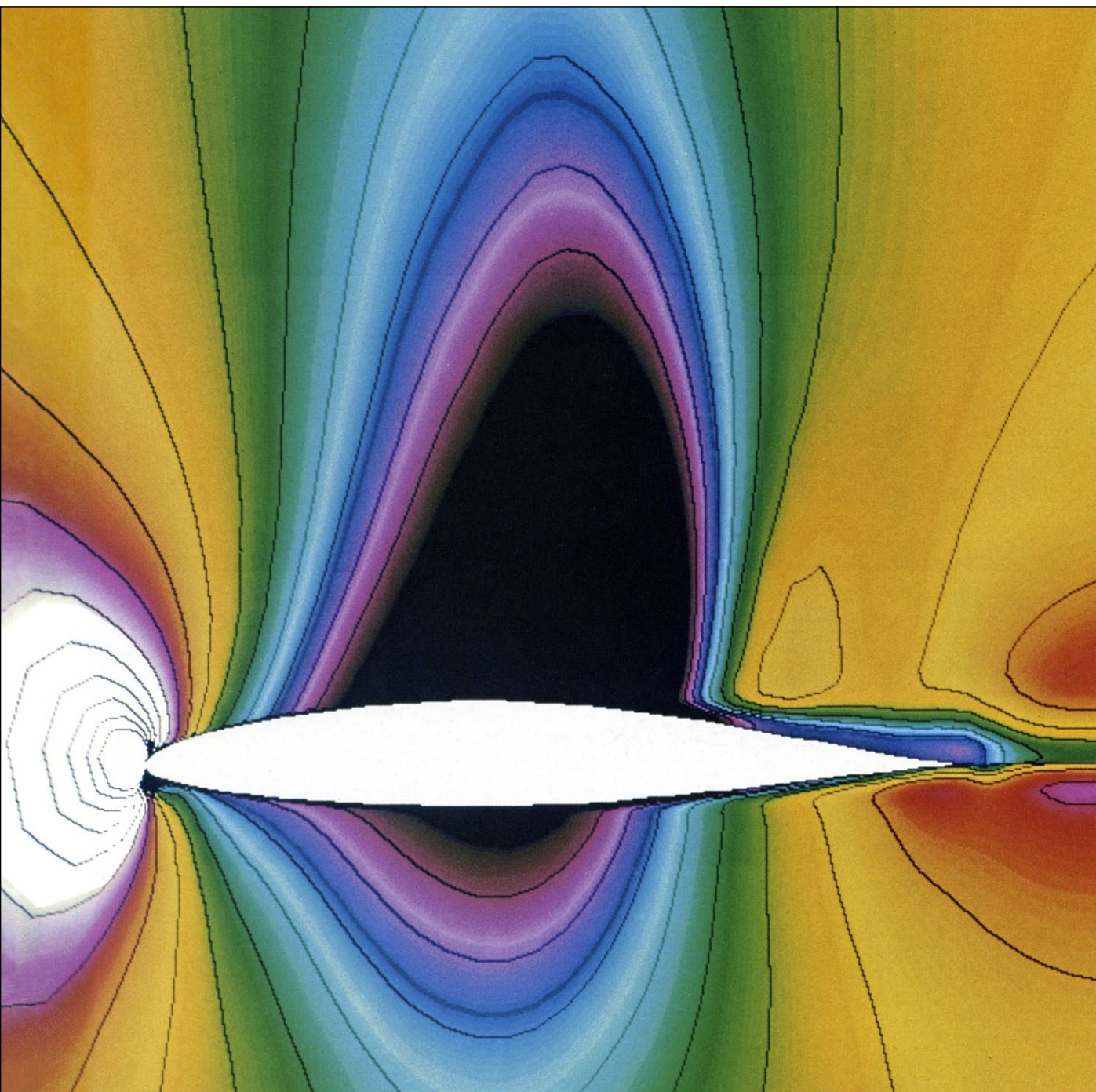


# INVESTIGACION Y CIENCIA

*Edición en español de*

# SCIENTIFIC AMERICAN



SUPERCOMPUTADORES

*Marzo 1982*  
300 PTAS.

granada en los jardines de la Ruzafa y en otros de su propiedad. Aquella especie de granada se difundió, el pueblo diseminó las plantaciones de esta índole y atribuyó su origen a Safr ya que, desde entonces y hasta ahora, es conocida como granada *safari*.”

El largo pasaje que acabo de traducir, tomándome con él ciertas libertades que pueden facilitar su comprensión, resulta suficientemente explícito y no requiere comentarios especiales. Sólo queda señalar que, en él, Abd al-Rahmán I, nostálgico de su patria siria, construye su palacio de la Ruzafa en Córdoba en recuerdo de la mansión y los jardines de su abuelo Hisham en Oriente. Si en la Ruzafa cordobesa se realizan ensayos de aclimatación de plantas orientales la causa es, una vez más, la nostalgia del monarca que pretende rodearse de las mismas plantas y frutas de su país de origen. No en vano será Abd al-Rahmán quien cante, de este manera, a una palmera que se alza en los jardines de su palacio: “¡Oh, palma! Tú eres, como yo, extranjera en Occidente, alejada de tu patria.” (Julio Samsó.)

#### *Carábidos del Pirineo aragonés*

**E**n la península ibérica, el abigarrado paisaje del Alto Aragón, con una notable variedad de climas locales y topoclimas del mayor interés, presenta condiciones inmejorables para estudiar las preferencias de residencia ecológica por parte de un notable número de especies de insectos que habitan también otras áreas geográficas de Eurasia o que son propias de la región (especies endémicas).

Entre los insectos coleópteros, comúnmente conocidos como escarabajos, los Carábidos, con unas 40.000 especies descritas, forman uno de los grupos más numerosos de insectos. Debido a sus exigencias concretas de condiciones ambientales y a su capacidad de reaccionar rápidamente ante una alteración del medio, así como por su gran independencia respecto a la vegetación –ya que en su mayor parte son carnívoros o en todo caso de alimentación variada–, los Carábidos son importantes bioindicadores de hábitats y de posibles interferencias humanas en los mismos. Además, su distribución espacial y temporal depende de factores abióticos que se relacionan preferentemente con la geomorfología, clima, microclima y tipo de cobertura vegetal.

Estos factores mencionados pueden reflejarse en una ecuación en la que intervienen ciertas variables climáticas

(precipitación, temperatura), a la que hemos dado el nombre de “índice de primavera” –este índice se obtiene al restar la media, dividida por diez, de las temperaturas medias en grados Fahrenheit de los meses de primavera (marzo a mayo) de la media de los índices de aridez mensuales (precipitación en milímetros/temperatura media en grados Fahrenheit)–, que no sólo tiene una alta correlación con la distribución espacial y temporal de los insectos, sino que también se relaciona bien con los distintos tipos de paisaje. Así, al dominio del quejigal le corresponden índices bajos (entre -3,4 y -2,8); en estas áreas, el árbol potencialmente dominante sería el quejigo, roble de pequeñas hojas que caen en marzo y adaptado a la sequía. Junto a él son muy abundantes dos especies indicadoras de su degradación: el pino y el boj.

Al piso montano le corresponden índices medios (entre -2,8 y -1,5), entendiéndose como piso montano el área cubierta por bosques característicos de lugares húmedos: bosques de caducifolios (hayas, avellanos, etcétera), bosques de hayas con abetos, abetales y pinares húmedos con musgo y helechos. Este piso limita en su menor altitud con el dominio del quejigal y en su mayor altitud con los dominios subalpinos y de pastos de gran altitud.

A los dominios subalpinos y de los pastos de gran altitud les corresponden índices altos (Candanchú, por ejemplo, +0,3); entendemos como dominio subalpino el área donde se instala el pino negro acompañado de sotobosque de azalea de montaña y arándanos. Junto con los pastos de altitud ocupa las zonas más altas del Pirineo.

Las especies animales y vegetales no se distribuyen uniformemente sobre la superficie terrestre. Cada una de ellas ocupa un área de extensión variable en la que coexiste con otras especies, con las que comparte exigencias concretas de factores ambientales que se reflejan en el índice de primavera (IP). Por tanto, la composición local de la fauna depende de las preferencias de los distintos grupos de especies por uno u otro IP (es decir, por unas determinadas condiciones ambientales). Las especies eurosiberianas, que se distribuyen por Siberia, Europa septentrional y media y que llegan a veces a África del Norte, prefieren IP medios, tolerando bien los altos. Las especies mediterráneas, cuya distribución está delimitada en su borde norte por la presencia de cadenas montañosas próximas a la costa y en su parte africana y oriental llegan hasta las extensiones áridas del Sahara y de la re-

HABITAT	INDICE DE PRIMAVERA	SUBGRUPOS DE ESPECIES									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bajo piedras, en áreas descubiertas y praderas	Alto	++	+	++	+	++		++	+		
	Medio	++	+	++	++						
	Bajo	+	+		+		++				
Entre las piedras mojadas de pequeño tamaño que se encuentran en los bordes de ríos y arroyos (graveras)	Alto								+		
	Medio							+	++	++	
	Bajo							+	++	++	++

+ Poco frecuente; ++ Abundante.

#### *Distribución espacial de los Carábidos considerando los distintos tipos de hábitat y la variación de los factores abióticos (reflejados en el IP)*

gión aralo-caspiana, prefieren los IP bajos. Las especies de Europa media y mediterránea, que además de ocupar el área mediterránea anteriormente citada se extienden más o menos ampliamente hacia el norte en la región euro-siberiana, prefieren índices de primavera medios, no tolerando los altos.

Los Carábidos pasan, a lo largo de su vida, por diversos estadios de desarrollo: huevo, larva, ninfa e imago (adulto sexualmente maduro y en general de corta vida). En IP altos, los Carábidos pasan al estadio de imagos durante los meses de julio y agosto; en IP medios durante los meses de junio, julio y agosto, y, en IP bajos, durante los meses de marzo y junio (disyunción temporal interesante para el estudio de los ciclos biológicos).

Al ser los Carábidos insectos que revelan gran tendencia a refugiarse bajo las piedras, el tipo de roca que aparece en un área determinada tiene un influjo significativo sobre su distribución: así, en granitos se reduce mucho el número de especies, mientras que en pizarras es rarísimo encontrar Carábidos, ya que los granitos al erosionarse originan bloques mucho mayores que los de caliza y arenisca, por lo que generalmente quedan *in situ* o no dejan entre ellos y el suelo un espacio apropiado para ser habitado; en cuanto a las pizarras, debido a lo riguroso del clima pirenaico, se desmenuzan casi totalmente originando superficies inhóspitas.

Los Carábidos altoaragoneses pueden dividirse en función de su hábitat en dos grandes grupos: los que habitan bajo piedras en áreas descubiertas y praderas y los que habitan entre las piedras mojadas de pequeño tamaño, que se encuentran en grandes cantidades en los bordes de los ríos y torrentes (graveras).

Las especies de ambos grupos se distribuyen, según sus preferencias, en los diferentes IP, dentro de un gradiente de variación de los mismos existente en

el Alto Aragón. Destaca el hecho de que algunas especies que habitan en graveras consigan vivir alejadas de este hábitat siempre que sea en IP altos (mayor humedad) y que, por el contrario, algunas especies que habitan comúnmente en praderas vivan exclusivamente en graveras en IP bajos y medios (mayor humedad por proximidad al agua del río o torrente, lo que suple las deficiencias de humedad atmosférica por pluviosidad).

En principio, parece que la elección de hábitat obedecería a una característica fisiológica relacionada con la humedad y propia de cada especie.

En el Alto Aragón occidental ha habido épocas en que las altas presiones, al desbordarse por el occidente europeo, bloquearon el paso de los ciclones atlánticos y favorecieron unas condiciones climáticas continentales caracterizadas por veranos secos y cálidos y primaveras frías. Estos períodos alternaron con otros de tipo oceánico, caracterizados por veranos húmedos y frescos y primaveras suaves. El último intervalo de clima tipo continental se extendió desde el año 1934 hasta el año 1967. La fauna de Carábidos sufrió alteraciones en la última alternancia de períodos climáticos (años 60 y años 70), viéndose reducido el número de ejemplares de algunas especies endémicas (típicas de la zona) e incluso llegando a desaparecer totalmente algunas de ellas. Se descarta la posibilidad de que este hecho se deba a una influencia humana cada vez mayor. No obstante, y en un futuro, una recolección masiva de ejemplares, que por su belleza tientan a los coleccionistas, podría, junto con los mencionados cambios climáticos, contribuir a la desaparición de endemismos que actualmente son ya escasos.

La interacción entre los Carábidos y otros grupos de animales (en particular con otros depredadores que se cobijan bajo las piedras) se hace más patente

en los fondos de valle calizos en los que el agua se filtra con facilidad evitando el encharcamiento. Aquí, los animales que se alimentan de plantas serían devorados, en general, por Formícidos (hormigas) y Carábidos (también por otros animales), a excepción de los pulmones, que serían protegidos por algunas especies de hormigas. Los Carábidos depredan hormigas y las hormigas a su vez atacan (con más efectividad) a los carábidos. Los Arácnidos (arañas y opiliones), que son hostiles a Formícidos y Carábidos, serían depredados por estos últimos. Las musarañas, aves y anfibios depredarían tanto a los invertebrados carnívoros como a los consumidores de vegetales. Este equilibrio puede decantarse a favor de la acción de los Carábidos o de los Formícidos en áreas con diferente geomorfología. Así, en los fondos de valle con facilidad de encharcamiento desaparecerían la mayor parte de los Formícidos y en las partes bajas de las laderas soleadas el número de Carábidos (tanto de especies como de individuos) sería muy bajo, mientras que la presencia de Formícidos es patente, al contrario de lo que ocurre en las partes altas de estas mismas laderas.

En el Alto Aragón podemos considerar dos grandes grupos de especies de Carábidos, teniendo en cuenta su distribución espacial. Estaría integrado el primero por la mayoría de especies de Carábidos altoaragoneses, que viven generalmente en áreas descubiertas y praderas, bajo las piedras, pudiendo diferenciarse varios subgrupos característicos [véase el esquema de la página 39]:

1) Especies que colonizan casi uniformemente todo el hábitat. Podemos considerar como típica la asociación: *Calathus melanocephalus* L. y *Calathus fuscipes* GOEZE. Otras especies de características similares serían: *Ophomus rufipes* DE GEER, *Harpalus punctipennis* MULSANT, *Harpalus affinis* SCHRANK, *Steropus madidus* FABRICIUS, *Pterostichus dufouri* DEJEAN, *Calathus erratus* C.R.SAHLBERG, *Amara aenea* DE GEER, *Cyrtosotus ulicis* PANZER. En general, estas especies evitan los IP más bajos.

2) Especies que colonizan todo el hábitat, volando al sol en praderas o en lugares arenosos al borde de los ríos. La más característica es *Cicindela campestris* L.

3) Especies con tendencia a colonizar todo el hábitat, pero evitando siempre los IP más bajos y con gran preferencia por refugiarse en los bosques: *Procrustes purpurascens* FABRICIUS, *Chrysocarabus splendens* OLIVIER, ambas

asociadas. Junto a éstas podemos considerar también a *Abax ater* VILLERS.

4) Especies con tendencia a colonizar todo el hábitat, pero evitando generalmente IP altos y los más bajos: *Peryphus hypocrita* DEJEAN, *Peryphus brunneicornis* DEJEAN, *Agonum mulleri* HERBST, *Anchomenus dorsalis* PONTUPPIDAN.

5) Especies que viven en IP altos. Las más representativas serían: *Ceche-nus pyrenaeus* SERVILLE, *Haptoderus sagittalis* JEANNEL, *Percosia equestris* DUFTSCHMID, *Pelor obesus* SERVILLE.

6) Especies que viven en índices de primavera bajos: *Brachynus ganglbaueri* APFELBECK, *Brachynus explode* DUFTSCHMID.

7) Especies que viven en IP altos y también en IP medios y bajos, pero en este último caso habitan exclusivamente graveras junto a arroyos y ríos: *Peryphus pyrenaeus* DEJEAN, *Principidum bipunctatum* L., ambas asociadas. *Nebria lafresnayei* SERVILLE, *Poecilus lepidus* LESKE, *Cymindis humeralis* FOURCROY.

Tendríamos, por otro lado, otra serie de especies, que habitan entre las piedras mojadas de pequeño tamaño que se encuentran en grandes cantidades en los bordes de arroyos y ríos (graveras). Podemos diferenciar también varios subgrupos:

8) Especies más o menos extendidas en el hábitat aunque en índices de primavera altos habitan generalmente bajo piedras: *Peryphus decorus* ZENKER, *Peryphus testaceus* DUFTSCHMID, ambas asociadas. Estas especies que habitan graveras, pueden elegir entre seguir en graveras o habitar bajo piedras en prados en zonas con IP alto.

9) Especies que viven en zonas con IP medio y bajo: *Peryphus atrocoeruleus* STEPHENS, *Peryphus coeruleus* SERVILLE, ambas asociadas. *Agonum cyaneus* DEJEAN.

10) Especies que habitan zonas con IP bajo: *Synechostictus ruficornis* STURM.

En el Alto Aragón, con una superficie aproximada de 4500 kilómetros cuadrados, se han citado 195 especies de Carábidos, de las que 23 son endémicas del Pirineo. (A. Palanca Soler y C. Castán Lanasa.)

Año de  $10^{16}$

Los cosmólogos han extrapolado las leyes de la física hacia atrás en el tiempo hasta una pequeña fracción de segundo tras la gigantesca explosión que originó nuestro universo. Menos

suerte han tenido a la hora de extrapolar esas leyes hacia el futuro más remoto. Don N. Page y M. Randall McKee, de la Universidad estatal de Pennsylvania, acaban de describir cómo ven ellos el final del universo si continúa, indefinida, su expansión. Hablan de un cuadro evolutivo frío, difuso y caótico, donde el desorden aumenta sin cesar. El trabajo en cuestión lo han presentado en un número reciente de *Physical Review*.

Transcurrirán por lo menos  $10^{16}$  años antes que llegue el universo de Page-McKee. Este futuro, inimaginablemente lejano, ha entrado en el terreno de la especulación gracias al desarrollo de teorías sobre la desintegración de partículas elementales. Para hacernos una idea de cuán remoto se halla todavía baste compararlo con la edad del universo: entre 8000 y 18.000 millones de años, es decir, unos  $10^{10}$  años.

Page y McKee suponen que la densidad a gran escala de la masa en el universo es la misma en todas direcciones y lo suficientemente pequeña como para que la expansión continúe indefinidamente. Cuando haya cumplido su  $10^{29}$  aniversario, el universo habrá expandido 10 billones de veces su volumen actual. Para entonces, las estrellas y galaxias habrán cedido a fuerzas gravitacionales internas que las harán colapsar hasta formar enanas negras, estrellas de neutrones o agujeros negros. El colapso puede absorber masas enormes, del orden de supercúmulos de galaxias, que crearán ingentes agujeros negros. Pero el modelo de Page y McKee (con una densidad global uniforme) supone que no se formarán agujeros negros con masa superior a un supercúmulo. Los conglomerados de masas existentes en esta fase, instados por fuerzas gravitacionales, pueden ser muy grandes, pero no sobrepasarán una masa total de 100 billones de veces la solar.

Cuando comience tan extraña era, la materia que haya sido atrapada por algún agujero negro se desintegrará. Argumentos teóricos, sujetos hoy a la corroboración experimental, sugieren que el límite inferior de la vida media del protón es de  $10^{29}$  o  $10^{30}$ . El neutrón, y demás partículas pesadas clasificadas como bariones, también se desintegrarán. Así pues, toda la materia que se encierre en los fríos restos de estrellas, y la que haya quedado desparramada como gas interestelar, se transformará en una sopa de electrones, positrones, neutrinos, fotones, gravitones y hasta cabe que otras partículas estables.

El electrón y el positrón son antipar-