

# TEMAS 74

INVESTIGACIÓN  
**Y CIENCIA**

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

Investigación y Ciencias.es

## TÉCNICAS

Las artes del  
experimentador  
habilidoso

## FENÓMENOS

Fractales,  
electricidad  
y magnetismo

## INSTRUMENTOS

Construcción  
de péndulos  
y telescopios

## APLICACIONES

Cómo  
aprovechar  
la energía del Sol

6,50 EUROS

# TALLER *y* LABORATORIO

Para científicos aficionados



4.º TRIMESTRE 2013



# INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

## MENTE y CEREBRO



Suscríbese a la versión **DIGITAL**  
de todas nuestras publicaciones  
y acceda al contenido completo  
de todos los números (en pdf)\*

[www.investigacionyciencia.es](http://www.investigacionyciencia.es)

\* Ejemplares de IyC disponibles desde 1996 y el archivo completo de MyC, TEMAS y CUADERNOS

# Presentación

por Mercè Izquierdo Aymerich

**E**sta monografía dedicada a la sección «Taller y laboratorio» no solo ofrece informaciones interesantes sobre posibles experimentos en diversos dominios de las ciencias. También demuestra que estos pueden llevarse a cabo fuera de los circuitos oficiales de las instituciones de investigación.

Defiende que hacer ciencia se halla al alcance de todos y que vale la pena la aventura. El camino lo indica Marc Boada, autor de todas las propuestas, que disfruta haciendo ciencia y hace participar a los lectores de sus vivencias; les anima a reproducir sus experiencias y les advierte de los puntos difíciles o arriesgados de su trabajo, que requiere una gran habilidad. La mirada de conjunto a la publicación me sugiere algunos comentarios.

En primer lugar, se recupera felizmente para los lectores la alianza entre ciencia y tecnología, y su desarrollo a lo largo de los tiempos, aspectos que la orientación falsamente teorizante de algunas actuaciones docentes puede habernos hecho olvidar; ello ocupa un lugar destacado en diversos artículos de *Técnicas y procesos*, y se intuye también en los otros apartados. Por más sublimes que nos parezcan algunas formulaciones teóricas de la ciencia —que lo son—, su origen reside en el tenaz esfuerzo de hacer más habitable el planeta donde vivimos: en la paciencia y habilidad de quienes lucharon para tener y conservar el fuego, para ayudar a nacer y a morir, para disponer de materiales más útiles y más bellos, y, en conjunto, para disfrutar de una vida mejor. Es este un trabajo ingenioso, llevado a cabo por manos que piensan, que requiere una actitud atenta a los fenómenos que se producen de forma espontánea para hacer con ellos algo nuevo, difícil, emergente, que confiere interés a la aventura humana de habitar el planeta. Una transformación para la cual se necesita inventar artefactos, construirlos, perfeccionarlos, hacerlos funcionar. Y también un esfuerzo por comunicar y reproducir esta actividad, del cual surgirán los lenguajes progresivamente especializados y abstractos que se confunden a veces con la esencia de la ciencia.

Craso error es creer que esos lenguajes comunican algo a quienes no se han enfrentado a la dureza de la interacción con la naturaleza, lo que requiere la invención y construcción de aparatos complejos. Son los experimentadores quienes han ido proporcionando modelos del mundo físico y biológico, hechos a imagen y se-

mejanza de las intervenciones que pudieron llevar a cabo. Sin conocer los entresijos de las acciones experimentales que aquí se proponen, no puede atribuirse un significado acertado a *magnetismo, calor, electricidad, energía o gravedad*, por citar algunos de los términos que aparecen. Por ello se equivocan, y mucho, los que creen que se puede enseñar ciencia sin experimentar y consideran que no pueden «perder tiempo» en el laboratorio en los últimos cursos de un bachillerato que consta solo de dos.

En segundo lugar, en estos artículos se nos hace partícipes de la satisfacción ante lo que podemos llegar a hacer, ante lo que la naturaleza nos ofrece como respuesta a estos desvelos. No se escamotea por falsa modestia la dureza del trabajo realizado: es difícil llegar a reunir tesoros de la arena, generar fuego u obtener pruebas del comportamiento de unos geles que se escapan del esquema simplista de considerar que los materiales son o sólidos o líquidos o gases. Pero vale la pena intentarlo; cuanto más difícil parece, mayor es la hazaña de obtener el resultado esperado. Porque el trabajo científico es una tarea que se emprende con ilusión, de manera proactiva, confiada y valiente; comunicar las dificultades del proceso es una manera de hacer participar de la satisfacción de haber conseguido algo que podía haber salido mal, aunque no haya sido así.

El tercer aspecto que cabe resaltar es el compromiso por un futuro sostenible.

Con creatividad, inventiva y una gran habilidad técnica, Boada ahonda en la construcción de circuitos energéticos impulsados por el Sol.

Se nos ofrece una imagen más humilde de la ciencia, algo muy necesario. El desarrollo científico que se ha alcanzado en la actualidad se nos presenta como si fuera definitivo e indicador de una excelencia alcanzada por personas excelentes, sin más. Pero cuando nos adentramos en las propuestas de «Taller y laboratorio» este espejismo se disuelve: se ve claramente que, al hacer ciencia, nada se nos regala, todo necesita una cuidadosa preparación: medir, calcular, poner en juego conocimientos muy diversos que indican largas horas de estudio y que requieren contacto con personas de distintas profesiones. El apartado *Medida y observación* lo ilustra con claridad.

El mensaje anterior es importante, porque el conocimiento científico suele considerarse difícil y abstruso; interesante solo para unos pocos, que son los únicos que logran entenderlo —aunque, eso sí, lo acepten de manera acrítica—. Esta visión hace que numerosas personas abandonen la capacidad de pensamiento curioso, creativo y crítico, y se pierdan innumerables posibilidades de disfrutar, poniendo en juego su mente práctica y racional. (A ello contribuyen, y mucho, las estrategias docentes que prescinden del laboratorio y convierten la enseñanza en un discurso sin sentido.) Por ello me parece muy oportuno agradecer el esfuerzo divulgativo de esta y todas las publicaciones de Prensa Científica, un proyecto editorial basado en la convicción de que la ciencia es importante, interesante y necesaria.

Los lectores de esta monografía se darán cuenta de que el futuro depende de que nos impliquemos en ese esfuerzo de gestionar correctamente los procesos que la naturaleza nos regala, y de que lo hagamos con objetivos humanos, ingeniosos y solidarios. Un compromiso que va más allá del hipotético mundo impersonal y clarividente al que algunos llaman, erróneamente, ciencia.

---

*Mercè Izquierdo Aymerich* es catedrática de didáctica de las ciencias en la Universidad Autónoma de Barcelona. Ha centrado sus investigaciones en las aportaciones de la epistemología y la historia de la ciencia a la enseñanza de la química, con especial atención en el lenguaje.





TEMAS 74

4º trimestre 2013  
[www.investigacionyciencia.es](http://www.investigacionyciencia.es)

# TALLER *y* LABORATORIO

Por Marc Boada Ferrer





ANTONI PALOMO

## 4 Introducción

### TÉCNICAS Y PROCESOS

---

- 6 Obtención del fuego
- 9 Obtención de compuestos de potasio
- 12 Tesoros en la arena
- 16 Minería artesanal
- 19 Arqueometalurgia
- 22 Horno de arco eléctrico
- 25 Técnicas de copiado y reproducción
- 28 Abrasión y desgaste
- 31 La máquina de Draper

### MEDIDA Y OBSERVACIÓN

---

- 36 Esclerómetro de H. B. Saussure
- 39 Construcción de un dilatómetro
- 43 Péndulo gravimétrico
- 46 Escintilaciones radiactivas
- 49 El péndulo de Foucault
- 52 Péndulo caótico
- 56 El telescopio reflector de Newton

### CALOR, ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

---

- 60 Superrefrigeradores térmicos
- 63 Energía, casi, gratuita
- 66 Energía limpia
- 69 Generador electrostático de Kelvin
- 72 Levitación magnética
- 75 Levitador diamagnético

### GELES Y FLUIDOS

---

- 80 Los anillos de Liesegang
- 83 Cristales de hielo en una célula convectiva
- 86 Convección de Bénard
- 89 Célula Couette-Taylor
- 92 Digitaciones viscosas

# Introducción

por Marc Boada Ferrer

**C**orría septiembre de 1979. El autor de los artículos que conforman esta monografía era un joven adolescente, amante de la ciencia experimental. Había devorado los pocos libros que sobre esta materia encontraba en la biblioteca de su barrio. Pero, incluso allí, la información práctica era escasa. Por fortuna, un día descubrió en un escaparate un ejemplar de INVESTIGACIÓN Y CIENCIA. No olvidaría nunca aquella portada, protagonizada por una ilustración del avión de los hermanos Wright. A partir de entonces, la revista le abrió las puertas a nuevos mundos que solo conocía por referencias. De entre todos los que descubrió, el que más le apasionaría le esperaba en las últimas páginas.

Se trataba de una sección única, característica y excepcional en el mercado editorial, que imprimía carácter y que ninguna otra revista contenía. Había sido creada en 1926 por Albert G. Ingalls, astrónomo aficionado y entonces subdirector editorial en *Scientific American*, con el propósito de popularizar la construcción de telescopios. La titularon «*The back yard astronomer*». En 1952 se abrió a otros temas y se convirtió en «*The amateur scientist*». En 1955 se hizo cargo de la misma Clair L. Stong, investigador aficionado por antonomasia y apasionado por todo lo relacionado con la matemática aplicada, la física y los aparatos eléctricos, ópticos y mecánicos.

Cuando en 1976 nació INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, sus promotores intelectuales no dudaron en publicar la sección. La consideraban definitoria de los valores que la revista quería transmitir: curiosidad intelectual, versatilidad, facilitación máxima para el no iniciado y exigencia para todos los implicados, incluidos autores, editores y lectores. Decidieron, pues, crear lo que desde entonces se ha llamado «Taller y laboratorio», utilizando como primer material una antología de trabajos de Stong. En 1977, la sección pasó a manos de Jearl Walker, profesor de física y experto divulgador científico, quien le dio un enfoque más conceptual y teórico que constructivo. En 1990 comenzó un período de turbulencias; la sección se publicó de manera irregular y a cargo de muy diversos autores hasta que en 1996 volvió a ser mensual, bajo la responsabilidad de Shawn Carlson, creador de la Sociedad para Científicos Aficionados. En 2001, *Scientific American* dejó de publicar la clásica sección. Y lo mismo hizo INVESTIGACIÓN Y CIENCIA... pero por poco tiempo.

En septiembre de 2004, exactamente 25 años después de mi primer encuentro con la revista, tuve el placer de reanudar, en calidad de autor, «Taller y laboratorio», mi sección favorita. Desde entonces, comparto con los investigadores aficionados mi pasión por la ciencia y la experimentación, con el asesoramiento teórico de académicos de varios campos, principalmente Ramón Muñoz Tapia, profesor de física en la Universidad Autónoma de Barcelona.

En las páginas que siguen, el lector encontrará una selección de artículos publicados a lo largo de esta última etapa de la sección, agrupados en cuatro apartados. El primero se dedi-

ca a las técnicas y los procesos, porque la experimentación entraña una habilidad manual que debe ejercitarse. Se ha concebido como un ejercicio de destreza al servicio de la producción de elementos relevantes para el experimentador. Al propio tiempo, recorre la historia de la ciencia y la técnica: desde la obtención del fuego, tal y como se hacía en la prehistoria, hasta un refinado horno contemporáneo, pasando por la concentración de menas metálicas y la obtención de compuestos

químicos. Un brevísimo y acelerado cursillo de química metalúrgica o extractiva.

El segundo apartado se centra en la medida y la observación, actividades inherentes a la praxis científica. Nunca hay que olvidar el alto valor formativo de la construcción de instrumentos de medida. Por ello hemos seleccionado experimentos que puedan realizarse en el ámbito de los trabajos de investigación en la enseñanza secundaria o en el bachillerato —nos consta que numerosos profesores y estudiantes se han inspirado en esta sección para desarrollar sus proyectos—. El abanico es amplio: desde el péndulo de Foucault, que exige poco material y una máxima finura experimental, hasta el gravímetro pendular, de construcción endiablada y difícil.

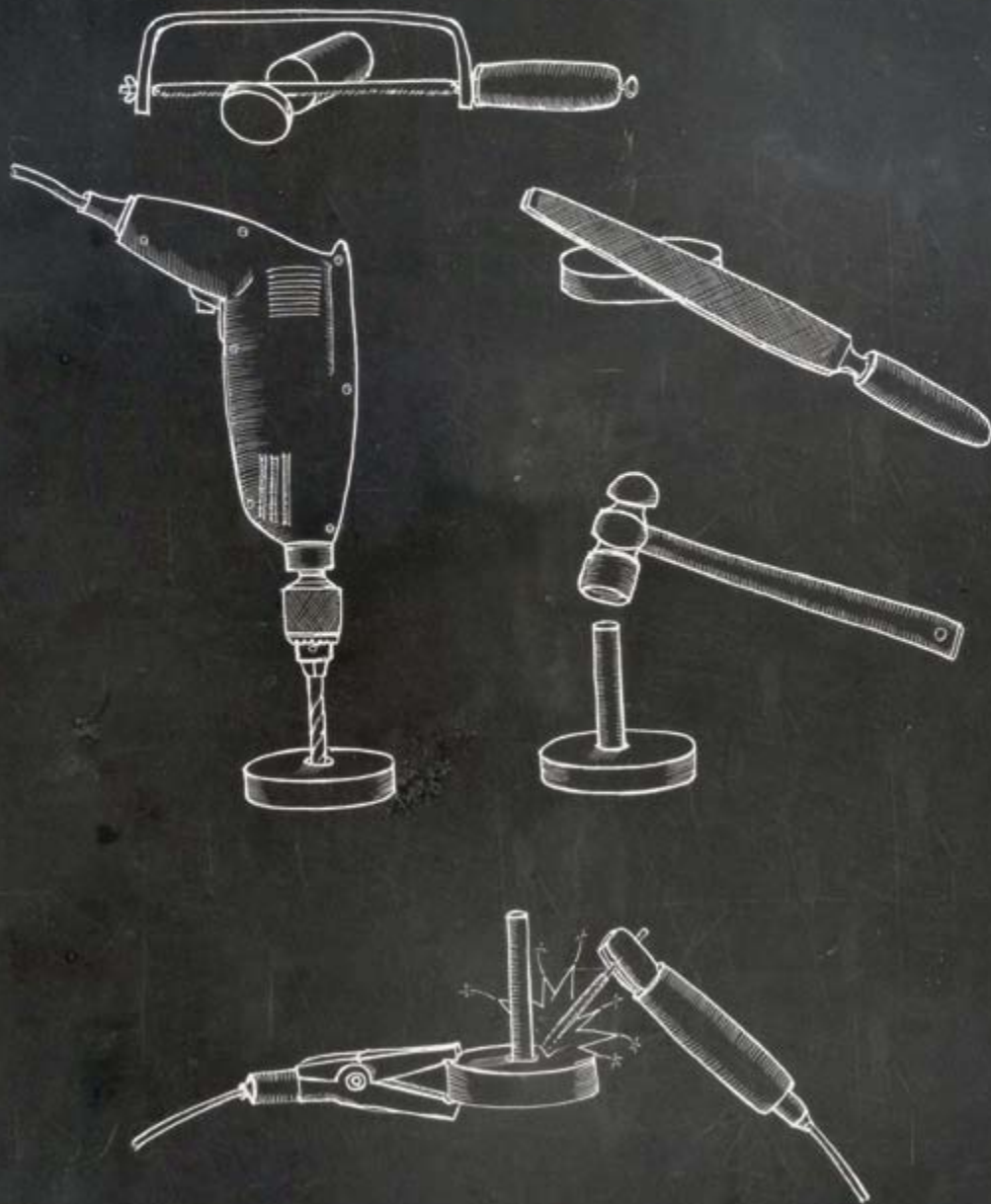
La tercera sección, sobre el calor, la electricidad y el magnetismo, intenta mostrar la amplia fenomenología que hace al caso. Asimismo, en pro de la sostenibilidad energética, demuestra que, con un modesto bagaje científico-técnico, podemos captar cantidades ingentes de calor procedente del Sol.

El último apartado se dedica a los fluidos, un campo de experimentación accesible y apasionante, ya que, con medios más que modestos, permite observar fenómenos de gran complejidad y belleza. A través de la producción de cristales de hielo, fractales o patrones hexagonales, arroja luz sobre la morfogénesis. Y permite descubrir las leyes del caos, los fenómenos de difusión o las sutilezas de la convección.

No quisiera terminar esta introducción sin antes dar las gracias a todas las personas que me han facilitado información o materiales, a los profesores y estudiantes que me han sugerido temas, a los investigadores de los laboratorios universitarios que han respondido amablemente a mis insistentes preguntas y a las empresas que me han obsequiado con muestras o componentes. Y, sobre todo, a los lectores de INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, con quienes he disfrutado de conversaciones interesantísimas. El resultado de todo ello: centenares de maravillosas horas de experimentación condensadas en casi cien páginas que esperamos resulten de utilidad para los apasionados de la ciencia experimental.

**Marc Boada Ferrer** es divulgador científico y experto en ciencia experimental.

# TÉCNICAS Y PROCESOS







# Obtención del fuego

Reproducción de una técnica que se remonta al Paleolítico

Con el dominio del fuego se inicia, en la mitología griega, la independencia del hombre, el origen de las artes y las ciencias. Más allá de esta o de cualquier otra visión antropológica, el fuego es la manifestación luminosa y calórica asociada a la combustión o, con mayor precisión, a una oxidación tan exotérmica que se retroalimenta.

El registro arqueológico aporta pruebas del uso del fuego en la remota prehistoria. Aunque se han encontrado hogares datados en más de 400.000 años, las primeras pruebas de obtención intencionada aparecen hace unos 20.000 años. En excavaciones del Paleolítico superior se han encontrado testimonios de encendedores: constan de un fragmento de algún sulfuro de hierro natural, como la piritita (*pyros*, «fuego» en griego), asociado a un fragmento de sílex. En un comienzo, el fuego facilitaba la alimentación, el abrigo y la protección. Más tarde permitió transformar la materia para obtener nuevos recursos artificiales.

Dedicaremos esta colaboración a ensayar una técnica muy antigua: arrancar chispas de la superficie de un fragmento de piritita mediante el raspado con una piedra. Este método ha evolucionado en paralelo a la ciencia de materiales. De la piritita se pasó al eslabón de acero de las culturas ibéricas, que perduró hasta hace poco más de un siglo, cuando se sustituyó por los primeros encendedores de mecha de algodón y «piedra» en aleación pirofórica.

Las piedras pirofóricas y los sulfuros de hierro producen chispas por fricción. Las piedras constan de pequeñas partículas que, al ser arrancadas, adquieren una temperatura suficiente para sufrir una oxidación veloz cuando entran en contacto con el oxígeno del aire. En la oxidación se alcanzan temperaturas de entre 760 y 870 grados centígrados; se generan anhídrido sulfuroso y óxido férrico, responsables de un olor azufrado y metálico característi-



**Formación de la brasa** en el hongo yesquero. Después se introduce esta entre vegetales fibrosos.

cos. Las partículas en ignición iniciarán el fuego en sustancias inflamables.

Empezaremos por procurarnos un trozo de pedernal o sílex, óptimos por su dureza. Se trata de dióxidos de silicio. A diferencia del cuarzo, son criptocristalinos o amorfos. Su estructura atómica

desordenada les confiere un alto grado de isotropía, que se manifiesta a escala macroscópica en fracturas concoideas. Este tipo de fractura permite obtener, por percusión, la diversidad de formas que encontramos en el utillaje lítico de la prehistoria.



**Fragmentos de sílex.**