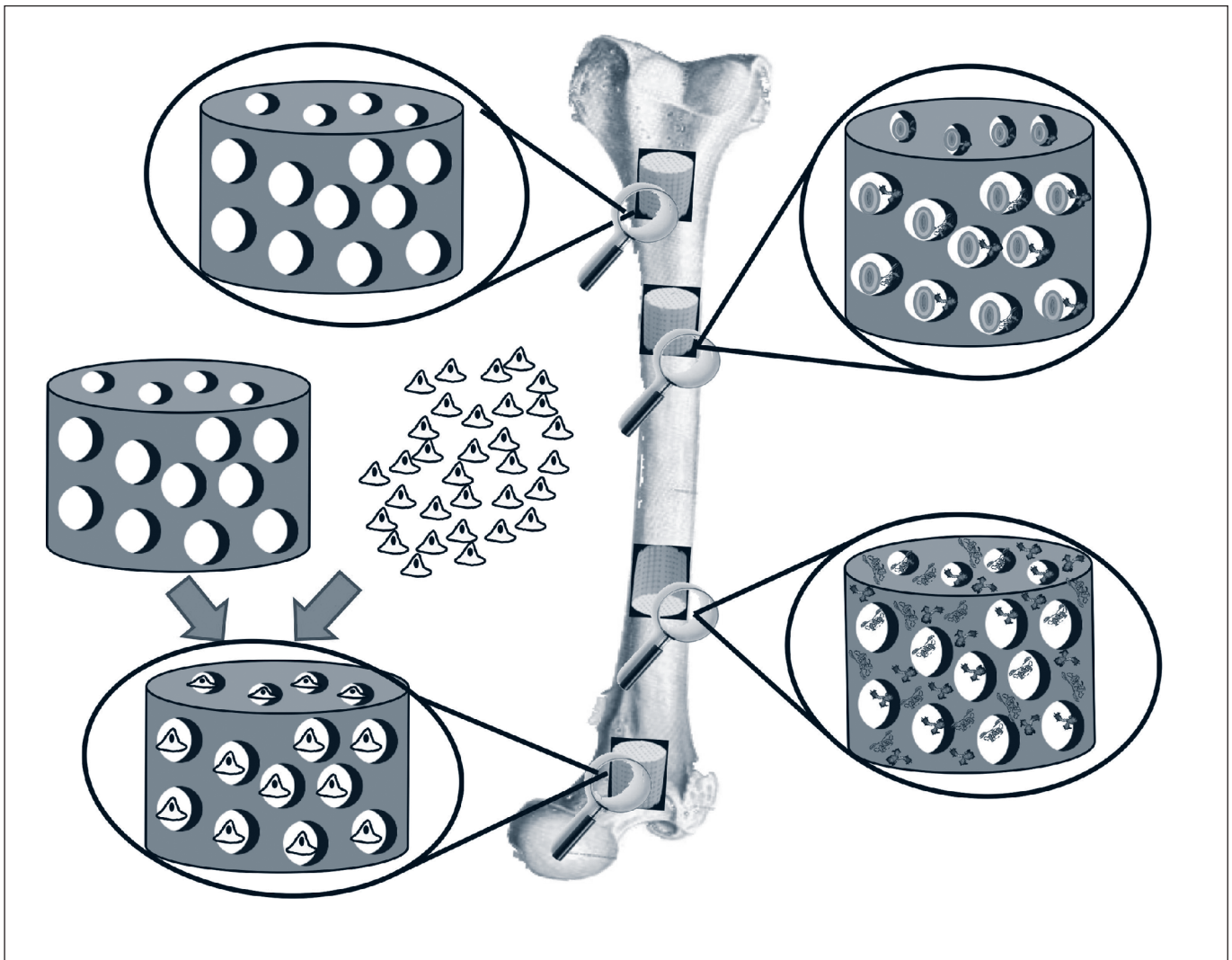


Figura 4

fogenéticos (BMPs) son proteínas que se están utilizando para la regeneración ósea, porque estimulan los procesos de proliferación y diferenciación de las células progenitoras pluripotentes, es decir, las células mesenquimales en osteoblastos, que son las células formadoras de hueso.

En biocerámicas de tercera generación se busca dar soporte a las células para que ellas desarrollen el trabajo de regeneración. La ingeniería tisular se sustenta en tres pilares fundamentales, las *células*, las *señales* y los *andamios* (en literatura inglesa scaffolds).

Así como los biomateriales de primera generación no estaban específicamente diseñados para interactuar con el mundo biológico, los de tercera generación, por el contrario, están diseñados teniendo en cuenta que van a estar en contacto con tejidos vivos y que las propiedades de superficie de dichos materiales tales como la *topografía*, la *carga superficial* y todos los aspectos relaciones con la *química de sus superficies* es fundamental para una respuesta positiva cuando dicho material se ponga en contacto con los tejidos vivos (figura 3). Esto conlleva una funcionalización adecuada de las su-

perficie libre de dichos biomateriales para facilitar la adhesión, proliferación y diferenciación celular en condiciones óptimas, como ya se ha dicho.

Los andamios ideales para ingeniería de tejidos deben proporcionar un soporte mecánico biocompatible, que no induzca a una respuesta tisular adversa y que pueda sostener temporalmente carga mecánica. También debe tener una tasa de degradación apropiada, equivalente a la del proceso de regeneración del tejido, y una porosidad interconectada con una distribución de tamaño de poro apropiada, que promuevan la invasión celular y del tejido, el tráfico de metabolitos y con una elevada área superficial para el anclaje celular. Por supuesto debe propiciar el reconocimiento biológico, de tal forma que dé soporte y promueva adhesión, migración, proliferación y diferenciación celular. Y por supuesto debe constituir un nicho adecuado para el desarrollo de tejido vivo, que permita secuestrar y liberar factores morfogénicos.

La reparación del cuerpo humano por tanto tiene dos vías o aproximaciones para abordarla: la *aproximación biónica*, que

utiliza biomateriales de primera y segunda generación para la fabricación de prótesis e implantes útiles para todas las especialidades clínicas, y la *aproximación de medicina regenerativa* que incluye tanto *terapia celular* como *ingeniería de tejidos*, y utiliza biomateriales de tercera generación.

El objetivo de la ingeniería tisular es el desarrollo de compuestos biológicos y biomateriales implantables en el organismo, con intención de reparar, mantener o mejorar la función de órganos y tejidos. Intervienen los andamios, las células y las señales, que si actúan coordinadamente consiguen el objetivo propuesto, esto es, la reconstrucción del hueso natural, cuando de regeneración ósea se trata, evitando la necesidad de utilizar injertos óseos. Por tanto, la ingeniería tisular se sustenta en tres pilares, las *células madre* y *células progenitoras*, responsables de la osteogénesis, que es la capacidad de producir tejido óseo por la acción de las células, los *factores bioquímicos* que son las señales y factores de crecimiento responsables de la osteoinducción, que es la capacidad para promover la formación de hueso, y los *andamios*, fabricados con biomateriales naturales y/o sintéticos, que son los responsables de la osteoconducción, que es la capacidad para permitir y favorecer el crecimiento y organización del tejido óseo. La figura 4 es un esquema de las distintas posibilidades de implantar un andamio. Lo más sencillo es implantar directamente el andamio con los únicos requisitos de ser biocompatible, poroso, biodegradable o reabsorbible, osteoconductor y con unas propiedades mecánicas mínimas. La siguiente opción sería implantar el andamio en el que previamente se hayan sembrado células del propio paciente, que es lo que se conoce como Ingeniería de Tejidos. Pero habría otras dos opciones más, implantar el andamio funcionalizado con señales, o implantar el andamio donde estén incluidas tanto señales como células. Estos andamios tridimensionales deben tener una porosidad que permita la entrada de células, a las que debe alojar. Si se implanta directamente *in vivo*, las células del paciente deberán poder entrar y alojarse en todos sus poros. Y si previamente se hace un sembrado de células *in vitro*, las células progenitoras deberán colonizar todo el andamio para posteriormente implantarlo.

Pero, por suerte, las patologías con defectos óseos irreversibles, pueden solucionarse en una inmensa mayoría con sólo el andamio y un tratamiento adecuado; para una minoría de pacientes es necesario la utilización de soportes combinados con factores osteogénicos y sólo para casos muy severos que constituyen realmente una minoría muy pequeña son necesarias células en combinación con soportes y factores osteogénicos.

Las aplicaciones de las biocerámicas se centran en la actualidad en los campos de la cirugía maxilofacial, vertebral y ortopédica fundamentalmente y la investigación para biomateriales del futuro en ingeniería de tejidos y sistemas de liberación de fármacos. Y por supuesto pueden tener proyección en aplicaciones biotecnológicas.

En la actualidad las tendencias en biomateriales están centradas fundamentalmente en *matrices para medicina regenerativa*, que deben ser biocompatibles y funcionales y capaces de promover regeneración celular de forma diferenciada para cada aplicación, *sistemas de liberación controlada*, tales como gelificación o encapsulación de moléculas o células con actividad terapéutica incluido el uso de micro y nanopartículas, *sistemas de cultivo y validación*, donde se incluyen los soportes para cultivo celular o tisular en la fabricación de material de ingeniería de tejidos, *producción de ortobiológicos*, esto es, sistemas bacterianos modificados genéticamente para la producción y ensamblaje de unidades polipeptídicas que se repiten y producen materiales de origen biológico, *superficies bifuncionales*, esto es, materiales modificados para albergar componente biológico, como por ejemplo sangre y enzimas, sin contaminar órganos artificiales y dispositivos de diagnóstico, y por último *aplicaciones biónicas*, es decir, los implantes de materiales tradicionales, bien mejorados o fabricados con nuevos diseños y materiales. ■

BIBLIOGRAFÍA

- Shinsuke Ohba, Fumiko Yano, and Ung-il Chung. TISSUE ENGINEERING OF BONE AND CARTILAGE. *IBMS Bone Key*, 2009; 6(11): 405-419
- M. Vallet-Regí. NANOSTRUCTURED MESOPOROUS SILICA MATRICES IN NANOMEDICE. *J. Internal Medicine*. 267, 22-43 (2010)
- A. Baeza, I. Izquierdo-Barba and M. Vallet-Regí. BIOTINYLA-TION OF SILICON-DOPED HYDROXYAPATITE: NEW APPROACH FOR PROTEINS FIXATION FOR BONE TISSUE REGENERATION. *Acta Biomaterialia* 6, 743-749 (2010)
- Daniel Arcos and M. Vallet-Regí. SOL-GEL SILICA BASED BIOMATERIALS AND BONE TISSUE REGENERATION. *Acta Biomaterialia*. 6, 2874-2888 (2010)
- M. Manzano and M. Vallet-Regí. NEW DEVELOPMENTS IN ORDERED MESOPOROUS MATERIALS FOR DRUG DELIVERY. *J. Mater. Chem.* DOI: 10.1039/1a922651f.
- M. Vallet-Regí. CURRENT TRENDS ON POROUS INORGANIC MATERIALS FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS. *Chem. Eng. J.*, 137, 1-3 (2008).
- M. Vallet-Regí. CERAMICS FOR MEDICAL APPLICATIONS. Perspective Article. *J. Chem. Soc. Dalton Trans.* 97-108. (portada de la revista) (2001)
- B. Kasemo. BIOLOGICAL SURFACE SCIENCE. *Surface Science*. 500, 656-677 (2002)
- D.G. Castner, B. D. Ratner. BIOMEDICAL SURFACE SCIENCE : FOUNDATIONS TO FRONTIERS. *Surface Science*. 500, 28-60 (2002)
- M. Tirrell, E. Kokkoli, M. Biesalski. THE ROLE OF SURFACE SCIENCE IN BIOENGINEERED MATERIALS. *Surface Science*. 500, 61-83 (2002)

El obligado ritmo del sueño y la vigilia

AUTORAS: MARGARITA RODRIGO
Y SUSANA HEREDERO
*Facultad de Medicina
Universidad Autónoma de Madrid*

Un fenómeno común a todos los animales, y a muchas plantas, es que experimentan ciclos de reposo y actividad; todos los animales gozan a diario de fases de reposo durante las cuales manifiestan una disminución de la actividad y de la sensibilidad. Sin embargo, el sueño, definido por características de comportamiento y por patrones electroencefalográficos característicos, es un fenómeno privativo de los animales de sangre caliente, es decir, de las Aves y de los Mamíferos. En muchas especies animales se han descrito distintos patrones electroencefalográficos y de comportamiento característicos de ciclos de reposo y actividad específicos.

Desde los albores de la historia, el sueño ha (irónicamente) despertado el interés de grandes científicos y pensadores, desde Aristóteles e Hipócrates hasta Freud y Pavlov, que trataron de establecer bases fisiológicas y psicológicas que expliquen qué estructuras y mecanismos son responsables de producir el sueño, cuál es el significado y la necesidad de los ensueños, y cómo se pueden tratar enfermedades tales como el insomnio, la narcolepsia o la apnea del sueño, causadas por la falta, el exceso o las disfunciones del sueño.

El sueño y la vigilia en el hombre es un ejemplo de ritmo biológico, que se denomina ciclo vigilia-sueño (CVS), y que ocurre durante toda la vida con una estricta periodicidad circadiana: desde el CVS polifásico del recién nacido hasta el monofásico del adulto, pasando por el ciclo bifásico de los niños, que duermen una siesta después de la comida. Los ritmos circadianos son endógenos, ocurren sin necesidad de estímulos exteriores, por lo que requieren un marcapasos interno que es el núcleo supraquiasmático del hipotálamo. Aunque el CVS está condicionado por factores ambientales y sociales, en condiciones normales está regulado por un poderoso estímulo temporizador, la luz solar, que está relacionada con la fase activa de este ciclo; por esta razón, el hombre adulto duerme de noche, cuando está oscuro.

Pasamos un tercio de nuestra vida durmiendo, parece un tiempo lastimosamente perdido. ¿Por qué tenemos tanta necesidad de sueño? Desde un punto de vista cotidiano el sueño tiene una finalidad reparadora de los desequilibrios que acontecen durante la vigilia, sobre todo de la fatiga. Sin embargo, el sueño es un amalgama muy complejo de procesos fisiológicos al que se le han atribuido múltiples funciones: conservación de la energía metabólica, recuperación después de un rendimiento físico o intelectual, regulación de la temperatura corporal, detoxificación cerebral, restauración tisular, plasticidad neuronal, consolida-

ción de la memoria, aprendizaje, cognición y comportamiento; sin embargo aunque hasta el momento ha habido un rápido aumento del conocimiento de los procesos que generan y mantienen el sueño y se han propuesto varias teorías acerca de sus funciones, no hay todavía una respuesta satisfactoria para explicar la finalidad de una conducta fisiológica que, aparentemente, sólo es necesaria para disfrutar de una vigilia provechosa.

CARACTERÍSTICAS DEL SUEÑO

El sueño es un estado fisiológico periódicamente necesario, involuntario e inevitable, que está definido por los siguientes criterios:

- Pérdida de la conciencia. Los individuos humanos tenemos una conciencia vigil cuando estamos despiertos; durante el sueño se pierde la conciencia y no recordamos nada; pero hay además una conciencia onírica, que es la conciencia de recordar, durante la vigilia, haber tenido un ensueño.
- Reversibilidad, es decir que no es un estado de coma, ni de hibernación, ni de estivación. Afortunadamente, podemos volver al estado de vigilia espontáneamente o mediante un estímulo adecuado.
- Reducción de la motilidad por disminución del tono de la musculatura antigravitatoria. Durante el sueño se pueden hacer movimientos coordinados, como cambiar de postura, pero no se pueden hacer movimientos voluntarios.
- Postura característica de cada especie. En el hombre la postura para dormir es echado y con los ojos cerrados, no se puede dormir de pie porque se pierde el tono de la musculatura antigravitatoria.
- Alto umbral de reactividad para responder a estímulos, especialmente a los que no son significativos; esto quiere decir que durante el sueño se procesa información externa, aunque el umbral de respuesta es mayor que en vigilia.
- Compensación. El sueño está regulado por mecanismos homeostáticos, se recupera el sueño cuando se ha estado privado de él o cuando ocurren circunstancias patológicas; esto es lo que se llama rebote de sueño.
- Periodicidad característica. El sueño es un fenómeno rítmico, se repite cíclicamente alternando con periodos de vigilia, con patrones particulares para cada especie.
- Trazado electroencefalográfico característico. Todas las manifestaciones conductuales del sueño van acompañadas de un registro electroencefalográfico especial.

LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN RECIENTE EN SUEÑO

La investigación moderna sobre el sueño comienza en 1928, cuando el psiquiatra alemán Hans Berger, registrando la actividad eléctrica en el cerebro humano, que él llamó electroencefalograma (EEG), demostró que había una clara diferencia en los ritmos de dicha actividad cuando los sujetos estaban despiertos o dormidos; describió un EEG activado de bajo voltaje y alta frecuencia característico de la vigilia, y un EEG desactivado de ondas lentas de alto voltaje y baja frecuencia característico del sueño. Por primera vez se podía demostrar de forma concluyente la manifestación de un estado de sueño que además se podía medir cuantitativamente sin molestar al durmiente.

A mediados de los años 30, Davis, Harvey y Hobart, investigadores de la Universidad de Harvard, con el concurso de Loomis, un físico de la Universidad de Princeton que había diseñado un electroencefalógrafo, describieron el primer EEG de un durmiente aportando el interesante descubrimiento de que el cerebro no descansa mientras dormimos sino que permanece activo aunque esta actividad no es uniforme ni igual que la de la vigilia.

El desarrollo de las investigaciones sobre el EEG fueron la base de los estudios que, también en ese mismo tiempo, estaba realizando en Europa un investigador belga, Frédéric Bremer, partidario de la teoría de la desafrentización, por entonces en boga, la cual proponía que el cerebro privado de impulsos sensoriales es incapaz de mantener el estado de vigilia; era una teoría pasiva del sueño, el sueño era simplemente la ausencia de vigilia. Para apoyar esta teoría, en su laboratorio de Bruselas, Bremer estudiaba los patrones de las ondas de actividad de la corteza cerebral en dos preparaciones experimentales que realizaba en el gato. La primera preparación, que él llamó *cerveau isolé* (cerebro aislado), se realiza haciendo una transección entre los dos colículos del mesencéfalo, justo detrás de la salida de los nervios oculomotores, es decir, haciendo una desafrentización; la actividad cortical queda solamente bajo la influencia de impulsos olfativos y visuales. Como resultado de este experimento observaba que, tras la transección, los animales quedaban permanentemente en un estado de somnolencia y que sus EEGs presentaban las ondas lentas de gran amplitud típicas del estado de sueño. Bremer llegó a la conclusión de que el prosencéfalo estaba dormido porque había sido privado de la estimulación proveniente de la superficie corporal, de los oídos y de los receptores articulares profundos. Esta conclusión fue casi inmediatamente desbancada por los resultados de su siguiente experimento. La segunda preparación, *encephale isolé* (encéfalo aislado), consiste en realizar una sección en la parte baja del bulbo, lo que permite estudiar la actividad eléctrica de la corteza cerebral bajo la influencia de los impulsos olfativos, visuales, auditivos y vestibulares. El resultado de este experimento fue que tanto la conducta de los animales como los sig-

nos eléctricos mostraban una vigilia exacerbada: los animales quedaban en un estado permanente de vigilia. Este resultado fue inesperado pues esta hipervigilancia se producía a pesar de que los impulsos sensitivos músculo-cutáneos y de los receptores articulares profundos no alcanzaban el cerebro. Bremer concluyó que existía un control activo del sueño en el propio tronco del encéfalo, en un nivel que quedaba entre las dos transecciones.

Sin embargo, los trabajos de estos investigadores de los años treinta favorecieron el concepto del sueño como un fenómeno pasivo debido a una reducción de la actividad neuronal.

A finales de la primera mitad del siglo XX, cuando terminó la Segunda Guerra Mundial y la teoría pasiva del sueño todavía estaba en auge, se reinició la investigación en Neurofisiología y se desarrollaron las técnicas de implantación de electrodos de registro y de estimulación. Giuseppe Moruzzi y Horace Magoun fueron dos investigadores que empleaban estas técnicas para estudiar la actividad motora utilizando también el gato como animal de experimentación. Estimulaban las neuronas de la corteza y registraban el EEG mediante electrodos de registro colocados en la corteza motora. Observaron que, cuando variaban los parámetros de estimulación, la actividad EEG de ondas lentas típicas del estado de sueño, se convertía en una actividad rápida de bajo voltaje típica del estado de vigilia acompañada de una conducta de despertar. Moruzzi y Magoun comprobaron que sus electrodos de estimulación estaban situados en la formación reticular del tronco del encéfalo, una compleja región ocupada por una maraña de células y fibras, que desde entonces se conoce como el *sistema reticular ascendente de activación*, y que estaba localizada ente los dos niveles de transección descritos por Bremer. Sin embargo, el efecto de activación de la corteza cerebral se podía obtener cuando se estimulaba cualquier zona de la formación reticular desde el bulbo hasta el hipotálamo.

Con estos datos, Moruzzi y Magoun enunciaron su teoría reticular del sueño, según la cual mantenían que la actividad tónica del sistema reticular ascendente de activación impulsada por vías sensitivas era responsable de la activación del EEG y de mantener despierto al prosencéfalo, mientras que su lesión producía sueño. Estos hallazgos revolucionarios descartaron el concepto del sueño como un proceso pasivo de desafrentización y favorecieron la teoría del sueño como un proceso activo controlado por el sistema nervioso central.

Fue en la segunda mitad del siglo XX cuando se realizó el importante descubrimiento de las fases del sueño. Al comienzo de los años cincuenta a ningún investigador que trabajara en un laboratorio dedicado al sueño en humanos se le había ocurrido pasar toda la noche registrando el sueño de un sujeto; lo que se conocía de los patrones de EEG o de la fisiología general durante el sueño se refería a episodios cortos e intermitentes de sueño en cualquier momento. Nathaniel Kleitmann, profesor de Fisiología y uno de los mejores expertos del mun-

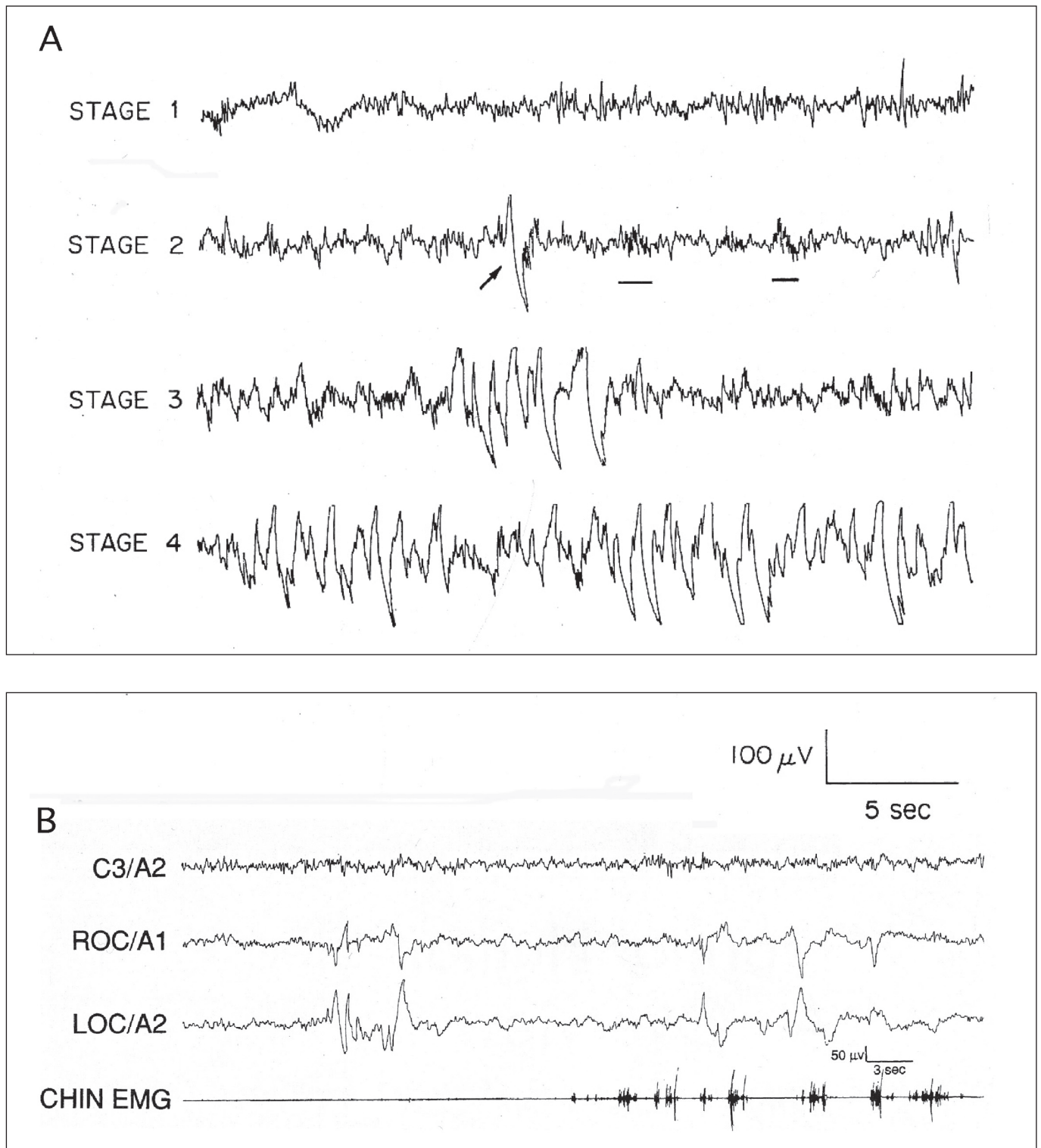


Figura 1. A: Tipos de ondas características de las fases 1-4 de sueño no-REM (Stage 1-4). La flecha en Stage 2 señala un complejo K y las barras husos de sueño. B: Trazado de sueño REM. C3/A2: registro de la corteza; ROC/A1 y LOC/A2 electrooculogramas del ojo derecho e izquierdo; CHIN/EMG: electromiograma tomado en la barbilla. (Modificado de Carskadon and Dement 2000).

do, se dedicaba a registrar EEG de sueño en su laboratorio de la Universidad de Chicago. Eugene Aserinsky, un estudiante de doctorado que hacía guardias nocturnas en dicho laboratorio, estaba interesado por los movimientos oculares durante el sueño, que ya se conocían, y convenció a Kleitmann para registrarlos gráficamente durante periodos prolongados de tiempo;

los resultados del trabajo se publicaron en apenas dos hojas de la revista Science. Estos investigadores interpretaron que estos movimientos oculares representaban un sueño ligero y, puesto que también estaban asociados a una respiración irregular y a un aumento de la frecuencia cardiaca, lo consideraron un estado fisiológicamente diferenciado y bautizaron este tipo

Tabla 1. Fases del ciclo vigilia-sueño en el hombre adulto normal

	EEG	EOG	EMG
VIGILIA Fase 0	ACTIVADO Ojos abiertos – ritmo β (>13Hz y bajo voltaje) Ojos cerrados – ritmo α (8-12Hz y bajo voltaje)	Movimientos relacionados con visión / Ausencia en reposo	Tono y movimientos musculares mantenidos
SUEÑO NO-REM Fase 1 Adormecimiento	SINCRONIZADO Ritmo mezclado (ritmo α y ondas θ de 4-7Hz)	Ausencia	Tono muscular reducido
Fase 2 Sueño ligero	Husos de sueño y/o complejos K (ondas bifásicas de alto voltaje)	Ausencia	Tono muscular reducido
Fase 3-4 Sueño lento	Ondas delta (0,3-3Hz) al menos el 20% del trazado (fase 3) o el 50% (fase 4)	Ausencia	Tono muscular reducido
SUEÑO REM	ACTIVADO	Movimientos oculares rápidos (REM)	ATONÍA (excepción: músculos oculares, del oído medio y diafragma)

de sueño con el nombre de sueño REM (*rapid eye movements*). Aunque este trabajo no atrajo al principio mucha atención, William Dement, en la Universidad de Stanford, estableció que una fase idéntica de sueño ocurría también en gatos. Casi al mismo tiempo un neurocirujano de la Universidad de Lyon que conocía estos trabajos, Michel Jouvet, había observado que los gatos que entraban en sueño REM perdían el tono muscular y que, para su sorpresa, el patrón del EEG era activado igual que en vigilia. Jouvet dio a este tipo de sueño el nombre de *sueño paradójico*, debido a la paradoja de que el cerebro del aparentemente dormido animal, estaba despierto. Se trataba pues de una fase de sueño activo, y desde entonces el sueño con el patrón del EEG de ondas lentas, que se consideraba el normal, pasó a denominarse sueño no-REM.

En un periodo ya posterior, experimentos de estimulación eléctrica y lesión en distintos centros nerviosos demostraron que tanto estructuras prosencefálicas como de los niveles caudales del tronco del encéfalo estaban implicadas en el CVS. El resultado de las investigaciones que se realizaron en el último siglo fue que el sueño dejó de ser considerado como un fenómeno pasivo para pasar a ser un fenómeno activo y que en el CVS están implicados un sistema hipnogénico rostral, otro sistema hipnogénico caudal y un sistema vigilantígeno situado entre ambos.

LAS FASES DEL CICLO VIGILIA-SUEÑO EN EL HOMBRE

El CVS en el hombre sigue un ritmo circadiano y nictameral de aproximadamente veinticuatro horas, en el que el dador del tiempo se identifica con el núcleo supraquiasmático del hipotálamo. El ciclo CVS se puede dividir en tres fases: vigilia, sueño no-REM y sueño REM, que se alternan cíclicamente siguiendo un patrón estructurado. El término "sueño no-REM" no es demasiado afortunado, pues define un fenómeno por la ausencia de unas características que sí están presentes en el sueño REM, por eso también se denomina sueño de ondas lentas o sincronizado (alusivo a las características del EEG), sueño profundo (definido por la intensidad del estímulo necesario para producir el despertar), o sueño tranquilo (que describe la relativa tranquilidad del durmiente). Por el contrario, el sueño REM se puede también designar como sueño desincronizado, sueño activo o sueño profundo.

El estado de sueño no es uniforme, sino que las fases de sueño REM y sueño no-REM están organizadas en ciclos. El paso entre cada una de estas fases se hace de una forma secuencial, y se han definido los criterios para registrar y clasificar cada una de las fases. Para definir la fase de sueño hay que atender a parámetros conductuales y a parámetros electrofisiológicos que se

pueden medir mediante registros poligráficos. Durante el sueño el individuo está en posición relajada, acostado y con los ojos cerrados. La actividad electrofisiológica se mide mediante la colocación convencional de electrodos sobre el cuero cabelludo, a ambos lados de los ojos, y en el mentón, lo que permite registrar la actividad eléctrica del EEG, de los movimientos oculares (electrooculograma o EOG) y de la musculatura antigravitatoria (electromiograma o EMG).

Cuando el individuo apaga la luz y se dispone a dormir entra en la fase 0, está despierto y presenta un EEG activado o desincronizado caracterizado por ondas de bajo voltaje (10-30 μV) y alta frecuencia (>13 Hz), es el ritmo β ; cuando el individuo se relaja y cierra los ojos aparece en el EEG una actividad de unos 20-40 μV y frecuencia de 8 a 12 Hz, es el ritmo α (tabla 1), un ritmo que desaparece cuando el individuo vuelve a abrir los ojos o hace un cálculo matemático sencillo.

La fase 0 dura unos minutos y a continuación el individuo se adormece entrando en sueño no-REM, que consta de cuatro fases durante las cuales las ondas del EEG experimentan progresivamente un aumento de la amplitud y disminución del voltaje, característico de un EEG sincronizado o desactivado. La fase 1 se caracteriza porque desaparece el ritmo α , presenta en el EEG ondas de bajo voltaje y mezcla de frecuencias (figura 1A), cierta actividad del músculo esquelético y ausencia de movimientos oculares rápidos (tabla 1); es una fase que se suele denominar de somnolencia pues aunque el individuo está adormilado tiene capacidad para responder a los estímulos externos; esta fase de sueño ocupa el 5% del registro nocturno de sueño.

La fase 2 se caracteriza por la aparición en el EEG de ondas sinusoidales (12 a 14 Hz) denominadas husos de sueño, ondas bifásicas de alto voltaje llamadas puntas del vertex y una combinación de estas puntas con los husos de sueño, los complejos K, que surgen de forma episódica sobre una actividad continua de bajo voltaje (figura 1A); no hay movimientos oculares y el EMG está algo disminuido. El individuo está ahora ya dormido con un sueño ligero y en esta fase pasa un 45% del tiempo total de sueño.

Las dos siguientes fases se suelen agrupar como fase 3-4; es la fase que se conoce también como fase de sueño lento, ya que el EEG muestra ondas lentas de la banda δ (0.5 a 2 Hz) de baja amplitud cuyo número se incrementa a lo largo del tiempo hasta dominar el registro del EEG (figura 1A); no hay husos de sueño, ni complejos K, ni movimientos oculares, y el EMG está disminuido. Conductualmente es un sueño muy profundo pues el umbral para el despertar es alto. Ocupa el 25% del tiempo total de sueño (tabla 1).

Cuando han pasado unos 90 minutos, el individuo entra en sueño REM, el EEG revierte a un patrón de bajo voltaje y frecuencias mezcladas semejante al de la fase 1 de sueño no-REM, es decir a un EEG activado; de vez en cuando los ojos giran libre y enérgicamente; la gráfica del EMG es una línea recta, es decir, la musculatura está totalmente relajada y el durmiente está

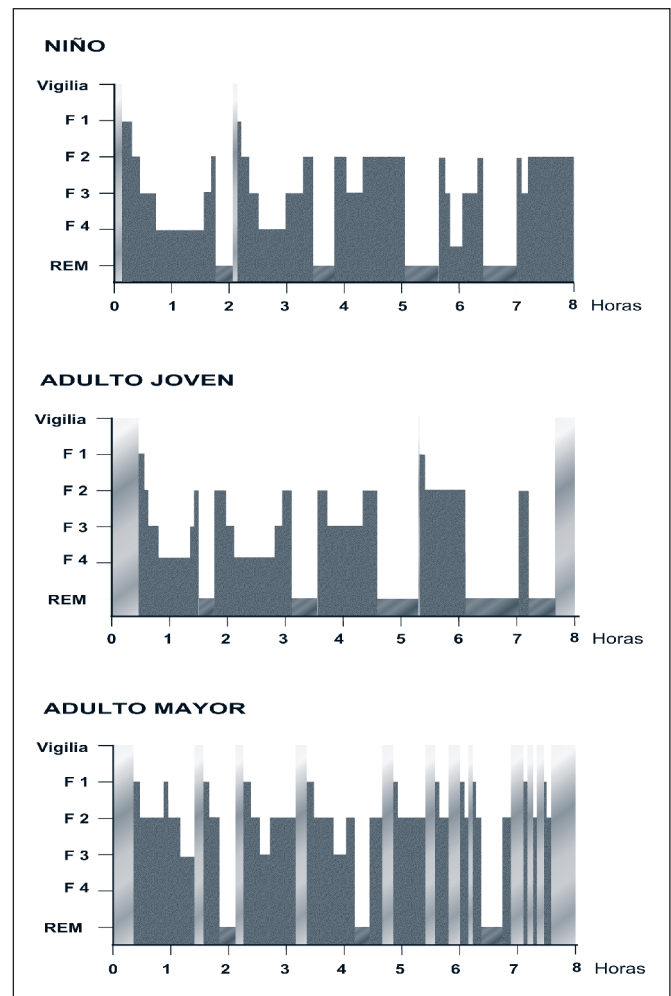


Figura 2. Hipnograma. Representación gráfica de la distribución de las distintas fases del sueño a lo largo de la noche, en diferentes edades.

como paralizado, excepto en lo que se refiere a la musculatura extrínseca de los ojos y a la musculatura del diafragma (tabla 1, figura 1B). Si el individuo se despierta en ese momento, será consciente de que estaba soñando, es en esta fase REM cuando se producen los ensueños. Aunque un individuo entrenado puede relatar un ensueño cuando se le despierta en fase de sueño no-REM, todos los autores están de acuerdo en que los ensueños más vívidos y mejor estructurados ocurren durante la fase de sueño REM. El sueño REM ocupa el 15-20% del sueño total.

Este ciclo de sueño no-REM y sueño REM se repite normalmente de cuatro a seis veces durante la noche y este hecho se puede reflejar en un gráfico, llamado hipnograma, que nos muestra la estructura del sueño de un individuo particular en una noche determinada (figura 2). En el individuo adulto hay un orden en la progresión de las fases, de manera que se comienza con la fase 0, se pasa a la fase 1, a la fase 2, a la fase 3-4 y luego a la fase REM, que suele ocurrir a los 90 minutos desde que el individuo se dispone a dormir, siempre precedida de la fase 3-4. La fase 3-4 es más larga en las primeras horas de la noche y luego decrece, al final de la noche en cambio predomina la fase 2 y se puede pasar a la fase REM directamente desde ella;

los episodios de REM son cortos al principio de la noche y luego más largos, al final de la noche es cuando es más probable que el individuo pueda relatar un ensueño.

Sin embargo, la estructura del sueño cambia radicalmente a lo largo de la vida. El parámetro que más afecta a la estructura del sueño es la edad. El bebé recién nacido pasa casi todo el día durmiendo y el 50% del tiempo, en sueño REM; entre los 12 y los 14 meses el sueño de los niños se centra ya en el periodo de la noche, aunque el niño no aguanta despierto todo el día y necesita una siesta, hasta los cinco años un niño no soporta estar más de 12 horas en vigilia; a partir de este momento los ciclos de sueño se van prolongando desde 60 minutos hasta los 90 del adulto y la proporción de REM se reduce hasta el 20%. En el anciano el sueño se reduce, especialmente la fase 3-4, predomina la fase 2 y por tanto, el sueño se hace más ligero y es además intermitente pues se producen muchas cortas vigiliadas a lo largo de la noche; la cantidad de sueño REM también disminuye de forma significativa. Aunque esta reducción del sueño produce, lógicamente, un cierto desasosiego a los individuos mayores, es un hecho absolutamente normal (figura 2).

¿CUÁNTO NECESITAMOS DORMIR?

La buena o mala calidad de sueño, la eficiencia de sueño, viene dada por la ecuación:

$$\frac{\text{Tiempo Total de Sueño-Vigilia Intrasueño}}{\text{Tiempo Total de Registro}} \times 100$$

y el resultado de esta ecuación cuando hay buena calidad de sueño, es entre el 80-95%.

Como media general, la población humana necesita ocho horas de sueño cada noche. Pero esto varía mucho dependiendo de características individuales, sociales, geográficas y culturales; por ejemplo, los españoles somos los europeos que menos dormimos, seguramente por la afición que tenemos a salir de noche aunque debamos trabajar temprano al día siguiente.

Sin embargo, no todos tenemos la misma necesidad de dormir, sabemos que hay individuos que durmiendo cinco o seis horas se despiertan perfectamente frescos y preparados para afrontar la jornada, sin embargo otros individuos necesitan dormir diez horas para estar en buenas condiciones diurnas. De una mala traducción del inglés, a estos individuos se les llama "dormidores cortos" y "dormidores largos". Hemos mencionado que los porcentajes de cantidad de sueño son distintos para cada fase. Cuando se hace un estudio de los dormidores cortos y de los dormidores largos, comparados con los individuos control que duermen ocho horas, para ver los porcentajes de sueño que tienen en cada fase, se observa que hay diferencias significativas en las fases 1 y 2 del sueño no-REM y en sueño REM; pero hay una fase cuyo porcentaje se mantiene constante tanto en los dormidores cortos como en los largos y en los individuos control, la fa-

se 3-4. En otro estudio que se hace con individuos que duermen ocho horas, se les va reduciendo progresivamente la cantidad de sueño, acostándose a la misma hora, se les va despertando progresivamente media hora antes. Hasta que se les reduce la cantidad de sueño a cinco horas los individuos se encuentran bien, pero empiezan a tener problemas si se reduce más. Cuando se estudian los porcentajes de la cantidad de sueño en cada fase, se observa que la reducción de sueño se hace a expensas de las fases 1 y 2 de sueño no-REM y del sueño REM, la que se mantiene constante es la fase 3-4. También ocurre que en los individuos que han tenido una privación de sueño por alguna circunstancia, cuando se produce el rebote de sueño subsiguiente, es la fase 3-4 la que primero se recupera. Parece ser, por lo tanto, que la fase más necesaria para tener una buena calidad de sueño es la fase 3-4. También del resultado estos estudios se desprenden datos algo impopulares, se considera que las horas de sueño necesarias son cinco; por eso las cinco primeras horas de sueño son las que se denominan "sueño necesario", mientras que el resto se denomina "sueño facultativo", y se consideran como un sueño de lujo.

LAS ESTRUCTURAS NERVIOSAS Y LOS NEUROTRANSMISORES RESPONSABLES DE LAS FASES DEL CICLO VIGILIA-SUEÑO

La experimentación animal ha permitido, mediante técnicas neuroanatómicas de lesión y estimulación, identificar regiones cerebrales y sistemas neuronales implicados en la generación y mantenimiento de cada una de las fases del CVS; los estudios de neurofisiología han servido para conocer los mecanismos celulares de las neuronas responsables de la generación de los estados de vigilia y sueño; a partir de los años sesenta la investigación se ha centrado, entre otras, en el papel que juegan los neurotransmisores y las neuronas que los contienen, en las fases del CVS.

La vigilia se caracteriza por un EEG activado y un estado consciente. La integridad del sistema reticular ascendente de activación es fundamental para generar y mantener el estado de vigilia y la sincronización del EEG; este sistema formado por una gran cantidad de neuronas y fibras que le dan un aspecto de retícula, ocupa la parte central del encéfalo: toda la formación reticular del puente y mesencéfalo hasta el hipotálamo posterior.

El sueño no-REM se caracteriza por la presencia en el EEG de husos de sueño y ondas lentas de alto voltaje y baja frecuencia. Hay dos zonas hipnógenicas necesarias para que se produzca el sueño no-REM: una zona hipnógena situada en la parte anterior del encéfalo, formada por la corteza cerebral, el tálamo y el hipotálamo anterior, y otra zona hipnógena posterior formada por la formación reticular bulbar. La corteza cerval, el hipotálamo anterior y la formación reticular bulbar son responsables de la sincronización del EEG y de la generación de las ondas lentas características de la fase 3-4, mientras que el tálamo está más implicado en la generación de los husos de sueño que caracterizan a la fase 2.

El sueño REM es la fase más compleja, caracterizada por sincronización del EEG, atonía muscular y movimientos oculares rápidos. Las estructuras responsables de cada una de estas manifestaciones características del sueño REM están localizadas en la formación reticular del puente; pero hay en una zona restringida situada en la porción anterior y ventral de la formación reticular del puente, que es capaz de inducir todas las manifestaciones características del sueño REM.

Como resultado, podemos decir que el sueño es un fenómeno activo y complejo, que afecta a todo el encéfalo y que hay estructuras responsables de las manifestaciones de cada una de las fases del CVS tanto en regiones prosencefálicas, como del tronco del encéfalo. Estas regiones están interconectadas por conexiones neurales que forman una extensa y compleja red neuronal que utiliza muchos tipos de neurotransmisores: acetilcolina, noradrenalina, dopamina, glutamato, serotonina, hipocretina, GABA, (entre otros), con lo que se establecen en toda esta red relaciones excitadoras, inhibitorias, reguladoras y moduladoras, asimismo muy complejas. Aunque hay neurotransmisores que están claramente implicados en determinadas funciones (por ejemplo, la acetilcolina produce desincronización del EEG), no se puede adjudicar ningún neurotransmisor la responsabilidad de inducir una fase determinadas del CVS. Pero, a través de estos neurotransmisores, toda la red neural funciona en un equilibrio perfectamente orquestado que permite que produzcan, no sólo las fases del ciclo, sino también que haya una transición ordenada de una fase a otra, y, que cuando está transcurriendo una fase del ciclo, las otras estén abolidas.

ASPECTOS AUTONÓMICOS, METABÓLICOS Y ENDOCRINOS DURANTE EL SUEÑO

Durante el sueño, no sólo cambian los patrones electroencefalográficos y conductuales, sino que todos los sistemas orgánicos están afectados y tienen características distintas de las de la vigilia.

Los primeros cambios se ven en el metabolismo, tanto el metabolismo basal como el consumo de oxígeno son elevados durante la vigilia, disminuyen durante la fase 2, son muy bajos en la fase 3-4 y vuelven a aumentar durante el sueño REM aunque sin llegar a los niveles de vigilia.

Los sistemas cardiovascular y respiratorio sufren también importantes cambios, tanto la frecuencia cardíaca como la respiratoria están alteradas durante el sueño. Al principio de la noche hay bradicardia, el ritmo cardíaco se va entrecortando durante la noche, acompañado de una disminución de la presión arterial y del volumen de sangre que sale del corazón, lo que puede hacer bajar la tensión arterial, pero esta bajada se compensa por vasoconstricción periférica. Durante el REM se producen enormes irregularidades en el ritmo cardíaco, hay taquicardias y bradicardias y tanto la tensión arterial como el flujo arterial durante los fenómenos fásicos del sueño REM

también suben y bajan de manera irregular. También durante el sueño REM la vasodilatación periférica es responsable de erección peneana en el varón, un fenómeno fisiológico que no tiene que ver con contenidos eróticos de los sueños; este hecho se utiliza para diagnosticar si la impotencia responde a causas orgánicas o psicológicas.

La frecuencia respiratoria disminuye durante el sueño lento, aunque es regular, y la ventilación pulmonar disminuye dando lugar a un aumento de dióxido de carbono en sangre y una bajada del pH, lo que causa una acidosis típica del sueño. Durante el sueño REM el tono de la musculatura respiratoria intercostal está abolido, la respiración es por lo tanto diafragmática; la frecuencia respiratoria es más rápida que en sueño no-REM, pero sobre todo es muy irregular, pues se producen alternativamente breves episodios de bradipnea y taquipnea.

La temperatura corporal sufre variaciones a lo largo del día, los valores más altos se registran a última hora de la tarde, a las ocho o las nueve, para comenzar a descender progresivamente y alcanzar los valores mínimos entre las tres y las seis de la madrugada. Las características del control de la termorregulación varían significativamente durante los estados de vigilia y sueño. La temperatura y el sueño tienen probablemente una estrecha relación evolutiva; en los mamíferos el sueño ha aparecido evolutivamente al mismo tiempo que la endoterma, y todas las especies duermen durante el descenso circadiano de su temperatura corporal. Hay una estrecha relación entre la inducción del sueño y la reducción de la temperatura corporal. El cuerpo tiene un compartimento interno de producción de calor, y otro periférico de regulación de la pérdida de calor; este último actúa por medio de la constricción o dilatación de los vasos sanguíneos periféricos. El patrón circadiano de la temperatura corporal se produce como resultado del equilibrio entre la producción y la pérdida de calor. El sueño se produce cuando la temperatura corporal desciende como consecuencia de la redistribución del calor desde el interior del cuerpo a la periferia, y esta redistribución del calor podría ser una señal crucial para la iniciación del sueño. Los mecanismos termorreguladores están disminuidos durante el sueño lento, cuando se comparan con los de la vigilia, y sufren importantes alteraciones durante el sueño REM, estando muchos de ellos claramente inhibidos. Por ejemplo, los individuos que se disponen a dormir en ambientes fríos (<20° C) tiritan en el inicio del sueño durante la etapa 1 y durante la etapa 2 del sueño lento, pero no durante la etapa 3-4 ni durante el sueño REM, debido a la atonía muscular, es decir que los mecanismos de producción de calor fallan durante estas fases y durante el sueño REM se entra en estado de poequiloterma. Las variaciones de la temperatura externa distorsionan el sueño más que otros factores como el ruido, pues la temperatura no tiene efectos de habituación.

La liberación de hormonas tiene picos que se ajustan a curvas coseno, y cuando se miden los niveles de concentración a lo largo de la noche, se puede comprobar que la secreción de muchas de ellas sigue un ritmo asociado al ciclo vigilia-sueño.

La hormona del crecimiento se secreta a primeras horas de la noche y sobre todo en la fase 3-4; si se interrumpe o se produce una privación de sueño se produce una disminución drástica de la liberación de esta hormona y si se administra el factor hipotalámico responsable de su liberación se favorece el sueño lento. Si se retrasa la hora de dormir de un individuo, no se libera hormona de crecimiento y no lo vuelve a hacer hasta que se produzcan las primeras horas de sueño; este hecho fue el que apoyó la tesis de que el sueño tuviera una función reparadora. Por lo tanto, la hormona de crecimiento tiene un ritmo de liberación circadiano impuesto por el sueño que cambia también con la edad: en las personas mayores, que tienen un sueño fragmentado, se ven también picos en la liberación de la hormona de crecimiento y una clara disminución de esta liberación asociada a la disminución de la fase 3-4.

La prolactina se libera en picos circadiano y alcanza el máximo de liberación por la mañana, al terminar el periodo de sueño; si se priva a un individuo de sueño durante la noche, deja de liberarse, pero se recupera si se le deja dormir a la mañana siguiente; la liberación de esta hormona es dependiente del sueño.

La tiotropina tiene niveles bajos durante el día, se libera de noche; si se priva a un individuo de dormir durante la noche, incluso se potencia su liberación, y si se le deja dormir a la mañana siguiente, deja de liberarse, por lo que parece tener un efecto independiente del sueño.

El cortisol y la corticotropina tienen un pico de liberación a primera hora de la mañana, alcanza los niveles más altos durante el día y cae al final de la tarde; la liberación de cortisol sigue su propio ritmo endógeno pero está modulada por el sueño, si el individuo se despierta por la noche se produce un pico de liberación, y también se ha visto que el sueño lento inhibe su liberación.

La melatonina, una hormona secretada por la glándula pineal, se libera en condiciones de oscuridad, alcanza su concentración máxima durante la noche y se inhibe con la luz, de donde se deduce que el incremento nocturno de melatonina favorece la aparición de sueño. Últimamente a la melatonina se le están atribuyendo funciones en otras actividades rítmicas, como en la regulación de la temperatura corporal o en la secreción de cortisol. Aunque el efecto favorecedor de sueño de la melatonina se está utilizando para tratar las alteraciones del ritmo natural del sueño producido por los viajes transmeridianos o por el trabajo en turnos irregulares, no se sabe aún que efectos puede tener sobre el insomnio causado por otros factores.

LA ACTIVIDAD MENTAL DURANTE

EL SUEÑO

Una de las características del sueño es la pérdida reversible de la conciencia, se puede salir de este estado por medio de estímulos que pueden ser relevantes o irrelevantes. Durante el sueño

no nos desconectamos del exterior, las señales sensitivas siguen entrando y se procesan. El que una persona se despierte o no, depende no sólo de la profundidad del sueño, sino del tipo e intensidad del estímulo despertador. Aunque no seamos conscientes de ello, el cerebro está continuamente, incluso durante el sueño, filtrando información procedente del exterior, y distingue la significativa de la que no lo es; una madre se despierta sobresaltada al menor movimiento de su hijo enfermo en la cuna, mientras que pasa por alto el estrepitoso pero habitual tráfico callejero; los estímulos muy significativos no requieren tener demasiada intensidad para producir un despertar, pero sí los que tengan que ver con algún suceso neutral.

El cerebro, en cualquiera de sus dos estados (sueño o vigilia) recibe información dependiendo de los receptores; durante el sueño los receptores están limitados, la percepción que tenemos del mundo exterior es parcial y la interpretación de las entradas sensoriales es distinta que durante la vigilia. Es evidente que durante el sueño se procesa información auditiva, no es casualidad que los aparatos que utilizamos normalmente para despertarnos son artilugios que emiten algún tipo de sonido; este hecho se demuestra experimentalmente: la extirpación bilateral de la cóclea en un cobaya, produce un aumento tanto de sueño no-REM como REM y la actividad fisiológica de la vía auditiva cambia durante todas las fases del CVS. Aunque la información auditiva que se procesa durante el sueño es muy importante, también la información de otras modalidades sensoriales, como la somatosensorial, la visual y olfatoria se procesa de manera significativa.

Pero la actividad mental durante el sueño que más nos sorprende, son los extraordinarios sucesos que idea nuestra mente, aparentemente sin nuestro consentimiento, mientras dormimos: los ensueños. Algunos investigadores han hablado de una conciencia onírica, pero en realidad no hay tal conciencia, lo que sí hay es un recuerdo onírico, el recuerdo de haber soñado algo. Y, ésta sí es una experiencia que todo el mundo tiene, todo el mundo sueña (salvo en estados patológicos) aunque no lo recuerde.

Desde la antigüedad hasta casi nuestros días, los ensueños se han considerado subjetivamente como experiencias cuyo significado es críptico y necesita ser descodificado. Desde la Biblia, que está llena de descripciones e interpretaciones de sueños, se ha considerado a los ensueños como experiencias importantes y extraordinarias con significado mágico o predictivo. En el año 150 antes de Jesucristo, en la Antigua Grecia, Artemidoro de Daldis escribió un libro, "La interpretación de los sueños", donde describe sueños de individuos con un contenido (salvando las diferencias lógicas) muy parecido a los contemporáneos. No fue hasta el año 1900 en que Freud propuso que el contenido de los ensueños representaban un medio de expresión de impulsos, situaciones y pensamientos que estaban reprimidos durante la vigilia. El psicoanálisis ha hecho uso de la interpretación de los ensueños con fines terapéuticos y, aunque las teorías de Freud están rebatidas actualmente, no se le puede negar a su trabajo el mérito de haber quitado a los ensueños su carácter mágico o pueril. Aunque en algún momento se pensó que los ensueños

eran cosas ocasionales, la psicología moderna ha probado que todo el mundo sueña en ciclos regulares de sueño REM varias veces durante la noche. La razón por la que se pensó que los ensueños eran infrecuentes es que su recuerdo se desvanece; la probabilidad de que un ensueño se recuerde desciende en cuanto haya ocho minutos de sueño no-REM después de un sueño REM. Como resultado, normalmente sólo recordamos los ensueños de la mañana, que son también los que tienen más contenido emocional. A lo largo de la noche, en paralelo con el aumento de la duración de los episodios de sueño REM, hay un aumento de la intensidad del tono emocional y de la actividad de las imágenes visuales en el contenido de los ensueños que se recuerdan.

Los ensueños son principalmente visuales, el 100% del contenido sensorial de un ensueño es el 100%, el 65% es auditivo y sólo un pequeño porcentaje se refiere a modalidades sensoriales de tacto, temperatura, olfacción o gusto. En cuanto a su contenido, aproximadamente el 65% están asociados a tristeza, aprensión o miedo, sólo el 18% son felices o excitantes; ensueños que impliquen actos hostiles contra el durmiente, como asesinato, persecución o denuncia, son el 2% y sólo un 1% contienen un componente sexual. Los ensueños que se producen durante el sueño REM son vívidos y de tipo narrativo, en ellos aparecen imágenes grotescas, incongruentes, discontinuas, inciertas y cambiantes; las personas y lugares se mezclan sin aparentes nexos lógicos ni temporales; no hay procesos reflexivos, y están fuera del control de la voluntad, dominados por la emotividad. Si nos limitamos a describir los contenidos emotivos, afectivos y fantásticos de los ensueños, descubrimos que en el mundo irracional de los ensueños somos nosotros mismos, con nuestros caracteres y problemas, en ellos se refleja nuestra personalidad, nuestros pensamientos, nuestras experiencias remotas y recientes, nuestras aspiraciones y nuestros miedos, quizá mejor de lo que estamos dispuestos a confesarlo durante la vigilia.

No solamente hay actividad mental durante el sueño REM, sino que los contenidos mentales que se revelan después de un despertar provocado en cualquiera de las otras fases, son expresiones del estado funcional del cerebro en ese momento. Durante la fase de somnolencia la imaginación se lanza cuando el individuo aún no está dormido y el pensamiento se nos escapa; en esta etapa pueden aparecer alucinarios llamados hipnagógicos que muchas veces se traducen en sensaciones de ingravidez o falta de equilibrio. Durante la fase 2 de sueño ligero la actividad mental se recuerda más pobremente, menos vívida y emocional, y con poco contenido visual, más conceptual y plausible, y bajo control de la voluntad. Durante la fase 3-4 la actividad mental consiste en pensamientos poco elaborados que nunca se recuerdan; el individuo que se despierta durante esta fase 3-4, ante todo le cuesta despertarse y está obnubilado, y si en ese momento se le pregunta qué estaba soñando, responde que no lo recuerda: "quizá estaba pensando en esto...", pero no sabe decirlo exactamente, y si lo dice, formula una proposición muy breve y banal. En la transición al despertar, sobre todo ya en las últimas horas de la mañana, aparecen otros fenómenos de tipo alucinatorio, que se llaman hipnópticos, y que se refieren sobre todo a percepciones vi-

suales falsas, en la que los objetos o el mobiliario de la habitación se nos antojan imágenes extrañas.

LAS PATOLOGÍAS MÁS FRECUENTES

Un gran número de individuos sufre alteraciones del sueño y la población europea y estadounidense que acude a consultas de sueño ha aumentado de manera espectacular en los últimos años. Se están descubriendo continuamente enfermedades debidas a alteraciones del ciclo vigilia sueño, pero las más frecuentes se pueden agrupar en insomnias (disminución de sueño), hipersomnias (aumento del sueño), disomnias (alteraciones del ciclo) y parasomnias (alteraciones de la fenomenología del sueño).

El insomnio es la alteración más frecuente por falta de sueño. Nadie que no lo ha sufrido sabe de la angustia del individuo que permanece por la noche en la cama con los ojos abiertos mirando al techo e intentando en vano de conciliar el sueño, ni del horror a tener que irse cada noche a la cama sabiendo que no va a dormir. El insomnio no es una enfermedad en sí mismo, sino un síntoma de otra enfermedad; normalmente va asociado a alguna enfermedad neurológica, a la depresión, al stress, a la vida sedentaria, al hábito del tabaco y del alcohol, y a un horario de sueño desordenado. Puede ocurrir por aumento de la latencia del sueño, aumento de la vigilia nocturna intrasueño, disminución de la duración del ciclo de sueño, o varias causas a la vez. Produce en el individuo fatiga diurna, falta de concentración, bajo rendimiento laboral, aumento del riesgo de accidentes de tráfico (la Dirección General de Tráfico informa que se producen más accidentes provocados por conductores con falta de sueño que por conductores en estado de embriaguez) y, en general, mala calidad de vida. Para el tratamiento del insomnio hay una multitud de fármacos, que a la larga no son efectivos pues causan habituación; actualmente, los médicos recomiendan para su tratamiento una buena higiene nocturna: acostarse siempre a la misma hora, no cenar en exceso, evitar el café, tabaco y alcohol, tener una habitación oreada y ordenada, ejercicio físico moderado antes de dormir, y no utilizar la cama para leer, ver la televisión, estudiar o comer.

Las hipersomnias son patologías del sueño muy graves producidas por un exceso de sueño. La más conocida y peculiar de las hipersomnias es la narcolepsia. El paciente con narcolepsia se ve atacado a cualquier hora del día por accesos irreprimibles de sueño que duran unos minutos. Lo más grave es que estos accesos de sueño van acompañados de una pérdida brusca del tono muscular, una cataplejía, que hace que el individuo se desplome en el suelo. Estos accesos ocurren varias veces al día y son provocados por causas banales, tales como escuchar un chiste o ver a una persona conocida. Lo que les sucede a estos pacientes es que entran en sueño REM súbitamente desde la vigilia, de ahí la cataplejía, por lo tanto son individuos con graves problemas en su vida diaria, no pueden conducir, ni realizar trabajos de responsabilidad por lo que frecuentemente pierden el empleo. Se ha podido determinar que la narcolepsia es debida a la falta de un neurotransmisor, la hipocretina, que se sintetiza en el hipotálamo.

mo posterior y que es necesario para mantener la vigilia, pero los mecanismos íntimos de este proceso aún no se conocen.

Las disomnias son alteraciones durante la fase de sueño. Las insuficiencias respiratorias durante la fase de sueño, las apneas del sueño, se debe a una obturación en la vía respiratoria o a un trastorno de los centros respiratorios del bulbo. Los individuos con apneas son normalmente obesos y grandes roncadores, la falta de oxígeno hace que el individuo se despierte inconscientemente para poder respirar y esto provoca un número enorme de vigiliadas intrasueño. Además de que la falta permanente de oxígeno conlleva graves complicaciones físicas, estos pacientes presentan una somnolencia diurna que les impide el normal desarrollo de su vida profesional y personal. Otra grave alteración del sueño, descrita recientemente, es el llamado síndrome de piernas inquietas; el paciente se ve aquejado a última hora de la tarde o al irse a dormir, de un irrefrenable impulso de mover las piernas provocado por picores, escozores o sensaciones mal descritas. Resulta angustioso ver el registro de estos pacientes que no pueden parar de moverse, terminan por dormirse por puro cansancio, y tienen un sueño alterado; presentan una fatiga diurna constante que les impide llevar una vida normal.

Las parasomnias no son alteraciones, propiamente dichas, del sueño sino fenómenos que aparecen asociados y que pueden ser molestos y, a veces, peligrosos. El sonambulismo es una parasomnia peligrosa, ocurre durante la fase 3-4 de sueño no-REM y el individuo puede hacerse daño al deambular sin control. En cambio, la somniloquia (hablar durante el sueño), el bruxismo (rechinar los dientes) o la incontinencia urinaria, que ocurren también durante el sueño no-REM son inocuas. También son típicos del sueño no-REM los terrores nocturnos de los niños, el niño llora desesperadamente y parece aterrorizado, sin embargo está profundamente dormido y no recuerda nada; es una parasomnia normal y desaparece pronto con la edad. Las pesadillas, en cambio, son parasomnias que se producen durante el sueño REM.

EL SUEÑO EN LOS ANIMALES

La inmensa mayoría de los individuos de la escala zoológica pasan por periodos de actividad y reposo muy regulares. Es indudable que hay un ciclo básico de reposo-actividad en todos los animales. Sin embargo el sueño tal como lo hemos descrito, por una serie de características conductuales y por un trazado electroencefalográfico específico, sólo aparece en los animales homeotermos, es decir en las Aves y en los Mamíferos. En el resto de los Vertebrados y en los Invertebrados el criterio electroencefalográfico no puede aplicarse pues tienen el cerebro relativamente poco desarrollado; por lo tanto en estos animales es necesario tener un criterio conductual y su sueño se podría definir como un periodo en el que el animal está quieto y responde a la estimulación menos que en vigilia.

De todas maneras algunos Vertebrados inferiores, por ejemplo los Peces, tienen una conducta de sueño muy compleja; es el

caso de un pequeño pez, el limpiaparásitos tropical, que vive en los arrecifes de coral y cada noche secreta una sustancia mucosa con la que se hace una envuelta en la que permanece todo el tiempo que está en reposo.

Esta conducta también la tienen las Aves y Mamíferos, casi todos estos animales necesitan una conducta previa al sueño, como hacerse un nido o buscar un escondite, que les permita tener una protección ante el peligro que supone pasar un periodo de pérdida de la conciencia en un ambiente que puede ser hostil.

Se han podido estudiar las características del sueño en una gran variedad de animales, sobre todo en Mamíferos, con la conclusión de que en los animales el sueño no ocurre ni en cualquier sitio, ni de cualquier manera, ni en cualquier momento sino que está estrictamente ligado al espacio y al tiempo, además de a otras circunstancias como la postura, el grupo social, el habitat o el nicho ecológico que ocupa el animal. Se pueden distinguir, por tanto, muchas clases de sueño: profundo, medio, sueño paradójico, de verano, de invierno, nocturno, diurno, y, salvo excepciones, todos presentan tanto sueño lento como sueño paradójico comparables. Cada animal tiene una postura característica para dormir y sumamente variada: los herbívoros duermen de pie, los murciélagos colgados cabeza abajo, las gallinas encaramadas en un palo, los flamencos y otras Zancudas con una extremidad encogida, muchos pájaros con la cabeza debajo del ala, los leones tumbados patas arriba. También hay otras costumbres específicas de dormir, algunos animales duermen en solitario, otros en grupo, otros en familia. En cuanto al tiempo que los animales necesitan dormir, también es muy variable; hay animales que pasan gran parte de tiempo durmiendo, es el caso de los murciélagos que duermen 18 horas al día, en cambio algunos herbívoros sólo duermen dos o tres. El factor que más claramente determina cuanta necesidad de dormir tiene una especie determinada es, seguramente, la relación predador-presa. Como norma general los herbívoros, que viven en la sabana, duermen entre tres y cinco horas (los que menos la jirafa y el antílope), ya que están en constante peligro y también sus sueños paradójicos, donde se pierde el tono muscular, son muy cortos; los roedores duermen un tiempo intermedio y los que más horas duermen son los carnívoros, los depredadores. Sin embargo los buenos dormidores no son siempre los depredadores: las ardillas y monos que duermen en árboles altos, el erizo que se hace una bola de pinchos y el murciélago que duerme escondido en su cueva, son los que tienen los periodos de sueño más largos. Parece pues, que la diferencia esencial entre buenos y malos dormidores depende de la seguridad del lugar donde se duerme. Sucede también que animales de especies próximas duermen muy diferente cantidad de tiempo, por ejemplo, el gato doméstico duerme 12,5 horas al día y la gineta solamente 6,3; y, ocurre también lo contrario, especies distantes y de forma de vida muy diferente, como el topo y el hombre, tienen ocho horas de sueño de las que 1,9 se dedican al sueño paradójico.

En la literatura hay miles de ejemplos sobre las diferentes maneras de dormir de los animales, pero hay dos casos extraor-

dinarios en los que la evolución ha resuelto de una manera muy inteligente el problema que tienen las Aves migratorias y algunos Mamíferos acuáticos. Las Aves migratorias tienen que hacer viajes, a veces muy largos, al comienzo del otoño; mediante satélites y radares se ha podido seguir la migración de una Zancuda, la aguja colipinta, que durante el periodo migratorio cubre la distancia entre Alaska y Nueva Zelanda, 11.500 km, sin descansar, en lo que emplea seis días. Ya se había pensado que las Aves podían dormir mientras volaban, pero lo que se ha visto es que en un mismo periodo de tiempo tienen distinta actividad en cada hemisferio cerebral; el registro electroencefalográfico de estas aves muestra que mientras un hemisferio cerebral presenta ondas lentas típicas de sueño no-REM, es decir que está dormido, el otro hemisferio tiene ondas de rápidas de vigilia, está despierto. El mismo caso sucede en los delfines, que han sido muy bien estudiados; en un mismo periodo de tiempo, la actividad eléctrica de un hemisferio cerebral es de sueño y la del otro de vigilia, por lo que pueden dormir mientras duermen.

¿PARA QUÉ SIRVE EL SUEÑO?

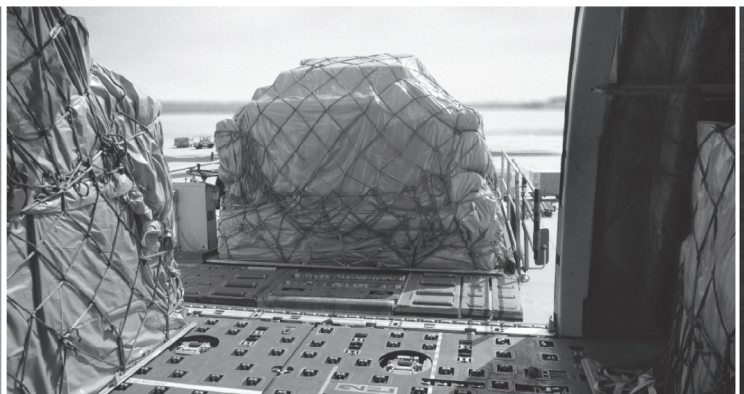
Es evidente que el sueño es necesario, si no lo fuera no nos pasaríamos un tercio de nuestra vida durmiendo, pero las funciones no están claras. La necesidad de sueño se pone de manifiesto

cuando se priva a un individuo de sueño, lo primero que ocurre es que aparece lo que se llama presión de sueño, es decir un deseo de dormir; y cuando se permite dormir al individuo privado de sueño, aparece un rebote de sueño, es decir se recupera el sueño, aunque no todo lo que hemos perdido, y precisamente se recupera el sueño necesario, no el facultativo.

La privación de sueño es un procedimiento que se ha utilizado para estudiar las funciones de sueño. Un animal de laboratorio privado de sueño empieza por perder el pelo, aparecen ulceraciones en la piel, úlceras gástricas, pérdida de peso, hemorragias internas y finalmente el animal muere; lo que ocurre es que al privar a un animal de sueño se le induce una situación de estrés que interfiere con el experimento. En individuos humanos, en cambio se ha visto, que el individuo privado de dormir voluntariamente (el record está en once días sin dormir) presenta desorientación, fatiga, deseo de dormir, pérdida de la concentración, alucinaciones visuales, y periodos de obnubilación, pero nada más grave; parece ser que hay periodos en el que el cerebro se defiende haciendo cortos periodos de microsueños durante los cuales el individuo está como despiestado.

En los últimos años se ha hecho un esfuerzo para intentar comprender las funciones del sueño y se ha llegado a la conclusión de que el sueño está al servicio de funciones biológicas no

TU FUTURO. NUESTRA MISIÓN.



A400M



A330 MRTT

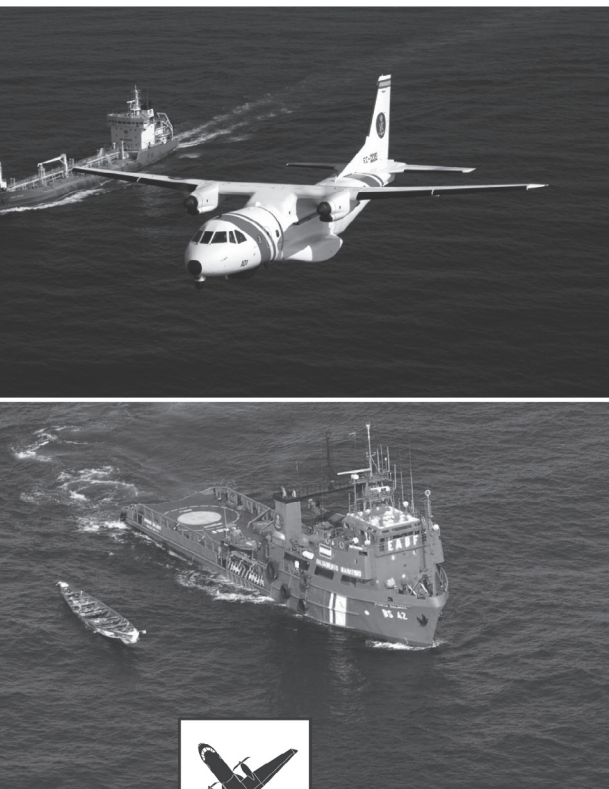
necesariamente relacionadas entre sí: tienen una función reparadora, favorece las funciones del sistema inmunitario, activa la plasticidad neuronal y, muy importante, interviene en la consolidación de la memoria. Referente a este último punto, hay que tener en cuenta que durante el sueño no se aprende nada, para aprender hay que estar en vigilia. Pero se ha visto que una tarea sencilla que se aprende a las 10 de la mañana, no se puede repetir a las 10 de la noche; pero sí se puede realizar por la mañana temprano una tarea aprendida a última hora de la tarde a la que ha seguido un periodo de sueño normal durante la noche. Incluso, las tareas no se pueden aprender sino ha habido una noche previa de sueño. Así es que durante el sueño se organiza la información que se tiene durante el día. Tanto el sueño no-REM como el sueño REM intervienen en este proceso de consolidación de la memoria con dos patrones de organización distinta, el sueño de ondas lentas es crucial para el aprendizaje, pero para ciertos tipos de aprendizaje es necesario el sueño REM pues hay funciones que se activan durante este periodo de sueño.

Por último, hacer un llamamiento a la responsabilidad individual de mantener un ciclo de vigilia-sueño organizado y regular, que es necesario aprender desde la infancia. La costumbre de los jóvenes de salir reiteradamente a las 12 de la noche y pasar la mañana durmiendo, produce trastornos muy importantes en el desarrollo cerebral, en la liberación de hormonas, especialmente

la hormona de crecimiento, y en el aprendizaje y la memoria (lo último que necesita un estudiante); a la larga produce también insomnio, y el insomnio es muy malo de tratar, obesidad y envejecimiento prematuro. Cuidemos nuestro sueño. ■

BIBLIOGRAFÍA

- Hobson JA (1988) *The Dreaming Brain*. Basic Books, Inc, Publishers. New York.
- Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM (2000) *Principles of Neuroscience*. Mc Graw-Hill.
- Kryger MH, Roth T, Dement WC (2005). *Principles and Practice of Sleep Medicine*. Elsevier Saunders, Philadelphia.
- Lesku JA, Roth TC, Rattenborg NC, Amlaner CJ, Lima SL (2008) Phylogenetics and the correlates of mammalian sleep: a reappraisal. *Sleep Medicine Reviews* 12: 229-244.
- Maquet P, Smith C, Stickgold R (2003) *Sleep and Brain Plasticity*. Oxford University Press.
- Reinoso-Suárez F, De Andrés I, Rodrigo-Angulo ML, Garzón M (2001) Brain structures and mechanisms involved in the generation of REM sleep. *Sleep Medicine Reviews* 5: 63-77.
- Vassalli A, Dijk D-J (2009) Sleep function: current questions and new approaches. *Eu J Neurosci* 29: 1830-1841.
- Zimmer DE (1988) *Dormir y soñar*. Biblioteca Científica Salvat.



CN235/C295

La familia de aviones de Airbus Military del siglo 21 presenta la más completa y versátil oferta del mercado. Establecemos constantemente nuevos estándares que permiten cubrir las cambiantes necesidades de las misiones de hoy en día.

Además de transporte táctico y estratégico, tenemos la capacidad de cumplir con los requerimientos de los gobiernos para satisfacer sus compromisos internacionales.

Proporcionamos soluciones tanto para misiones militares como de responsabilidad social, desde transporte de personal o carga, reabastecimiento en vuelo, ayuda humanitaria, salvaguarda de la paz, resolución de conflictos, vigilancia, control de fronteras, rescate, protección del medio ambiente y servicios de emergencia.

Con productos respaldados por la solidez de la red internacional de Airbus, nadie está en mejor posición para afrontar los retos aéreos del presente y del futuro.

IN MEMORIAM



JULIA MARÍA GONZÁLEZ PEÑA, científica pionera de la Microscopía Electrónica en España en el campo de las arcillas y los materiales cerámicos

Recentemente ha fallecido nuestra compañera Julia M^a. González Peña, precisamente cuando se cumplen los 40 años desde que una generación de recién licenciados en CC Químicas fundamentalmente de la Univ. Complutense, nos incorporamos al CSIC y al entonces recién creado Inst^o. de Cerámica y Vidrio en su sede inicial de la Calle Serrano junto a la sede del edificio central del CSIC. Hace 40 años llegamos a la sede de la calle Serrano como era lógico con muchísima ilusión y fundamentalmente con la idea de realizar la Tesis Doctoral y muchos de nosotros de dedicarnos al mundo científico o a la actividad investigadora, como luego de hecho así ha sido. Así pues, al inicio de nuestra carrera profesional, nos encontramos con Julia María González Peña, Dra. en CC Químicas, con la que compartimos muchos años de trabajo. Entonces, Julia M^a, como todos los compañeros del CSIC la conocía, ya destacaba por sus investigaciones en arcillas aplicadas al campo de la producción de materiales cerámicos. También en esa época iniciaba una ilusionada e importante etapa en su vida profesional, ya que estaba en esos momentos creando la línea de Microscopía Electrónica en el Instituto de Cerámica y Vidrio y la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio en la que participaba activamente desde su fundación.

Julia María González Peña nació en el pueblo burgalés de Revilla del Campo, en 1925 y se licenció en CC Químicas por



III Reunión Anual del año 1950 de Institutos del CSIC de Física y Química. Fotografía en la que pueden reconocerse destacados miembros ya históricos de la Ciencia Española de aquellos años. Julia M^a. González Peña aparece en la primera fila en el lugar 7º por la derecha de la foto.

la Universidad Central o Complutense de Madrid en el año 1948, doctorándose en la misma universidad en el año 1953. Entre 1942-52 fue becaria del CSIC, marchando a Bélgica y Holanda (Gante, Lovaina, Wageningen y Delft) a partir de 1953 para cursar estudios en las aplicaciones de la Microscopía Electrónica en el estudio de los silicatos.

Julia M^a. dirigió tesis doctorales (1978, 1980, 1983 y 1984) de compañeros nuestros también químicos que fueron pioneras en sus momentos respectivamente en: 1. porcelanas blandas apoyada por la empresa navarra Porcelanas del Norte, sita en Pamplona, que era una de las mejores fábricas de porcelana que había entonces en nuestro país. España . 2. La arcilla ilitica como componente de pastas para porcelanas electricas de elevada resistencia mecanica. 3. Nuevos vidrios y vitrocerámicos como absorbentes de neutrones lentos y 4. Pastas de cocción rápida para la fabricación de cerámicas de wollastonita-diatomita.

Promotora de la Sección de Materias Primas de la Soc. Esp. de Cerámica y Vidrio, organizando varios cursos en esta especialidad que dieron lugar a publicaciones monográficas. En el campo de la colaboración con sociedades científicas, no sólo destacó su trabajo en la SECV, pues además fue durante 12 años miembro de la Junta Directiva de la SE Microscopía Electrónica, siendo su Tesorera entre 1962-70. Es más, sacrificando parte de su actividad investigadora durante unos años realizó un muy estimado trabajo de servicio al funcionamiento del CSIC como Representante Electo del Personal Científico en sucesivas Juntas de Gobierno del CSIC.

Pero lo que más quisiera destacar desde esta Asociación Española de Científicos, como discípulo y compañero de Julia María González Peña, son sus aspectos humanos, pues Julia María era tremendamente humana, como lo demostró: siendo inmensamente luchadora y constante para superar las continuas dificultades que se encontró en aquellos momentos para desarrollar su labor como científica, desplegando una enorme ilusión, buen humor y optimismo en todo lo que hacía, y sobre todo porque amaba su carrera como química.

JESÚS M^a. RINCÓN



“Veo el universo un poco más pequeño”

La manera de ver el futuro puede ser mirando las estrellas. Sólo así comprenderemos la misión de SENER en ingeniería aeroespacial: hacer más accesible el universo. Y facilitar el vuelo de satélites y vehículos espaciales, como venimos haciendo desde antes de que el hombre pisara la luna. Y conquistar el cielo sobre las alas de nuestras soluciones aeronáuticas. O regresar a la tierra para desarrollar tecnologías y productos de concentración solar fotovoltaica, y tecnologías de defensa y seguridad. Incluso explorar lo más profundo del ser humano con nuestros avances en robótica médica, que amplían las posibilidades de la cirugía.

La manera de ver el futuro. SENER Aeroespacial



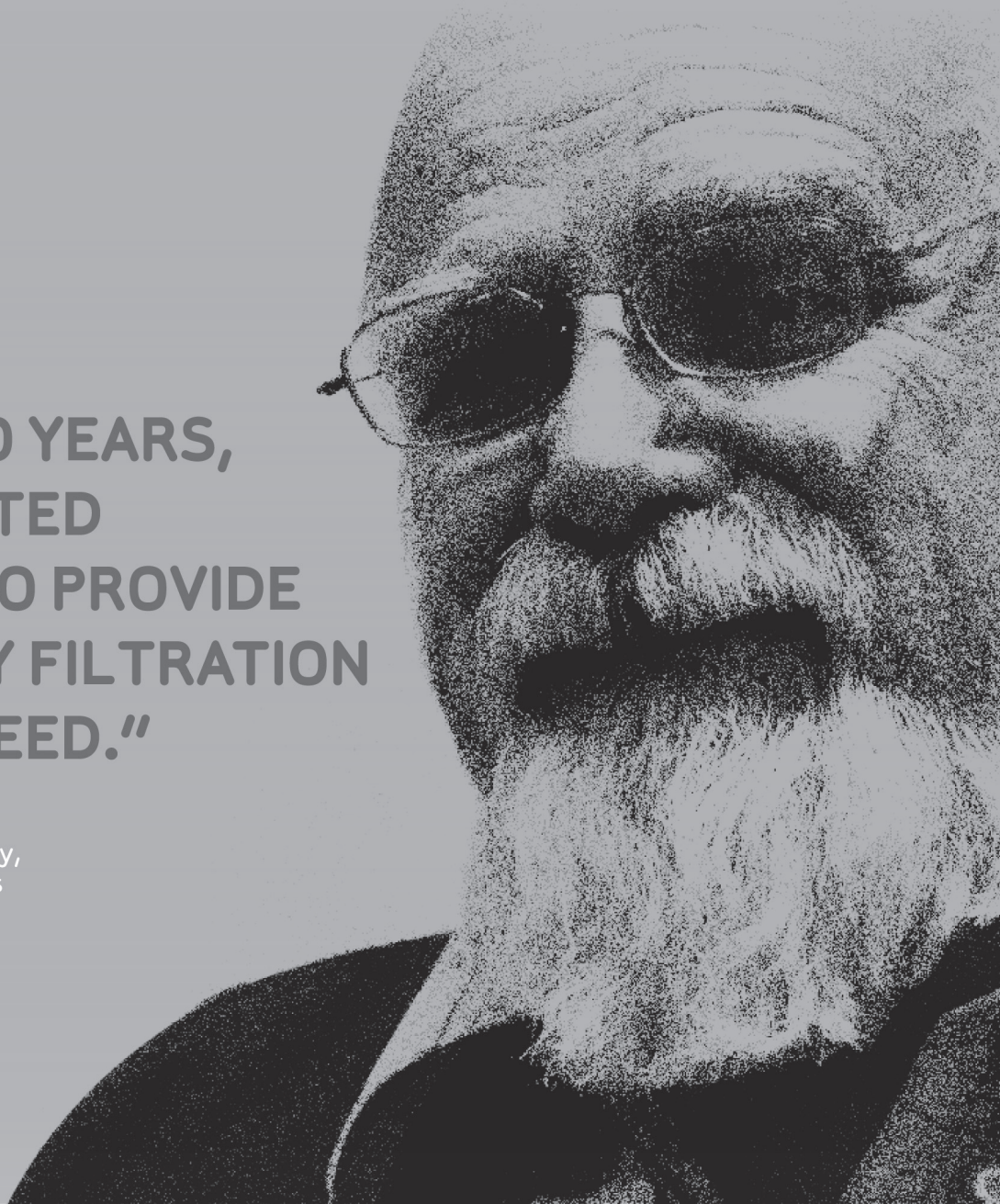
SENER

www.sener.es



**"FOR OVER 40 YEARS,
WE'VE TRUSTED
MILLIPORE TO PROVIDE
THE QUALITY FILTRATION
TOOLS WE NEED."**

James T. Voss, NRRPT, CHP
Fellow, Health Physics Society,
President of Voss Associates



Millipore is the source for filters you trust.

Because our Millex® syringe filters provide unsurpassed quality and consistency, numerous customers have specified the Millex brand in developing sample preparation methods. With over 50 years of filtration expertise, Millipore continues to set the industry standard for high-performance membrane technology and its application in sample preparation.



**ADVANCING LIFE SCIENCE TOGETHER®
Research. Development. Production.**



Go to the trusted source at
www.millipore.com/trustMillex