

neandertales habrían sido capaces de adaptarse eficazmente a las condiciones cambiantes del medio, lo que contradice cualquier hipótesis sobre la incapacidad de adaptación biológica o cultural de los neandertales por ser poblaciones supuestamente muy especializadas, adaptadas al frío de forma irreversible. Sin embargo, los neandertales se extinguieron hace

30.000 años, probablemente debido a una mayor eficacia demográfica y cultural de las poblaciones humanas modernas, con las que los neandertales no habrían podido competir.

ALEJANDRO PÉREZ PÉREZ  
Sección de Antropología  
del Departamento de Biología Animal  
Universidad de Barcelona

## Ordenadores y algoritmos de visión

*Un cibergeólogo para la exploración de Marte*

Que podamos encontrar vida en Marte dependerá de la evolución experimentada por este planeta a lo largo de los miles de millones de años de historia del sistema solar. Por eso, uno de los principales objetivos de las misiones consiste en determinar esa evolución. Mientras no se disponga de un modelo evolutivo, no sabremos si se dieron las condiciones adecuadas para que se desarrollara la vida y se conservaran indicios de ella.

El primer paso a dar es la exploración geológica de Marte. Necesitamos conocer la superficie y el subsuelo, cuándo, cómo y por qué se originaron las formas del relieve, y, sobre todo, qué cambios climáticos hubo en el transcurso del tiempo y si permitieron la existencia de vida. Multitud de preguntas cuya respuesta sólo depende de nuestra capacidad para extraer la información necesaria y establecer una hipótesis fiable.

Toda la información sobre la evolución geológica de Marte se encuentra registrada en sus rocas y sedimentos. Para leer ese registro pétreo creado por los procesos geológicos, basta aplicar las mismas técnicas que se emplean en la Tierra. El inconveniente estriba en llevar a Marte al geólogo con su instrumental.

En la Tierra, ante un afloramiento, el experto tarda escasos minutos en hacerse una idea del tipo de roca o sedimento, de las estructuras geológicas presentes (estratos, fallas o pliegues) y de su prelación histórica o cronología. Acotará en seguida las zonas donde extraerá muestras para su investigación posterior en el laboratorio, de acuerdo con el interés que le guíe y el modelo o hipótesis de partida en que se base.

En la actualidad, los robots son incapaces de reproducir el proceso interpretativo de un geólogo. Llevan cámaras para captar y transmitir a la Tierra las imágenes de lo que les rodea, y sensores y aparatos para analizar su entorno y remitirnos los

datos obtenidos. A su vez, se hallan a la espera de que se reciba la señal en la Tierra, sea analizada y se les expidan órdenes sobre el paso siguiente a emprender. Resulta evidente que un sistema con cierto grado de autonomía en el análisis e interpretación del entorno ahorraría mucho tiempo y dinero.

Unos investigadores del Centro de Astrobiología y el Instituto Geológico y Minero de España nos hemos propuesto desarrollar un sistema de ordenador personal portátil que realice autónomamente parte del proceso de análisis e interpretación geológica de imágenes. Para ello estamos elaborando un sistema de algoritmos de visión computerizada (AVC), que permitirá analizar las imágenes de un afloramiento rocoso como lo haría un geólogo. Estos AVC se han escrito en un lenguaje



El geólogo lleva puesta la parte portátil o "vestible" del sistema de cibergeólogo, mientras que el especialista en robótica supervisa el funcionamiento del sistema. Durante este ensayo (realizado el 3 de marzo de 2004), la parte robótica del cibergeólogo trabajó de forma autónoma, adquiriendo y procesando las imágenes de un mosaico vertical de la pared del escarpe, cerca de la laguna de El Campillo, en el Parque Regional del Sureste de Madrid. Obsérvese la ausencia de manchas oscuras cerca de la base de la pared. Aparecieron más tarde, después de las lluvias primaverales. El sistema del cibergeólogo las identificó como puntos interesantes durante el segundo ensayo.

de programación gráfica (NEO, de la Universidad de Bielefeld). Se persigue llegar a incorporar los robots para la futura exploración de la superficie de Marte.

Nuestro cibergeólogo consta de una cámara de vídeo robotizada conectada a un "ordenador vestible", es decir, un ordenador cuyos componentes se llevan incorporados en la vestimenta. La cámara realiza el barrido de imágenes para su posterior análisis automático por el ordenador, guiado por el geólogo. Ya hemos efectuado algunos ensayos de campo, con resultados satisfactorios. En 2004 instalamos el sistema frente a un escarpe con capas de yeso y arcilla próximo a la Laguna del Campillo, cerca de Rivas Vaciamadrid.

Mediante la realización de sucesivos ensayos, correcciones y mejoras, nos proponemos preparar al sistema del cibergeólogo para que desarrolle de forma autónoma algunas tomas de decisiones. Hasta el momento, ya se ha utilizado el sistema para desarrollar y comprobar el funcionamiento de algoritmos destinados a la adquisición robotizada de mosaicos de imágenes, segmentación de imágenes en tiempo real y determinación, en tiempo real también, de puntos de interés en los mosaicos de imágenes. Comprobada la validez y funcionamiento general, debemos ir mejorando la capacidad de discernir sombras y microtexturas, así como el control, que ha de ser más inteligente, de la lente de zoom de la cámara.

Algo hemos avanzado. En el segundo ensayo de campo, el sistema del cibergeólogo identificó dos pequeñas zonas de color más oscuro en

el afloramiento y procedió a estudiarlas. Posteriormente, al aproximarnos al afloramiento (ya sólo como geólogos, sin el ordenador), comprobamos que se trataba de dos zonas con mayor humedad por emanación de agua subterránea. Lo que encierra un interés notable. Si el sistema es capaz de localizar de forma autónoma la presencia de agua en sus primeros ensayos, su potencial para la exploración de Marte no hace más que multiplicarse.

Los primeros resultados de esta investigación ya fueron publicados en 2004 en la revista *International Journal of Astrobiology*. En el curso de este año, el sistema se utilizará en el análisis del interior de un sondeo en los depósitos biogénicos del río Tinto. Al mismo tiempo, estamos trabajando en los diagramas de flujo que definen el proceso lógico que subyace al análisis geológico básico de un afloramiento; queremos convertirlos en algoritmos AVC que pueda utilizar el cibergeólogo. Si nuestros trabajos de investigación llegan a cumplir las expectativas y objetivos que nos hemos propuesto, los futuros exploradores robóticos tendrán una capacidad de toma de decisiones cada vez más parecida a la de un humano.

ENRIQUE DÍAZ MARTÍNEZ  
Dirección de Geología y Geofísica  
Instituto Geológico y Minero de  
España, Madrid

PATRICK C. MCGUIRE  
y JENS O. ORMÖ  
Laboratorio de Geología Planetaria.  
Centro de Astrobiología  
(INTA/CSIC),  
Madrid

es decir, en otoño-invierno, pasó a florecer en primavera-verano, cuando los días se alargan en la península.

Entre los estímulos externos que determinan la floración, desempeña un papel destacado la temperatura. Sobre todo, en relación a la vernalización, que designa la necesidad de que la planta sufra un período largo de tiempo de bajas temperaturas como requisito indispensable para florecer en la estación siguiente. Lo observamos en numerosas especies de árboles; otro ejemplo son las variedades bianuales de la remolacha, que florecen en la primavera del año siguiente al período de vernalización.

La investigación reciente señala que la respuesta más extendida entre las especies, la más persistente también, a la floración viene inducida por la cantidad y calidad de la luz recibida en cada momento. Este parámetro guarda estrecha relación con el ciclo circadiano, un reloj interno que poseen casi todos los organismos, desde las cianobacterias hasta el hombre; consiste en un sistema interno de medida del tiempo con un período que ronda las 24 horas.

De la familia de la colza y la mostaza, *Arabidopsis thaliana* es una herbácea de ciclo anual, que florece preferentemente en días largos. Merced a su fácil manipulación, ciclo de vida bastante corto y, sobre todo, secuenciación de su genoma, se ha convertido en el modelo experimental habitual de la investigación del desarrollo vegetal.

Los estudios de genética clásica habían mostrado que los mutantes de la floración de *Arabidopsis* remitían a numerosos genes. Cabía, pues, la existencia de diferentes vías de activación o represión de la floración. A uno de tales mutantes se le denominó *constans*; la planta portadora del mismo parecía haber perdido la capacidad de detectar la longitud del día (fotoperíodo) y florecía de manera constante y retrasada, lo mismo en días largos que en días cortos.

Cuando se clonó el gen *CONSTANS* (*CO*), cuya mutación causaba el retraso floral, se descubrió que codificaba una proteína de características especiales y exclusiva de las plantas. La investigación posterior demostró que la proteína *CONSTANS* constituía un activador de la transcripción de genes integradores,

## CONSTANS

### El gen de la floración

Eligir el mejor momento del año para florecer es una decisión que reviste importancia decisiva para el éxito reproductor de la planta. Debe tomarla teniendo en cuenta estímulos externos e internos de diversa índole.

El interés por este proceso se pierde en la noche de los tiempos. Desde

que el hombre comenzó a recolectar primero, y cultivar luego, los vegetales de los que se alimentaba, supo qué plantas florecían en cada momento. Incluso las alteró en su propio beneficio. La variedad de arroz cultivada en el sur de España fue "iberizada" en los últimos dos siglos: una especie surasiática que florecía en días cortos,