



red.escubre

Boletín de noticias científicas y culturales

Publicación Quincenal
Del 3 al 17 de junio de 2013

n° 15

¿Qué tienen que ver las matemáticas con la programación de computadores?

El pasado 10 de mayo la Universidad Complutense otorgaba sus dos primeros doctorados honoris causa en Informática a Tony Hoare que ejerció la mayor parte de su carrera académica en la Universidad de Oxford y que ya obtuvo el Premio Turing (el equivalente en Informática al Nobel) en 1980 y Mateo Valero catedrático de la Universidad Politécnica de Cataluña. Con este motivo el profesor Ricardo Peña, catedrático de la Facultad de Informática, reflexiona sobre el relevante papel que juegan las matemáticas en el desarrollo de los programas informáticos.



Centro de Láseres Ultrarrápidos de la Complutense: Pulsos de luz brillante que cambian nuestras vidas

Desde su invención a principios de la década de los 60 del siglo XX, el láser (del acrónimo inglés, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) ha cambiado nuestras vidas. Sus extraordinarias propiedades (monocromaticidad, intensidad, direccionalidad, baja divergencia y coherencia temporal y espacial, entre otras) multiplican las aplicaciones de esta maravillosa fuente de luz brillante en aspectos de nuestra vida cotidiana. Al desarrollo de nuevas fuentes láser y sus aplicaciones se dedican los científicos del Centro de Láseres Ultrarrápidos (CLUR) de la Universidad Complutense que dirige el profesor Luis Bañares.

Contenido

Ciencias

Centro de Láseres Ultrarrápidos de la Complutense: Pulsos de luz brillante que cambian nuestras vidas **2**

¿Qué tienen que ver las matemáticas con la programación de computadores? **6**

Fronteras del conocimiento: Sistemas de alerta temprana de terremotos **10**

Medio Ambiente

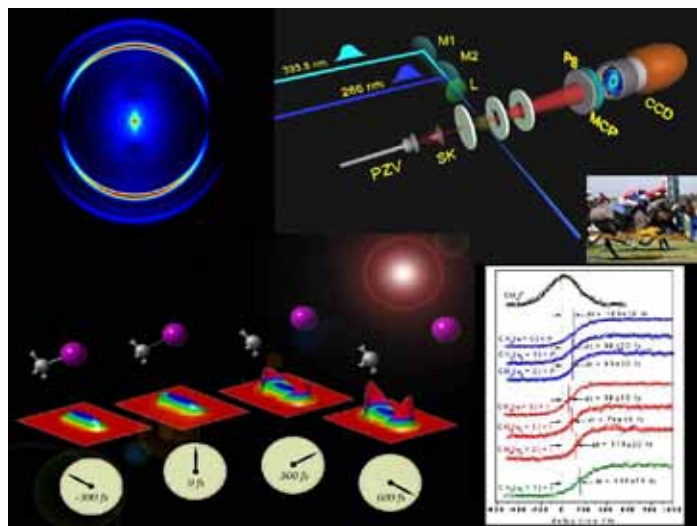
Cambio climático global y especialización ecológica de mamíferos **13**

Veterinaria

Nuevo producto antimicrobiano de importante aplicación en acuicultura **15**

Cultura

Tesoros de la Biblioteca histórica: La Celestina (Fernando de Rojas) **17**



Centro de Láseres Ultrarrápidos de la Complutense: Pulsos de luz brillante que cambian nuestras vidas

Desde su invención a principios de la década de los 60 del siglo XX, el láser (del acrónimo inglés, **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation) ha cambiado nuestras vidas. Sus extraordinarias propiedades (monocromaticidad, intensidad, direccionalidad, baja divergencia y coherencia temporal

impresoras láser u hologramas. También la biomedicina se beneficia de las aplicaciones del láser en el uso de bisturís de precisión en cirugía oftálmica, en sus aplicaciones en odontología o dermatología, o como herramienta de diagnóstico por imagen en microscopías de alta resolución, sin olvidar sus aplicaciones industriales, en corte, soldadura, taladrado y tratamiento superficial de materiales, o en metrología, inspección y control.

Al desarrollo de nuevas fuentes láser y sus aplicaciones se dedican los científicos del [Centro de Láseres Ultrarrápidos \(CLUR\) de la Universidad](#)

[Complutense de Madrid](#) (Figura

1) que dirige el profesor **Luis Bañares**.

Desde un punto de vista científico, el desarrollo de estos nuevos láseres ha adquirido un gran auge e importancia en muy diversos ámbitos de la química, la física, la biología, la biomedicina y la ciencia de materiales. Hoy en día existen láseres comerciales en los que el rayo láser está formado por pulsos con una duración extraordinariamente corta. De hecho, debemos decir ultracorta, pues nos referimos a una duración de varias milésimas de billonésimas de un segundo, escala temporal que

denominamos femtosegundo (un femtosegundo es 10^{-15} segundos, o escrito de un modo más prosaico, 0,000000000000001 segundos). Podemos entender un pulso de luz como un campo electromagnético oscilante a una determinada frecuencia portadora y cuya amplitud varía con el tiempo de acuerdo a una



Figura 1. Vista panorámica del Centro de Láseres Ultrarrápidos (CLUR) donde puede apreciarse el sistema láser de femtosegundos (abajo, izquierda), la instrumentación de cartografía de velocidades con imágenes de iones (arriba) y el dispositivo de micromecanizado (derecha, medio).

y espacial, entre otras) multiplican las aplicaciones de esta maravillosa fuente de luz brillante en aspectos de nuestra vida cotidiana. Pensemos en los punteros láser, lectores de códigos de barras, almacenamiento de información en discos compactos o DVD, fibras ópticas en telecomunicaciones,

envolvente que da forma al pulso. En los pulsos de los que hablamos, la envolvente tiene una duración de tan sólo unos pocos ciclos de la frecuencia portadora. Una peculiaridad de estos láseres pulsados es que concentran toda su energía en esos pulsos de luz ultracortos, por lo que inmediatamente se convierten en fuentes láser ultraintensas. Son estas fuentes láser pulsadas ultracortas ultraintensas las que están disponibles en el **Centro de Láseres Ultrarrápidos (CLUR)** de la Universidad **Complutense**. El **CLUR** no sólo dispone de la fuente láser pulsada de femtosegundos fundamental, sino además de todo un conjunto de técnicas asociadas que permiten, por ejemplo, generar radiación láser pulsada de femtosegundos a muy diversas longitudes de onda desde el ultravioleta hasta el infrarrojo, la caracterización de pulsos láser ultrarrápidos o el moldeado de pulsos láser de femtosegundos.

El empleo de pulsos de luz láser cada vez más cortos ha adquirido un creciente interés entre la comunidad científica para multitud de aplicaciones e investigaciones en muy diversas áreas científicas. En particular, es posible emplear estos destellos de luz tan cortos para observar procesos naturales muy rápidos, como por ejemplo, una reacción química. Una reacción química consiste en la ruptura y formación de enlaces químicos, una vez superados ciertos requisitos energéticos, y que involucran el movimiento y la reordenación de los núcleos de los átomos que constituyen las moléculas reaccionantes para dar lugar a las moléculas productos. Pues bien, empleando pulsos láser de femtosegundos en una secuencia de bombeo (iniciación) y sonda (seguimiento), es posible iniciar la reacción química con la luz (a lo que llamamos proceso foto iniciado) y seguir la ruptura y formación de los enlaces químicos por medio de un pulso de sonda, en tiempo real, es decir, según el fenómeno químico ocurre, pues la escala

temporal característica es precisamente la escala de los femtosegundos. De esta manera es posible congelar diferentes escenas de la reacción química, como si se tratara de una película a cámara lenta, y obtener fotogramas de las posiciones de los núcleos atómicos a medida que evoluciona la misma. Al fotografiar la reacción química, no sólo es posible obtener imágenes nítidas de los reactivos y los productos de reacción, sino además de las especies en tránsito o estados de transición [1]. Esta posibilidad de medir el tiempo en el que transcurre la reacción química y retratar todas las etapas intermedias, incluyendo el estado de transición, fue motivo para

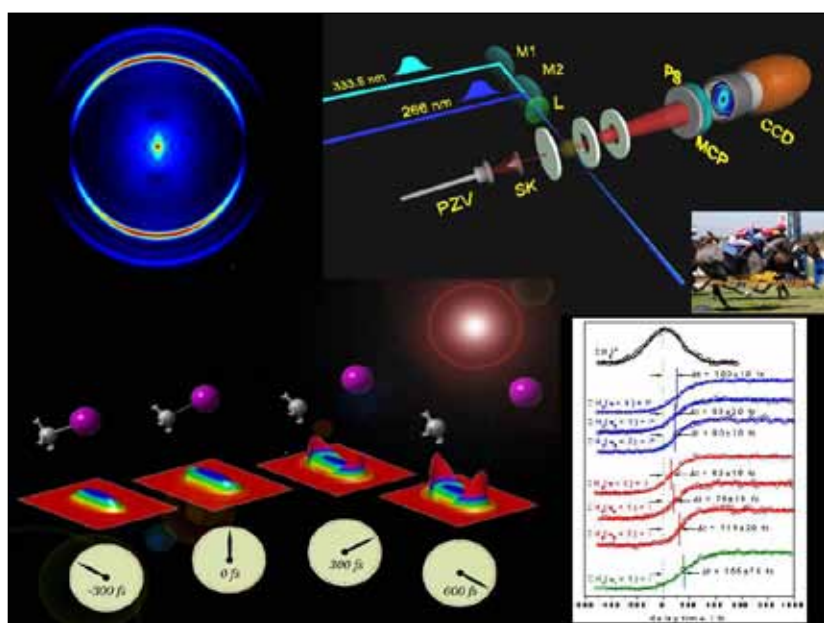


Figura 2. El cronometraje de procesos químicos ultrarrápidos (abajo, izquierda) se lleva a cabo por medio de la técnica de cartografía de velocidades con imágenes de iones combinada con pulsos láser de femtosegundos de bombeo y sonda (arriba, derecha), con la que se obtienen imágenes de iones (arriba, izquierda) en función del tiempo, que permiten medir los tiempos de reacción de múltiples canales a modo de foto finish (abajo, derecha).

otorgar el premio Nobel de Química 1999 a **Ahmed Zewail**, del Instituto de Tecnología de California, "por sus estudios de los estados de transición de las reacciones químicas por medio de la espectroscopia de femtosegundos" [2]. Hoy en día se habla, en general, de femtoquímica [3] para englobar toda la pléyade de aplicaciones a la química de los pulsos láser de femtosegundos.

En el Centro de Láseres Ultrarrápidos de la Universidad **Complutense** se dispone de tecnología punta para practicar femtoquímica en fase gaseosa y en fases condensadas. En particular, la técnica por excelencia instalada en el **CLUR** es la cartografía de velocidades con imágenes de iones de femtosegundos, que combina haces moleculares, espectrometría de masas y espectroscopia láser con pulsos de femtosegundos [4] para seguir reacciones químicas resueltas en tiempo en su escala natural, los femtosegundos. Se obtienen imágenes de iones de los productos de la reacción que informan sobre sus velocidades y sus distribuciones espaciales, aportando una información muy valiosa sobre el mecanismo reactivo, y todo ello, resuelto en su escala temporal natural. Se han podido así determinar tiempos de reacción de procesos de fotodisociación molecular que presentan diversos canales reactivos y certificar qué canal es más rápido y qué canal es más lento, a modo de foto finish en una carrera de caballos. En el ejemplo de la Figura 2, se muestra el cronometraje de diversos canales de fotodisociación de la molécula de yoduro de metilo desde estados electrónicos correspondientes a su primera banda de absorción en la región ultravioleta de 260 nm, siendo los productos de la reacción átomos de yodo

y radicales metilo.

Con estos pulsos láser ultrarrápidos ultraintensos combinados con imágenes de iones del **CLUR** es posible provocar fenómenos físicos y químicos exóticos tales como la explosión Coulombiana molecular, al generarse especies moleculares múltiplemente cargadas en presencia de un campo eléctrico ultraintenso [5], el control de procesos químicos por efecto Stark dinámico y emisión estimulada [6], el control coherente de procesos químicos por medio de pulsos láser moldeados [7], y un largo etcétera. En el caso de fases condensadas (disolución), nos encontramos de hecho en el medio en el que ocurren la mayoría de los procesos químicos y bioquímicos de interés en biología. Los pulsos láser ultrarrápidos han contribuido y contribuyen decisivamente a la elucidación de procesos primarios en fenómenos biológicos de gran trascendencia como la fotosíntesis o el mecanismo de la visión [8], que por analogía con la química, se ha pasado a denominar femtobiología. El **CLUR** dispone de técnicas de fluorescencia que permiten emplear pulsos láser ultrarrápidos para estudiar este tipo de fenómenos biológicos con resolución temporal de femtosegundos. En particular, hablamos de la combinación de pulsos de luz de femtosegundos

con técnicas ópticas no lineales, como la suma de frecuencias, que mezclan la fluorescencia fotoinducida emitida por una molécula con pulsos de luz coherente (la técnica se denomina en inglés fluorescence up-conversion).

Otro gran bloque de líneas de investigación que se desarrollan en el **CLUR** tiene que ver con la ciencia de materiales. El uso de pulsos láser ultrarrápidos para producir ablación en sólidos o simplemente producir modificaciones estructurales en los mismos es de gran interés entre una gran variedad de grupos de investigación, pues presenta toda una serie de ventajas frente a la ablación producida por otras fuentes láser. En particular, la síntesis de nuevos materiales o materiales funcionales es materia de

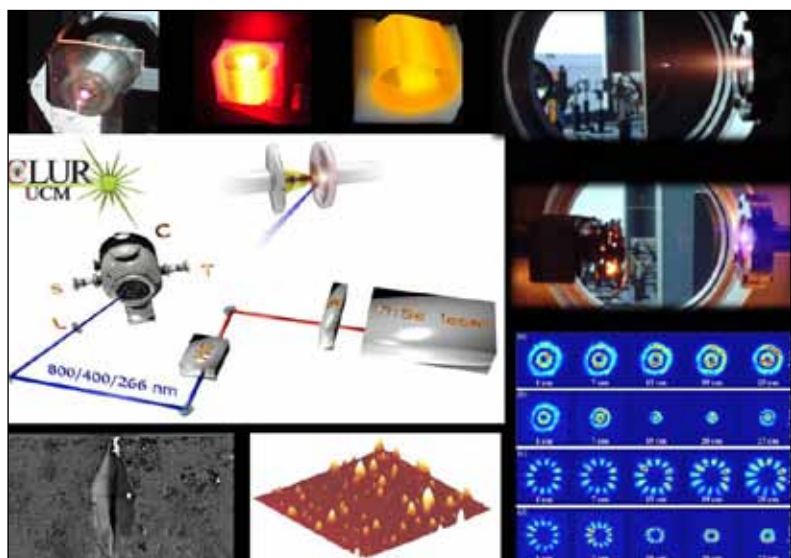


Figura 3. Instrumentación disponible en el CLUR para la deposición de materiales nanoestructurados por láser pulsado ultrarrápido y de micromecanizado de materiales con pulsos láser de femtosegundos, con múltiples aplicaciones en ciencia de materiales.

trabajos de investigación en el **CLUR**. Para ello se dispone de diversos dispositivos experimentales entre los que destacan el de deposición de materiales nanoestructurados por láser pulsado ultrarrápido y el de micromecanizado de materiales con pulsos láser ultrarrápidos (Figura 3). La ablación con pulsos láser de femtosegundos está especialmente indicada para la síntesis de nuevos materiales en forma de películas delgadas de material nanoestructurado depositadas sobre un sustrato en condiciones de atmósfera inerte o a vacío. Ejemplos de investigaciones realizadas en el **CLUR** en esta línea son los depósitos de materiales semiconductores como dióxido de titanio [9] o sulfuro de cadmio [10] o las películas nanoestructuradas de plata con propiedades plasmónicas [11] y la caracterización de materiales difractivos (vidrios sol-gel) con pulsos láser de femtosegundos [12]. En lo que se refiere a micromecanizado, se ha realizado corte de precisión en láminas de acero inoxidable, en tallas en diversos materiales como tungsteno o nitruro de silicio y formación de nanoespumados en material biológico, como gelatina o colágeno [13]. No podemos dejar de mencionar una línea de investigación muy activa en el CLUR relacionada con la simulación de radiación cósmica por medio de pulsos láser ultrarrápidos con lo que se estudia el efecto de dicha radiación sobre dispositivos electrónicos, como amplificadores operativos o memorias, investigación de gran importancia para comprobar la estabilidad de dispositivos electrónicos en el espacio [14].

En resumen, por su versatilidad y el elevado grado de control que se puede ejercer sobre sus propiedades, los pulsos láser ultrarrápidos ultraintensos disponibles en el **CLUR** de la Universidad **Complutense** pueden considerarse como una herramienta única para llevar a cabo investigación en química, física, biología, biomedicina y ciencia de materiales. El número y tipo de aplicaciones para los que esta fuente de luz pulsada es fundamental no deja de crecer y cada vez son más los científicos interesados en su uso para avanzar en sus investigaciones o proponer otras nuevas. La luz láser ultrarrápida

no ha hecho más que empezar a establecer nuevos retos científicos fascinantes que continuarán despertando la curiosidad y el esfuerzo de los investigadores en los próximos años.

REFERENCIAS

- [1] A. H. Zewail, **La formación de las moléculas, Investigación y Ciencias, Febrero 1991.**
- [2] http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1999/press.html
- [3] A. H. Zewail, **Femtochemistry, past, present and future, Pure App. Chem., 72, 2219 (2000).**
- [4] R. de Nalda, J. Durá, A. García-Vela, J. G. Izquierdo, J. González-Vázquez, L. Bañares, **J. Chem. Phys. 128, 244309 (2008).**
- [5] M. E. Corrales, G. Gitzinger, J. González-Vázquez, V. Lorient, R. de Nalda, L. Bañares, **J. Phys. Chem. A, 116, 2669 (2012).**
- [6] M. E. Corrales, G. Balerdi, V. Lorient, R. de Nalda, L. Bañares, **Faraday Discuss., en prensa (2013).**
- [7] G. Gitzinger, V. Lorient, R. de Nalda, L. Bañares, **en preparación.**
- [8] R. de Nalda, L. Bañares, **El láser en las ciencias de la vida, Revista Española de Física, 21, 36 (2007).**
- [9] F. Gámez, A. Plaza-Reyes, P. Hurtado, E. Guillén, J. A. Anta, B. Martínez-Haya, S. Pérez, M. Sanz, M. Castillejo, J. G. Izquierdo, L. Bañares, **J. Phys. Chem. C, 114, 17409 (2010).**
- [10] M. Sanz, R. de Nalda, J. F. Marco, J. G. Izquierdo, L. Bañares, M. Castillejo, **J. Phys. Chem. C, 114, 4864 (2010).**
- [11] O. Peña-Rodríguez, J. G. Izquierdo, A. Rivera, R. González-Arrabal, J. M. Perlado, L. Bañares, **en preparación.**
- [12] M. P. Hernández-Garay, O. Martínez-Matos, J. G. Izquierdo, M. L. Calvo, P. Vaveliuk, P. Cheben, L. Bañares, **Opt. Exp. 19, 1516 (2011)**
- [13] S. Gaspard, M. Oujja, R. de Nalda, M. Castillejo, L. Bañares, S. Lazare, R. Bonneau, **Appl. Phys. A, 93, 209 (2008).**
- [14] F. J. Franco, I. López-Calle, J. G. Izquierdo, J. A. Agapito, **IEEE Trans. Nucl. Sci., 57, 358 (2010).**

¿Qué tienen que ver las matemáticas con la programación de computadores?

El 10 de mayo, la Universidad **Complutense** investió Doctores Honoris Causa en Informática a los profesores **Tony Hoare**, que ejerció la mayor parte de su carrera académica en la Universidad de Oxford, y **Mateo Valero**, catedrático de la Universidad Politécnica de Cataluña. Ellos son los dos primeros Doctores Honoris Causa en Informática por la Universidad **Complutense**. El primero es una figura que goza de un gran prestigio internacional en el área de la programación, fue Premio Turing (el equivalente en Informática al Nobel) en 1980, miembro electo de la Royal Society británica en 1982 y nombrado Sir en 2000 por sus servicios a la educación y a las ciencias de la computación. Ha sido uno de los investigadores pioneros en aplicar teorías matemáticas a los lenguajes de programación y a la programación en general. Tomando como excusa este merecido nombramiento, estas líneas pretenden explicar, especialmente para las personas ajenas a la informática, en que medida las matemáticas juegan un papel relevante en la programación. Lo primero que he de decir es que los programas de ordenador, a pesar de ser productos de una ingeniería como lo son las carreteras, los puentes, o los motores de aviación, se diferencian de estos últimos en que no están constituidos por materia. Eso hace que no se desgasten por el uso y que nunca fallen, en el sentido que entendemos los fallos en otros productos. Una bombilla falla y deja de lucir porque sus materiales se han desgastado. Cuando

un programa deja de hacer la función pretendida, en realidad no falla, sino que pone de manifiesto un error, un error de diseño que siempre estuvo ahí pero que solo se manifiesta en algunas de sus ejecuciones posibles.

Ello nos conduce a otra característica peculiar de los programas: a pesar de estar definidos mediante un texto finito, sus ejecuciones posibles son usualmente infinitas, ya que han de funcionar para cualesquiera que sean sus datos de entrada, y las



Aristóteles, considerado el padre de la Lógica

posibilidades de estos suelen ser infinitas. Pensemos por ejemplo en un simple programa que clasifica alfabéticamente los registros de un fichero. Hay infinitos ficheros posibles. La consecuencia es que la ejercitación de los programas mediante juegos de prueba nunca podrá conseguir que alcancen una corrección total.

Desde finales de los años 60 se aplica la lógica matemática para razonar formalmente que un programa hará su función pretendida. El razonamiento se hace sobre el texto del mismo, y sus conclusiones son válidas para todas sus ejecuciones. Los predicados lógicos son muy útiles para describir con

precisión conjuntos de estados. Una terna $\{Q\} S\{R\}$, donde Q y R son predicados que nombran variables de S , y S es un fragmento de texto en un cierto lenguaje de programación, especifica que si S comienza su ejecución en cualquiera de los estados descritos por Q , terminará la misma en alguno de los estados descritos por R . Verificar un texto consiste en deducir predicados intermedios entre cada dos instrucciones y demostrar que cada terna intermedia $\{Q_i\}S_i\{R_i\}$ satisface la semántica del lenguaje.

Un problema nada trivial es demostrar que las ejecuciones terminan. Los

programas contienen numerosos bucles, y basta que uno solo no termine en alguna ejecución, para que el programa deje de hacer su función. Coloquialmente decimos que el programa "se ha colgado" y la solución suele consistir en reiniciar el programa, o a veces todo el ordenador. Ya **Alan Turing**, el padre de la computación, demostró en 1936 que probar la terminación de los algoritmos es un problema indecidible, es decir se encuentra más allá de la potencia de los algoritmos. Por tanto, no hay esperanza de que la verificación de la terminación se pueda delegar a una herramienta automática. Las hay, y muy buenas, para este problema, pero nunca resolverán la totalidad de los casos. Un programa termina si y solo si existe un orden bien fundado \leq en el que, para toda transición de estados $s \rightarrow s'$, se cumple $s' < s$. Encontrar dicho orden bien fundado es trivial en muchos casos pero a veces requiere abundante ingenio. Existen



Al-Khwarizmi, considerado el padre del Álgebra

programas muy sencillos para los que nadie ha podido demostrar si terminan o no. El estudio de los lenguajes de programación ha dado lugar a numerosas teorías matemáticas. Solamente su sintaxis, suscitó ya en los años 50 el nacimiento de la teoría de *lenguajes formales*, la creación de una jerarquía de gramáticas de creciente potencia expresiva, la llamada jerarquía de **Chomsky**, y el estudio de sus reconocedores, la teoría de *autómatas*. Además de estudiar su sintaxis, se han ideado numerosos formalismos para expresar con precisión su significado. Ello ha dado lugar a diferentes enfoques *semánticos*. Las semánticas operacionales tratan de modelizar las transiciones realizadas por los programas. Suelen consistir en relaciones definidas de un modo inductivo. Por ejemplo, el cuarteto $h, e \downarrow h', v$ trata de capturar la relación que la ejecución de una expresión e produce entre el estado inicial h de la memoria, el estado final h' , y el valor resultante v de evaluar e . Si conocemos todos los cuartetos posibles $h, e \downarrow h', v$, diremos que conocemos la semántica del lenguaje. Los casos base de la inducción son las expresiones más simples, y los más complejos se definen a partir de las relaciones para expresiones más simples. Las memorias h y h' se modelizan mediante funciones parciales entre variables y valores. Las semánticas *denotacionales* son más abstractas y no se ocupan del aspecto dinámico de los lenguajes sino de su significado matemático. Asignan a cada construcción sintáctica un objeto matemático preciso. Por ejemplo, una

expresión sintáctica e podría denotar una función de memorias a pares memoria-valor. Dicha función describiría, para cada memoria inicial, la memoria y el valor final resultantes de la ejecución de e . Los objetos matemáticos denotados por los programas pueden llegar a ser extraordinariamente complejos y son normalmente infinitos. El objetivo de estas

da lugar a un enfoque algebraico de los programas, muy útil para realizar transformaciones sobre los mismos que preserven su significado, o para comparar por igualdad programas sintácticamente distintos. Un ejemplo simple de tales leyes es el siguiente:

1. $S ; (T ; U) = (S ; T) ; U$ {ley asociativa}
2. **skip** ; $S = S ;$ **skip** {ley de elemento neutro}

donde S , T y U son programas. Se trata de leyes satisfechas por la composición secuencial ';' de dos programas, donde **skip** representa la instrucción nula. En el ámbito de la programación concurrente se han desarrollado notablemente estos enfoques algebraicos. La programación concurrente se ocupa de un tipo de programas muy particular, en los que varias tareas progresan simultáneamente y ocasionalmente interaccionan unas con otras. Es el tipo de

programas que gobiernan los sistemas operativos de nuestros ordenadores portátiles, los sistemas de telefonía, el control de los aviones en vuelo, o los protocolos de Internet. Normalmente no terminan, incluso su terminación puede ser un error. No hay acuerdo actualmente sobre una semántica denotacional única para tales lenguajes y los diferentes modelos satisfacen un número diferente de leyes algebraicas, según se quiera hacer una distinción más fina o más gruesa entre los procesos. Es decir, la pregunta $\{P=Q\}$, siendo P y Q dos procesos concurrentes, tiene una respuesta distinta en los diferentes modelos existentes para la concurrencia.

Órdenes bien fundados, lógica, gramáticas, autómatas, relaciones inductivas, dominios funciona-



El Profesor Hoare durante su investidura Honoris Causa

semánticas es definir con precisión el significado de los lenguajes, y hacerlo de una forma independiente de cualquier implementación. Se pretende con ello que todos los constructores de compiladores respeten dicho significado de forma que los programas continúen funcionando correctamente al emigrar de una instalación a otra. También se pretende que los programadores puedan razonar con confianza sobre los programas escritos con ellos.

Los programas son pues entes matemáticos, no muy diferentes de los números, sucesiones, matrices, funciones y espacios diversos que manejan los matemáticos. Se pueden definir operadores sobre los programas, igual que se hace sobre otras entidades y tiene sentido preguntarse por las *leyes algebraicas* que satisfacen tales operadores. Ello

les, álgebra, son algunas de las matemáticas que estudiamos y empleamos los informáticos para construir nuestros programas de modo fiable. Si tuviéramos que hacer un balance, diríamos que es mucho lo que se ha avanzado desde el surgimiento de los primeros lenguajes de programación de alto nivel, hace ahora unos cincuenta años, cuando la programación de computadores se consideraba poco más que un oficio, o como mucho un arte, pero ni por asomo una ciencia. Sin embargo es mucho más lo que queda por hacer. Por desgracia, todavía no es posible aplicar este conjunto de teorías en la escala requerida por los programas que construimos, muchas veces por encima del millón de instrucciones.

Necesitamos más teoría, más herramientas y lenguajes más simples. La creatividad va en estos momentos muy por delante de la formalización. Hemos generado innumerables ideas y paradigmas, lenguajes muy sofisticados y máquinas de una complejidad inusitada, y cada día aparecen ideas, máquinas y lenguajes que plantean nuevos retos. Sin embargo las teorías para lidiar con ellos de forma fiable van muy retrasadas. Nos encontraríamos en un estadio similar al de la Física antes de la aparición de la Mecánica Cuántica y del llamado

Modelo Estándar. Tras el surgimiento de la primera, el electromagnetismo, las fuerzas nucleares, el calor, la radiactividad y muchos otros fenómenos, pasaron a ser casos particulares de la teoría general. Tras el segundo, los centenares de partículas existentes quedaron explicados por apenas una docena de componentes más elementales.

Volviendo al principio de este artículo, precisamente el profesor **Hoare** ha dedicado los últimos veinte años a la búsqueda de una teoría unificadora de la programación. En su discurso nos anunció que había llegado a formular apenas dos docenas de leyes algebraicas que subsumirían muchas de las teorías actualmente aplicables a los programas. Estamos deseosos de conocer tales leyes y de comprobar si ponen orden en este campo ya demasiado diverso.

Ricardo Peña,

Catedrático de la **Facultad de Informática** de la
Universidad **Complutense**

Más información sobre la obra de Tony Hoare en:

<http://blogs.elpais.com/turing/2013/04/tony-hoare-doctor-honoris-causa-por-la-universidad-complutense.html>

Fronteras del conocimiento: Sistemas de alerta temprana de terremotos

Los terremotos son fenómenos naturales que pueden causar importantes pérdidas tanto en vidas humanas como económicas. No hace falta que un sismo tenga una magnitud grande para que cause cuantiosos daños, el ejemplo más reciente lo tenemos en el terremoto de Lorca de Mayo de 2011, que pese a su moderada magnitud $M_w=5.1$, produjo grandes daños. Ante estos riesgos se plantea la viabilidad de la predicción de los terremotos, de forma similar a como se realiza la predicción meteorológica. A partir de los años 70 del siglo pasado, hubo diversos intentos por desarrollar programas eficaces de predicción que resultaron fallidos. Hoy en día los esfuerzos se encaminan en la prevención, con el fin de minimizar y mitigar los efectos dañinos de un sismo. Una de las líneas de investigación más recientes en la prevención de terremotos son los llamados Sistemas de Alerta Sísmica Temprana (*SAST, Early Earthquake Warning System en inglés*) en la que tiene una activa participación el **Departamento de Geofísica y Meteorología** de la **Facultad de CC. Físicas** de la Universidad **Complutense**.

Los SAST son sistemas de alarma ante la ocurrencia de un terremoto destructor. Se basan en

el estudio de los primeros segundos de registro de la señal y se aprovecha el intervalo de tiempo entre la detección de la primera llegada de las ondas sísmicas a una estación cercana al foco y la llegada de las ondas más destructoras a un emplazamiento más lejano. La hipótesis básica es que en esos primeros segundos hay ya información sobre el tamaño del terremoto y por lo tanto de su capacidad destructora. Dependiendo de la distancia entre la estación más cercana y el emplazamiento a proteger, este intervalo puede variar entre algunas decenas de segundos a algunos minutos, lo que permite poder tomar ciertas medidas que aminoren los daños (figura 1)

El concepto de alerta temprana es común a muchos ámbitos del conocimiento: militar, sanitario (alertas epidemiológicas como la gripe A), social y por supuesto en el campo de los riesgos naturales y medioambientales. Un ejemplo bien conocido es la alerta volcánica ante la posible erupción de un volcán. La aplicación de la alerta sísmica temprana es similar: se da tras detectarse en una red sísmica un terremoto con posibles efectos destructores antes de que éstos se produzcan en emplazamientos más lejanos y siempre que cumpla unos determinados requisitos.

Los Sistemas de Alerta Sísmica Temprana están basados, por tanto, en modernos sistemas de información sísmica en tiempo real que permite dar una notificación rápida de los efectos potencialmente

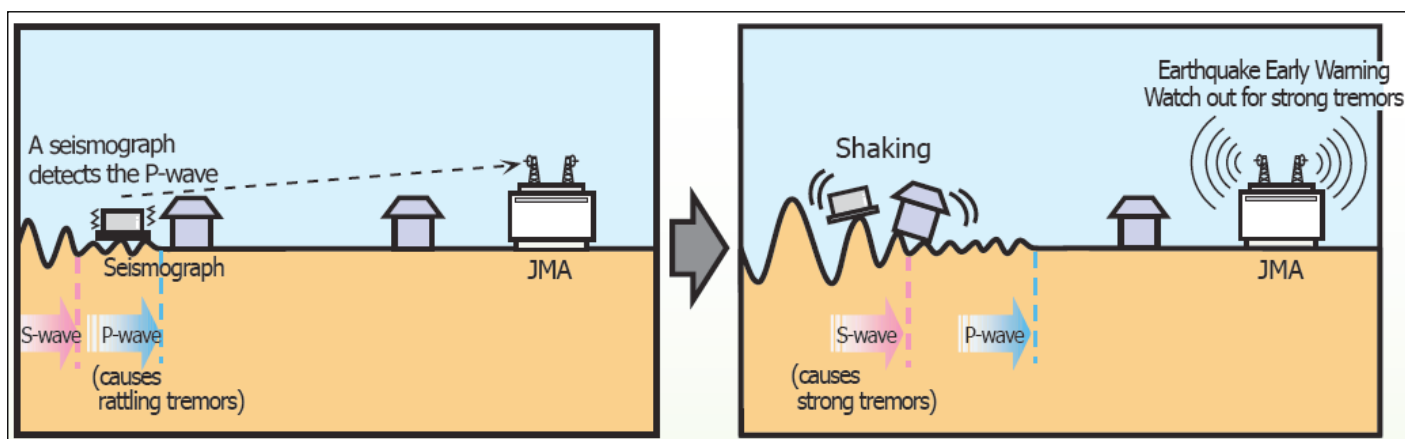


Figura 1.- Esquema de funcionamiento del Sistema de Alerta Sísmica Temprana (Japan Meteorological Agency, JMA, <http://www.jma.go.jp>)

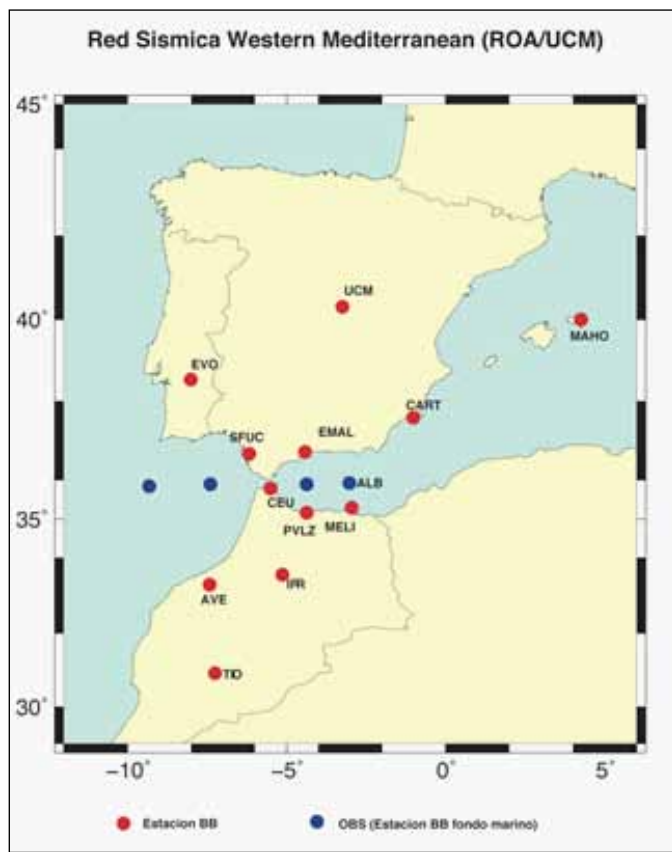


Figura 3.- Red sísmica Western Mediterranean (WM), en rojo estaciones sísmicas de banda ancha, en azul OBS

destructor de un terremoto, permitiendo mitigar algunos de los efectos devastadores del mismo. La escala de tiempo en la adquisición de datos sísmicos en tiempo real va desde unos minutos a horas. Si esta información puede adquirirse y analizarse en un periodo de tiempo de segundos a minutos, puede utilizarse con el propósito de dar una alerta temprana ante la ocurrencia de un terremoto. El ejemplo más reciente de la efectividad de los Sistemas de Alerta Sísmica Temprana, ha sido durante la ocurrencia del terremoto de Japón de 2011.

El Sur de la Península Ibérica es una zona sísmicamente activa, en la que ocurren sismos de gran tamaño, tanto en términos de intensidad como de magnitud: terremotos de Lisboa (1755), Málaga (1680) y Arenas del Rey (1884), todos ellos sentidos con intensidades IX-X (destrucción generalizada) en zonas del Sur de España. Los terremotos del área del Cabo San Vicente – Golfo de Cádiz, de los que el terremoto de Lisboa de 1755 es el ejemplo princi-

pal, son de especial interés para la implementación de las técnicas de SAST. En los últimos 50 años, en esta zona han ocurrido grandes sismos como los Golfo de Cádiz 1964 ($M_s=6.5$) o S. Vicente de 1969 ($M_s=8.1$) (figura 2). Pero incluso sismos de menor tamaño en esta área, pueden producir una considerable alerta social, al ser sentidos en una amplia región, este es el caso del sismo de 17-12-2009, que con una magnitud $M_w=5.5$, fue percibido en una amplia zona del SW de la Península Ibérica, llegando a sentirse en Madrid. Por tanto, el Sur de España y en concreto el área del Cabo S. Vicente – Golfo de Cádiz, es un buen candidato para estudiar la viabilidad de la aplicación de los SAST.

Como ya se ha mencionado un punto clave para poder utilizar un SAST es disponer de una red sísmica en la que las estaciones transmitan los datos en tiempo real. La red Western Mediterranean (WM) instalada de forma conjunta por la Universidad Complutense y el Real Instituto y Observatorio de la Armada de San Fernando, Cádiz (ROA) está formada por 13 estaciones sísmicas de banda ancha que transmiten sus registros en tiempo real al centro de datos, instalado en ROA y al **Departamento de Geofísica y Meteorología** de la **Facultad de CC. Físicas** de la Universidad Complutense (figura 3), con la participación del Centro de Investigación de Ciencias de la Tierra, GFZ de Postdam, la Universidad de Evora y el Institut Scientifique de Rabat. Además de esta infraestructura la Universidad



Figura 4.- Instalación de un OBS de la red FOMAR llevada a cabo por ROA y la Armada Española (patrullero "VIGIA")

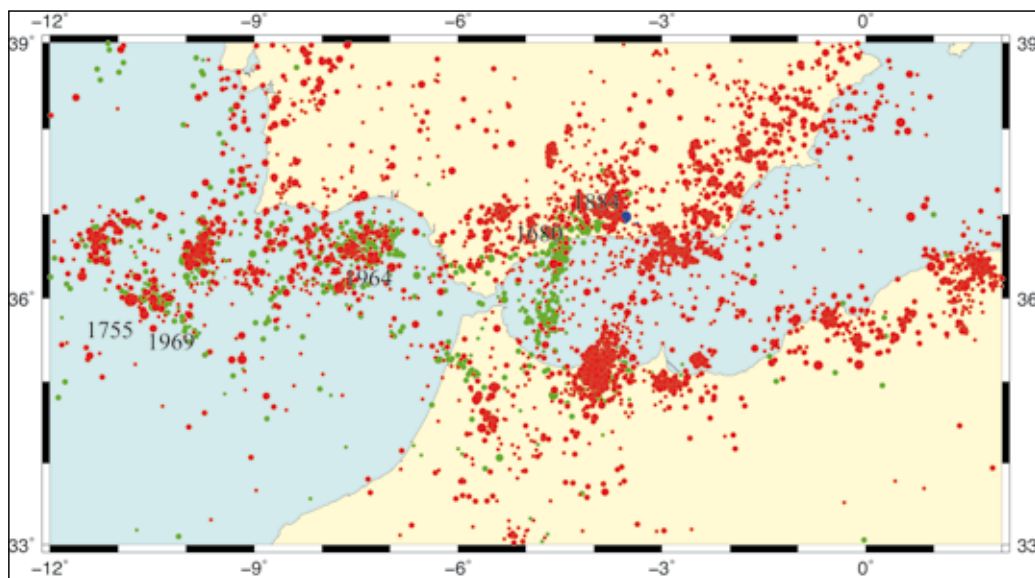


Figura 2.- Distribución de terremotos superficiales ($h < 40$ km, en rojo), intermedios ($40 < h < 200$ km, verde) y profundos ($h \approx 650$ km, azul) con magnitud igual o superior a 3.0, para el periodo 1960-2013 (Catálogo Sísmico, Instituto Geográfico Nacional)

Complutense participa en la red FOMAR de sísmógrafos de fondo marino (Ocean Bottom System, OBS en inglés) desplegada por ROA en el Golfo de Cádiz y mar de Alborán, además del Observatorio Geofísico de la isla de Alborán (ROA) en el que también participa la Universidad **Complutense** (figura 4)

El disponer de esta infraestructura ha permitido comenzar a desarrollar el proyecto ALERT-ES (Alerta Sísmica Temprana: Aplicación al S. de España) financiado por la el Ministerio de Ciencia e Innovación (CGL2010-19803-C03), siendo la Universidad **Complutense** coordinadora del proyecto, y en el que participan el Real Instituto y Observatorio de la Armada (S. Fernando, Cádiz) y el Institut Geologic de Catalunya (IGC). El objetivo del proyecto es estudiar la viabilidad de un SAST para la zona del SW de Iberia. En este proyecto e integrados en el equipo de la Universidad **Complutense** participan investigadores del Instituto Geográfico Nacional, Universidad de Nápoles, Ecole Normale Supérieure de Paris, Universidad de Evora e Instituto de Meteorología de Lisboa. En este proyecto, también contribuyen algunas estaciones

del Instituto Geográfico Nacional e Instituto de Meteorología de Lisboa. Además de este proyecto, la red WM contribuye con 4 estaciones al proyecto "Intergovernmental Coordination Group for the North-Eastern Atlantic and Mediterranean Tsunami Warning and Mitigation System" (ICGNEANTWS) de la UNESCO cuyo objetivo es desarrollar un sistema de alerta de tsunamis en el Atlántico norte y mar Mediterráneo.

Por último, hay que mencionar que en el marco del proyecto INNOCAMPUS 2010 (aprobado en BOE de 2 de noviembre del 2010) dentro del **Campus de Excelencia Internacional Campus Moncloa**, que comparten las Universidades **Complutense** y Politécnica de Madrid, está prevista la adquisición de 4 estaciones sísmicas de banda ancha que se integrarán en la red WM, reponiendo parte del material e instalando nuevas estaciones, como la prevista en Huelva de vital importancia para el proyecto ALERT-ES y así como de 3 OBS que se integrarán en la red FOMAR. Estas infraestructuras, permitirán que la Universidad **Complutense** pueda desarrollar una línea de investigación frontera del conocimiento: Sistemas de Alerta Sísmica Temprana y disponer de una infraestructura única en España.

Elisa Buforn

Dpto. de Geofísica y Meteorología Fac. CC. Físicas Universidad Complutense

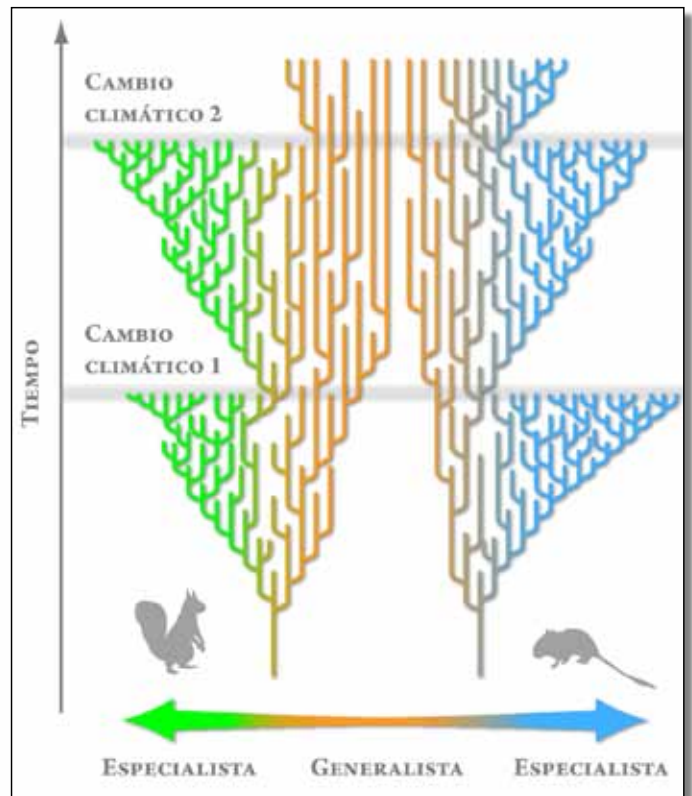
Más información en la página web del proyecto ALERT-ES: <http://www.alertes.roa.es>

Cambio climático global y especialización ecológica de mamíferos

Un equipo de investigación integrado por miembros del **Departamento de Paleontología** de la Universidad **Complutense** y del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) ha puesto de manifiesto la importancia de la amplitud ecológica de las especies como moduladora de su respuesta frente a cambios ambientales, y cómo la configuración de las faunas cambia radicalmente tras una crisis ambiental a gran escala.

Estamos muy acostumbrados a oír hablar de cómo los cambios en el clima tienen un gran impacto en la fauna. Sin embargo, esto es algo que se viene discutiendo desde hace más de un siglo y medio. **Darwin** y **Wallace**, los padres de la teoría evolutiva basada en la selección natural, ya tenían visiones encontradas sobre cuál es el principal motor de la evolución. Mientras que el primero abogaba por la importancia de la competencia entre especies, el segundo era más partidario de la influencia de las variaciones en el ambiente. Muchos de esos cambios, tanto climáticos como faunísticos, responden a procesos que suelen darse a escalas temporales muy amplias, y es difícil, si no imposible, entenderlos sin estudiar el registro fósil. Por eso, el incremento de los conocimientos sobre las faunas del pasado ha permitido aportar nuevas evidencias a esta vieja disputa.

La investigación llevada a cabo por el **Departamento de Paleontología** (www.pmmv.com.es) de la Universidad **Complutense**, el Departamento de Paleobiología del Museo Nacional de Ciencias Naturales y el Instituto de Geociencias del CSIC, se ha



Ejemplo gráfico de la hipótesis de "el uso de los recursos" desarrollada por la Dra. Elisabeth S. Vrba

centrado en el estudio de los cambios ecológicos que se han producido en las faunas de roedores de la Península Ibérica durante los últimos 5 millones de años (el Plioceno y el Pleistoceno). Se han escogido los roedores porque son especialmente sensibles a los cambios ambientales, siendo su registro fósil en España uno de los más importantes del mundo. Y nos hemos centrado en este periodo temporal porque incluye el antes y el después de unos de los acontecimientos climáticos más dramáticos de los últimos tiempos: las glaciaciones. En el Plioceno el clima global era bastante más cálido y húmedo que en la actualidad. Por buena parte de Europa, por ejemplo, se extendían bosques de tipo laurisilva, y

en la Península Ibérica dominaban los bosques subtropicales monzónicos. Pero hace unos 2.7 millones de años una fase de enfriamiento global dio lugar al inicio de la edad del hielo, caracterizada por esos pulsos periódicos extremadamente fríos conocidos como glaciaciones. En relativamente poco tiempo los ecosistemas terrestres cambiaron radicalmente. La extensión continental del hemisferio norte cubierta por glaciares aumentó significativamente y lo que antes eran bosques templados y húmedos fue sustituido por otros tipos de paisaje.

Pero, ¿cómo afectaron estos acontecimientos tan radicales a los roedores de la Península Ibérica? El estudio de más de cuarenta yacimientos ibéricos ha permitido comprobar que el grupo con los roedores más especialistas del Plioceno, los múridos (ratas y ratones), adaptados a las condiciones subtropicales de la Península Ibérica, fue el más perjudicado por este cambio climático. Su "excesiva" especialización en un determinado tipo de ecosistemas les impidió ocupar los nuevos ambientes que aparecieron derivados del nuevo escenario climático, entre ellos nuestros actuales bosques de encinas, coscojas y alcornoques. En ese momento de crisis ambiental, la mayoría de las especies que sobrevivieron eran generalistas ecológicos, a partir de los cuales tuvo que recuperarse un nuevo equilibrio entre fauna y clima. Particularmente, un grupo hasta entonces poco especializado ecológicamente y poco abundante en los ecosistemas del Plioceno se benefició enormemente del cambio. Este grupo son los arvicólidos, más conocidos como topillos, al que pertenecen hoy en día una decena de especies ibéricas y más de un centenar en todo el mundo. Los arvicólidos aprovecharon la oportunidad para adaptarse a los nuevos tiempos, y su éxito fue tal que se convirtieron en el grupo de roedores más exitoso de los ecosistemas septentrionales de Eurasia y Norteamérica. Mientras, los múridos sólo siguieron

siendo dominantes en los ambientes tropicales de África y el Sur de Asia.

Este trabajo se integra dentro del análisis de la influencia del cambio climático actual sobre la fauna, que es un tema de interés general. Sin embargo, se conoce muy poco sobre la manera en que se produce la interacción entre clima y fauna durante los periodos de cambio crítico. La importancia de los estudios basados en el registro fósil es vital para alcanzar este conocimiento, pues son los únicos que pueden aportar datos referentes a otras fases de cambio climático por las que ha pasado la Tierra. Este estudio es el primero que explora la especialización ecológica en especies fósiles

La respuesta de cada especie frente a los cambios climáticos es diferente dependiendo de sus características ecológicas, teniendo particular importancia su grado de especialización. La respuesta conjunta de la fauna puede dar lugar a asociaciones de especies muy diferentes a las existentes antes del cambio climático. Especial interés en el plano de la conservación de la fauna tiene la comprobación de que las especies especialistas (generalmente las que ya tiene más problemas de conservación) serán las más afectadas por el cambio climático global actual. La investigación se ha publicado en la revista *BMC Evolutionary Biology*.

Este tipo de trabajos que ayudan a corroborar hipótesis evolutivas son útiles a la hora de establecer políticas en materia de conservación de la fauna y los ecosistemas a largo plazo. Concretamente, podría aplicarse para predecir la respuesta de las especies actuales frente al cambio climático en función de su amplitud ecológica.

Más información

Autores: Ana R Gómez Cano, Juan L Cantalapiedra, Aurora Mesa, Ana Moreno Bofarull y Manuel Hernández Fernández

Nuevo producto antimicrobiano de importante aplicación en acuicultura

Un grupo de investigadores de la Universidad **Complutense**, pertenecientes al **Departamento de Sanidad Animal** y al de **Nutrición, Bromatología y Tecnología de Alimentos** de la Facultad de **Veterinaria**, en colaboración con la empresa biofarmacéutica Bionaturis han purificado y caracterizado una nueva bacteriocina (péptido antimicrobiano con actividad bactericida) que es altamente eficaz y selectiva en la inhibición del crecimiento de *Lactococcus garvieae*. Los trabajos iniciales sobre la protección de esta bacteriocina en infecciones experimentales en pez cebra, realizadas con la empresa Bionaturis (empresa biofarmacéutica importante en el ámbito veterinario que cotiza en el MAB), han resultado un éxito. Este producto podrá tener aplicaciones en sectores industriales como el lácteo, y especialmente en acuicultura como compuesto preventivo y terapéutico. Por este motivo, la Universidad **Complutense** junto con Bionaturis han solicitado una patente para la utilización de esta bacteriocina en acuicultura, dado su enorme potencial en la prevención de la lactococosis.

Javier Gallastegui, Director General de la compa-



Pez cebra infectado experimentalmente con *L. garvieae*, en el que se observan hemorragias oculares y en la zona abdominal

ñía Bionaturis, destaca de esta bacteriocina "su alta especificidad sin alterar el resto de la flora bacteriana beneficiosa para el organismo. Al mismo tiempo ofrece alternativas a los antibióticos tradicionales donde los fenómenos de resistencia preocupan y, mucho, a las autoridades sanitarias".

La lactococosis es una enfermedad de etiología



Instalación experimental para infecciones en trucha.

bacteriana producida por *Lactococcus garvieae*, que representa un importante problema sanitario y económico para la acuicultura española, principalmente para la producción de trucha. El rango de especies a las que *L. garvieae* es capaz de afectar no se limita a las especies acuícolas, estando también asociado con otros procesos clínicos como mastitis en ganado vacuno o procesos neumónicos en ganado porcino. Además, *L. garvieae* es una bacteria potencialmente zoonótica, que ocasiona en el hombre distintos procesos clínicos como endocarditis, e incluso septicemias.

La vacunación, y más recientemente la utilización de probióticos, se utilizan de manera rutinaria para la prevención de gran parte de las enfermedades bacterianas que afectan a los peces cultivados,



Foto izquierda, Exoftalmia bilateral de una trucha con lactococcosis.

Foto derecha, Necropsia de trucha con lactococcosis en la que se observa esplenomegalia, hígado hemorrágico y ascitis.

entre ellas la lactococcosis.

La caracterización de esta nueva bacteriocina ha sido fruto de los trabajos que en los últimos años vienen realizando estos profesores de la Facultad de **Veterinaria** de la Universidad **Complutense**, financiados con proyectos del Ministerio de Economía y Competitividad. "Esta fuente de financiación en investigación básica es de enorme importancia para el desarrollo de

la Ciencia en España y para la consecución de aplicaciones científicas que sirvan de utilidad a la industria y a la sociedad", apunta **Alicia Gibello** investigadora de la Universidad **Complutense**. Este estudio se va a publicar en la revista científica internacional de alto impacto *Applied and Environmental Microbiology*.

Autor: Alicia Gibello Prieto

La Celestina (Fernando de Rojas)

Se trata de la traducción de *La Celestina* realizada por **Christof Wirsung** editada en Augsburgo en 1520. Esta traducción alemana, además del valor literario, tiene también el tipográfico. Es un volumen en cuarto encuadernado en pergamino, de 316 páginas, impreso en letra gótica en el que destacan las bellas ilustraciones xilográficas, obra de uno de los grandes ilustradores de la época. De esta edición se conservan solamente 12 ejemplares, casi todos en bibliotecas centro europeas. El ejemplar de la Biblioteca Histórica es el único conservado en España. Perteneció a la biblioteca del Colegio Imperial de los Jesuitas, sin que haya podido reconstruirse la historia de su procedencia anterior, que **Menéndez Pelayo** atribuía a un jesuita alemán que lo trajera consigo.

Christof Wirsung (1500-1571)

realizó la traducción a partir de la primera edición en italiano (1506), que fuera traducida por **Alfonso de Ordóñez**. **Wirsung** debió conocer las traducciones italianas cuando fue enviado por su padre a estudiar a Italia en 1514. En 1520 vuelve a Augsburgo, donde colaborará con su padre y con **Sigismund Grimm** en la traducción de obras de autores de la Reforma, como Erasmo, **Ulrich von Hutten**, **Lutero** y **Melanchton**. **Wirsung**, que

estaba muy influenciado por el Renacimiento y la Reforma, realizó otra edición de *La Celestina* catorce años después, en 1536, que a diferencia de la primera, no estaba apenas ilustrada.

Son las bellas ilustraciones el principal distintivo de la primera edición alemana de *La Celestina*. El autor de las mismas es **Hans Weiditz**, dibujante natural de Estrasburgo, trabajó en Augsburgo ente 1516 y

1522, para trasladarse después a Estrasburgo. Muchas de sus obras se han atribuido a **Hans Burgkmair**, por tener un estilo muy similar. Se le conoce también como Maestro de Petrarca, por haber ilustrado sus obras. Para esta traducción de *La Celestina* realizó 26 ilustraciones a media página insertadas en el texto, y una a página entera, mostrando todas ellas escenas relacionadas con la narración. A éstas se suman las de la portada y el colofón, con los escudos de Lang y Wirsung (portada), y los de Grymm y Wirsung (colofón). Estilísticamente, estos grabados muestran un toque italiano, pero son netamente

alemanes en cuanto a su factura. Se caracterizan por su magistral tratamiento del paisaje urbano y de los espacios interiores.

La Celestina en alemán es un hermoso libro del Renacimiento que ha sido relativamente poco estudiado por la crítica. Solamente las xilografías merecen un estudio aparte, pero el estudio de la iconografía de las ediciones ilustradas de la Tragicomedia está aún por hacerse.



red.escubre

Boletín de noticias científicas y culturales

Si desea recibir este boletín en su correo electrónico envíe un mensaje a gprensa@rect.ucm.es