FUNDAMENTO FISICO DEL CAMBIO CLIMATICO

INVESTIGACION y CIENCIA

Edición española de
SCIENTIFIC AMERICAN

VENTANAS DE LA MENTE

La melatonina

Electrosensibilidad en los tiburones

¿Fármacos raciales?

Glaciares del Kilimanjaro

¿Existen estrellas de quarks?

00373
9 770210 136004

OCTUBRE 2007
6,00 EUROS

Considerados antaño meros tics nerviosos, ciertos movimientos inconscientes de los ojos son en buena medida responsables de nuestra capacidad de ver. Estos movimientos minúsculos podrían incluso revelar pensamientos subliminales

Susana Martinez-Conde
y Stephen L. Macknik

Las ventanas de la

Conceptos básicos

- Cuando los ojos se fijan en un objeto, en realidad siguen saltando y temblando de forma imperceptible. Lo hacen de una manera que resulta decisiva para la visión.
- Durante decenios, los investigadores han debatido en torno a la función, si existe, que cumplirían los movimientos de fijación visual; de éstos, los movimientos microsacádicos son los de mayor tamaño. Pero los autores han logrado demostrar que los movimientos microsacádicos producen visibilidad cuando las personas fijan la mirada; han observado también que los movimientos microsacádicos de mayor tamaño y velocidad son los óptimos.
- Los movimientos microsacádicos pueden arrojar luz sobre los pensamientos subliminales. De acuerdo con trabajos recientes, la dirección de los movimientos microsacádicos estaría sesgada hacia los objetos que atraen a la gente de forma inconsciente, al margen del lugar al que dirijan su mirada.

Mientras lee esta página, sus ojos se mueven rápidamente de izquierda a derecha en pequeños saltos, puestas en su foco una palabra tras otra. Cuando usted observa el rostro de una persona, sus ojos van, también, de aquí para allá, descansando momentáneamente en un ojo, el otro ojo, la nariz, la boca y otras facciones. Con un poco de introspección, usted puede detectar esa flexión frecuente de los músculos de sus ojos mientras inspecciona una página, rostro o escena.

Pero estos movimientos amplios y voluntarios de los ojos, movimientos sacádicos, constituyen sólo una parte pequeña del ejercicio diario que realizan los músculos oculares. Sus ojos *nunca* dejan de moverse, ni siquiera cuando parecen fijos en la nariz de una persona o en un velero que navega por el horizonte. Cuando los ojos se fijan en algo, lo que hacen durante el 80 por ciento del tiempo que permanecemos despiertos, siguen en realidad saltando y tremolando imperceptiblemente. Y lo hacen de una manera que resulta crítica para la visión. Si usted pudiese detener tales movimientos minúsculos cuando fija la mirada, desaparecerían de su vista las escenas estáticas.

Pero hasta fecha reciente los científicos no habían reparado en la importancia de tales movimientos de "fijación" visual. A lo largo de cincuenta años se vino debatiendo si los movimientos invo-

JENS NIETH *zefa/Corbis (fotógrafo)*; JEN CHRISTIANSEN *(fotoilustración)*

a mente

luntarios de fijación visual de mayor tamaño, los movimientos microsacádicos, cumplían alguna función. Hubo incluso quien sostuvo que los movimientos microsacádicos podrían perjudicar la visión, haciéndola más borrosa. Pero el trabajo reciente de uno de los autores (Martinez-Conde) en el Instituto Barrow de Neurología en Phoenix, Arizona, ha aportado el argumento más convincente de que este minúsculo deambular de los ojos separa la visión de la ceguera cuando una persona observa un mundo estacionario.

Al propio tiempo, los movimientos microsacádicos están ayudando a los neurocientíficos a descifrar el código que el cerebro utiliza para crear la percepción consciente del entorno. Durante los últimos años, los autores y otros investigadores han detectado patrones de actividad nerviosa muy ilustrativos que guardan correlación con esos movimientos, que, así pensamos, dan lugar a la mayor parte de nuestra percepción. Más aún, los movimientos microsacádicos pueden abrir una ventana a la mente. No se dan al azar, sino que pueden apuntar hacia donde su mente se polariza en secreto —aun cuando la mirada se dirija a otro lugar— y revelar, en consecuencia, pensamientos y deseos ocultos.

Cansancio por la reiteración de lo mismo

Que los ojos se mueven constantemente es algo sabido desde hace siglos. En 1860, Hermann von Helmholtz señalaba ya que el mantener los ojos inmóviles constituía un propósito harto difícil y sugería que el "deambular de la mirada" evitaba el cansancio de la retina, integrada por varias capas de células en el fondo del ojo.

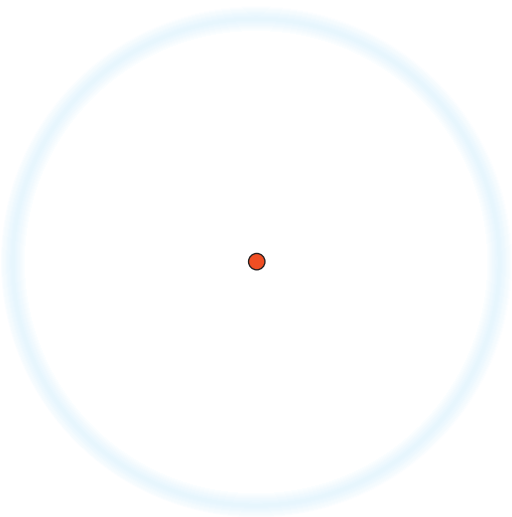
El sistema nervioso de los animales ha evolucionado para detectar los cambios en el entorno. Descubrir las diferencias resultaba ventajoso para la supervivencia. Un movimiento en el campo visual puede indicar que un depredador se aproxima o que la presa se escapa. Tales cambios hacen que las neuronas visuales respondan con impulsos electroquímicos. Los objetos inmóviles no presentan de ordinario amenaza alguna, razón por la cual los cerebros de los animales —y sus sistemas visuales— no evolucionaron en el sentido de su detección. Las ranas corresponden a un caso extremo. Una mosca posada en la pared resulta invisible para una rana, tal como lo son todos los objetos estáticos. Pero una vez que la mosca emprende el vuelo, la rana la detecta de inmediato y la captura con su lengua.

Las ranas no ven objetos inmóviles porque, como ya propuso Helmholtz, un estímulo inmutable provoca que las neuronas visuales adapten sus respuestas y vayan remitiendo éstas de forma gradual hasta desaparecer. La adaptación neural ahorra energía, aunque impone también límites en la percepción sensorial. Las neuronas humanas se adaptan al objeto fijo, pero el sistema visual humano detecta objetos inmóviles mucho mejor que el de la rana, pues los ojos humanos crean su propio movimiento. Los movimientos de fijación visual

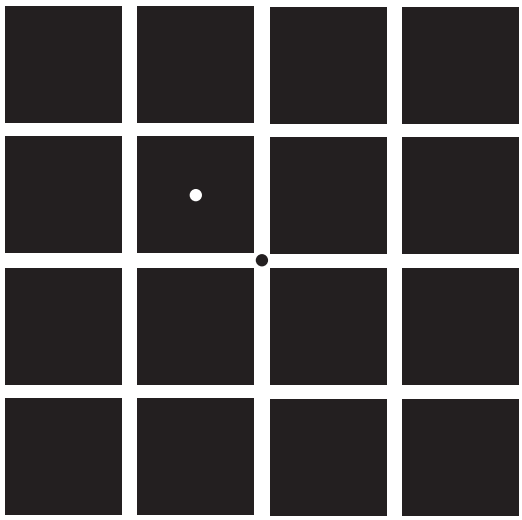
FUENTES: IGNAZ PAUL VITAL TROXLER (*izquierda*); "A SIMPLE AFTER IMAGE METHOD DEMOSTRATING THE INVOLUNTARY MULTIDIRECTIONAL EYE MOVEMENTS DURING FIXATION", POR F. J. VERHEIJEN EN *JOURNAL OF MODERN OPTICS*, VOL. 8, N.º 4, PAGS. 309-312; OCTUBRE DE 1961; TAYLOR AND FRANCIS LTD. (*derecha*)

MICROMOVIMIENTOS OCULARES

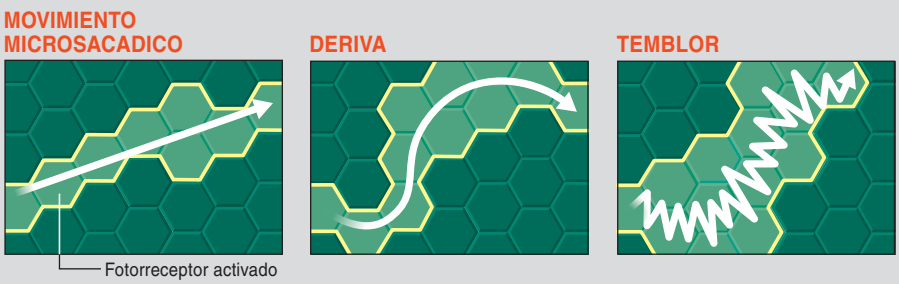
Estas tres ilustraciones muestran algunos de los efectos ópticos que producen los movimientos de fijación visual, a menudo inconscientes.



TEST DE TROXLER: En 1804, Ignaz Paul Vital Troxler descubrió que, al fijar la mirada de forma deliberada, se desvanecían las imágenes estacionarias de su alrededor Para producir ese efecto, el lector fije la mirada en el punto rojo mientras presta atención al círculo azul pálido. El círculo no tarda en desaparecer; el punto rojo aparece situado contra un fondo blanco. Mueva los ojos; el círculo azul reaparecerá de inmediato.



ASI SE MUEVEN SUS OJOS: un método para "ver" sus movimientos de fijación visual. Fije la vista en el punto central de color negro durante un minuto; a continuación, dirija la mirada al punto blanco sobre la casilla negra adyacente. Observe que la post-imagen oscura del entrerrejado blanco se halla en constante movimiento, un movimiento que resulta de los movimientos oculares que se producen durante la fijación visual.



ESTIMULOS EN MOVIMIENTO

Los movimientos de fijación visual, incluidos los microsacádicos (*líneas rectas*), la deriva (*líneas onduladas*) y el temblor (*zigzag superpuesto sobre la deriva*), transportan la imagen visual sobre el mosaico de fotorreceptores de la retina.

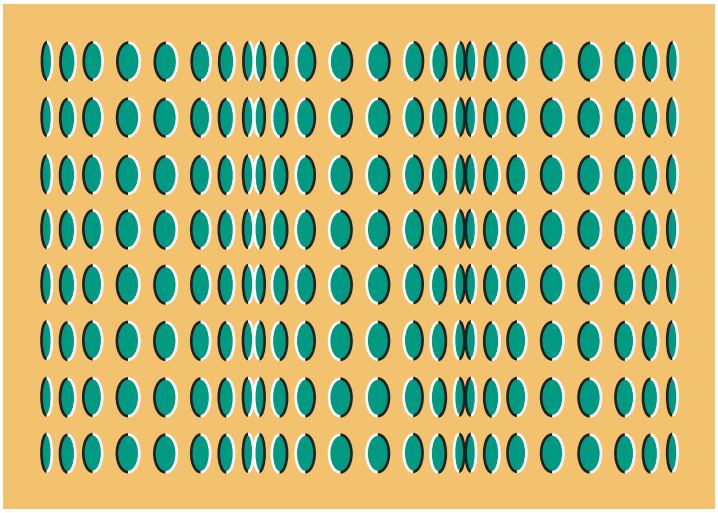
JEN CHRISTIANSEN (*diagramas de la derecha*); FUENTE: AKIYOSHI KITAOKA, © 2004 (*abajo*)

desplazan la totalidad de la escena visual a través de la retina, lo que desencadena la acción de las neuronas visuales y contrarresta la adaptación neural. De ese modo se previene el desvanecimiento visual de los objetos estáticos.

En 1804, Ignaz Paul Vital Troxler describió el primer fenómeno de desvanecimiento visual en humanos relacionado con una caída de los movimientos de fijación visual. Troxler observó que el enfoque deliberado de la mirada sobre un objeto provocaba que las imágenes estacionarias circundantes se desvanecieran de forma gradual. Tal desvanecimiento ocurre a diario, puesto que el enfoque consciente de la mirada en un objeto provoca la reducción o enlentecimiento de los movimientos de fijación visual, que pierden entonces eficacia fuera del área de enfoque. Basta entonces una pequeña disminución de la frecuencia y tamaño de los movimientos oculares para que se registre una grave merma en la visión. Tal deterioro suele ser imperceptible, dado que no prestamos atención a las zonas invisibles del campo visual; en su lugar nos concentramos en lo que tenemos directamente enfrente.

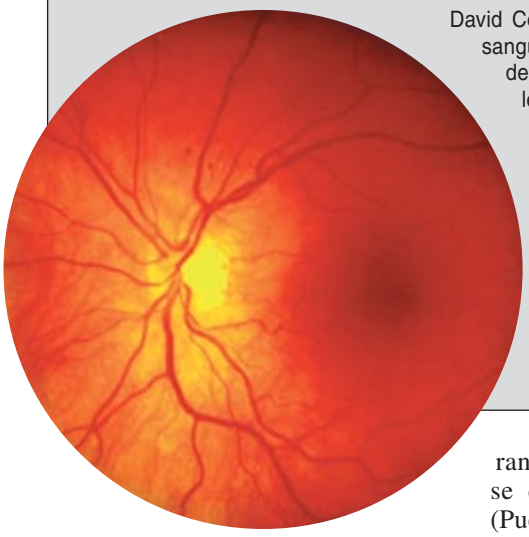
La supresión absoluta de todos los movimientos oculares sólo puede llevarse a cabo en el laboratorio. A principios de los años cincuenta del siglo pasado, varios equipos de investigación lo consiguieron. Montaron un proyector de diapositivas diminuto sobre una lente de contacto y fijaron luego la lente al ojo de una persona mediante un mecanismo de succión. Con semejante artilugio, el sujeto observaba la imagen proyectada a través de la lente, que se movía con el ojo. Esa técnica de estabilización retiniana logra que la imagen permanezca estacionaria con respecto al ojo, lo que permite que las neuronas visuales se adapten y la imagen se desvanezca. Hoy en día, se obtiene ese mismo efecto midiendo los movimientos oculares con una cámara de vídeo. La información sobre la posición de los ojos se transmite a un sistema de proyección, que mueve la imagen con los ojos.

A finales de los años cincuenta, los investigadores aislaron una función de los movimientos microsacádicos: tras suprimir todos los movimientos de los ojos en el laboratorio, incluidos los sacádicos voluntarios de mayor tamaño, superpusieron movimientos similares a los microsacádicos y encontraron que estos movimientos restablecían la percepción. Otros equipos de investigadores, sin embargo, obtuvieron diferentes resultados: la adición de movimientos microsacádicos, tras paralizar los movimientos de los ojos, constituyó una estrategia estéril. Discernir cuál de los resultados respondía a la realidad, no fue fácil, toda vez que ninguna de las técnicas empleadas para estabilizar la retina era perfecta. Piénsese que una lente de contacto conectada al ojo puede resbalar y deslizarse, con los consiguientes movimientos residuales de los ojos. Lo cierto es que no pudo averiguarse si los resultados experimentales se debían a los movimientos residuales mencionados o



MOVIMIENTO ILUSORIO: Pasee la vista sobre el patrón superior; le parecerá que los tres “rodillos” rotan. Si fija la mirada sobre uno de los círculos verdes del centro de la imagen, el movimiento ilusorio se enlentecerá o cesará por completo. Dado que la fijación de la mirada detiene el movimiento ilusorio, los autores suponemos que los movimientos de fijación visual pueden ser necesarios para percibirlo, aunque de momento se desconoce el modo en que operan.

VASOS QUE SE DESVANECEN



David Coppola y Dale Purves, de la Universidad de Duke, mostraron que los vasos sanguíneos de la retina, que son estacionarios con respecto a cada ojo, pueden desvanecerse de nuestra visión en sólo 80 milisegundos. Puede comprobarlo el lector consigo mismo. Cierre los ojos mientras apoya ligeramente una pequeña linterna (¡que no sea demasiado brillante!) contra el lado de uno de sus ojos. Si mueve la linterna rápidamente contra el párpado, quizá vislumbre, por breve tiempo y con su visión periférica, los vasos sanguíneos de la retina. Repare en la rapidez con que se desvanecen de la vista. La adaptación neural tiene lugar en todos los sentidos, tacto incluido. Por ejemplo, usted puede notar los zapatos al ponérselos por la mañana, pero esa sensación desaparece al cabo de un rato. Si mueve los dedos de los pies, volverá a sentir los zapatos. Del mismo modo, los movimientos de fijación visual desplazan las imágenes sobre la retina constantemente, con lo que su visión nunca se desvanece.

a los microsacádicos que se habían superpuesto sobre la imagen.

¿Tics nerviosos?

Durante esa misma época, se identificaron otros dos tipos de movimientos de fijación visual: deriva y temblor. La deriva designa un movimiento lento y errático que se produce en los intervalos entre movimientos microsacádicos, celerísimos y lineales. El temblor, una oscilación diminuta y rápida, se superpone a la deriva. Los microsacádicos, los movimientos de fijación visual de mayor entidad, transportan la imagen a través de docenas o centenares de fotorreceptores (células detectoras de luz), incluidos los conos, para una detallada visión en color, y los bastones, para la visión periférica y en condiciones de baja luminosidad. El temblor constituye el menor de todos los movimientos de fijación visual; el desplazamiento del ojo no es mayor que el tamaño de una de esas células. Sin embargo, no entendemos todavía la función de cada uno de los movimientos de fijación visual.

De hecho, durante decenios, muchos expertos cuestionaron que los movimientos de fijación visual —sobre todo los microsacádicos, que habían sido objeto de la mayoría de las investigaciones— desempeñaran una función en el mantenimiento de la visión. Los críticos objetaron que algunos individuos podían suprimir sus movimientos microsacádicos durante un par de segundos sin que se desvaneciera su visión central. (Puede el lector comprobarlo a través del test de Troxler: cuando suprime sus movimientos microsacádicos de forma transitoria, el anillo se desvanece, pero el punto rojo central permanece visible. Los individuos suspenden sus movimientos microsacádicos de forma natural al llevar a cabo tareas de alta precisión, como disparar un rifle o enhebrar una aguja. En 1980, Eileen Kowler y Robert M. Steinman, de la Universidad de Maryland, llegaron a la conclusión de que los movimientos microsacádicos no servían para nada; se trataría, en su opinión, de un "mero tic nervioso".

Así quedaron las cosas hasta finales de los años noventa, cuando comenzó a investigarse qué tipo de respuestas neuronales, de haber alguna, podrían generarse en el ojo y en el cerebro ante los movimientos de fijación visual. En 1997, junto con el premio Nobel David Hubel, de la Universidad de Harvard, comenzamos una serie de experimentos en los que entrenamos a monos a fijar la mirada en un punto que aparecía en el monitor de un ordenador; en otro lugar de la pantalla se presentaba además una barra de luz estacionaria. Mientras los simios observaban el punto, registramos los movimientos de sus ojos y la actividad eléctrica de las neuronas del núcleo geniculado lateral (NGL) en el cerebro medio y de la corteza visual primaria en la parte posterior del cerebro. En cada experimento, situamos la barra en el lugar que elicitaría óptimas respuestas eléctricas —en forma de impulsos llamados espigas— en las neuronas registradas.

Los resultados de estos experimentos, publicados en 2000 y 2002, mostraron que los movimientos microsacádicos aumentaban la frecuencia de impulsos neurales que se generaban en neuronas del NGL y la corteza visual, por medio del desplazamiento de estímulos estacionarios (la barra de luz), dentro y fuera del campo receptor de la neurona, la región del espacio visual que activa la neurona en cuestión. Ese descubrimiento reforzó la tesis del papel importante que los movimientos microsacádicos desempeñaban en la prevención del desvanecimiento visual y en el mantenimiento de la imagen visible. Y dando por supuesto ese papel para los movimientos microsacádicos, nuestra investigación neurológica comenzó a descifrar el código para la visibilidad. En los ensayos con monos, observamos que los movimientos microsacádicos iban asociados a rápidas ráfagas de espigas de las neuronas del cerebro y no a espigas aisladas, de lo que cabía inferir que las ráfagas de espigas eran una señal cerebral de que algo es visible.

Se resuelve el caso

Otros investigadores hallaron también que los movimientos microsacádicos instaban respuestas neuronales en cada parte del sistema visual examinada. Persistía, sin embargo, una sombra de confusión en el campo, la que arrojaban los resultados contradictorios de los experimentos de estabilización retiniana, que cuestionaban la importancia de los

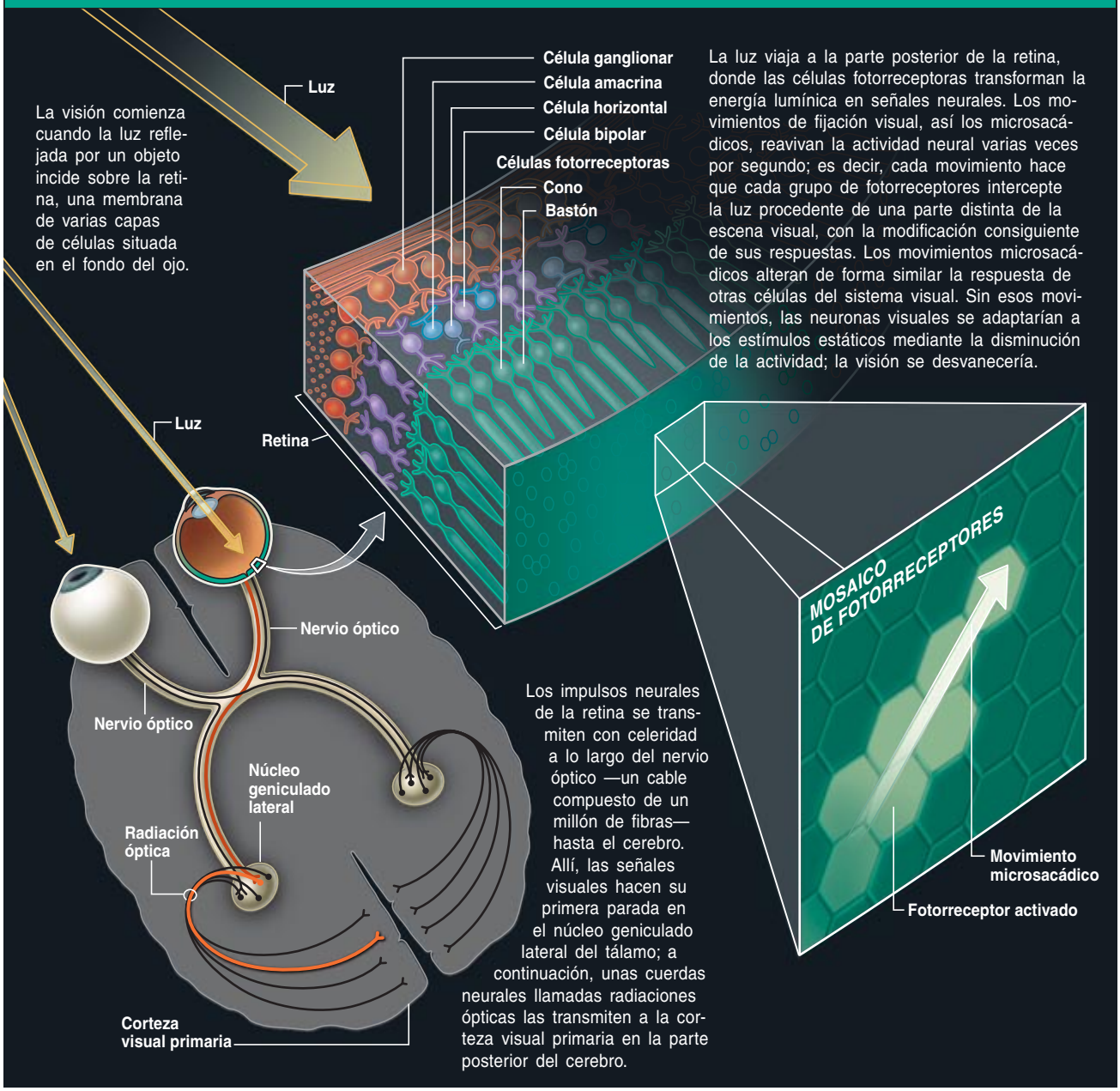
STEVE ALLEN *Brand X/Corbis*

movimientos microsacádicos para la visión.

Así las cosas, hace escasos años, nos decidimos, en el Instituto Barrow de Neurología, a abordar la medición directa de la relación entre movimientos microsacádicos y visibilidad, recurriendo a una técnica completamente diferente. Solicitamos de los voluntarios participantes en los ensayos que ejecutaran una versión de la tarea de desvanecimiento visual de Troxler. En concreto, debían fijar la mirada en un punto, mientras apretaban o soltaban un botón si veían o no un estímulo visual estático. El estímulo se desvanecería y reaparecería mientras cada voluntario fijaba más o menos su mirada, de forma natural, en momentos específicos durante el transcurso del ensayo. Mientras se acometía la tarea, medimos los movimientos de fijación visual de cada participante con un sistema de vídeo de alta precisión.

De acuerdo con nuestras previsiones, los movimientos microsacádicos de los voluntarios menguaron en número, tamaño y celeridad, justo antes de desvanecerse el estímulo. Nos indicaba ello que la ausencia de movimientos microsacádicos —o la presencia de movimientos microsacádicos pequeños y lentos— originaba la adaptación y el desvanecimiento visual. En coherencia también con nuestra hipótesis, los movimientos microsacádicos aumentaron en número, magnitud y celeridad justo antes de reaparecer el estímulo periférico. Estos resultados, publicados en 2006, demostraban que los movimientos microsacádicos generaban visibilidad cuando los voluntarios trataban de fijar la mirada en una imagen; demostraban, además, que los movimientos microsacádicos más veloces y de mayor tamaño eran los más eficaces

REFRESCANDO LA IMAGEN



JEN CHRISTIANSEN

para dicho propósito. Y dado que los ojos permanecen fijos la mayor parte del tiempo —descansan entre movimientos sacádicos voluntarios de cierta entidad—, los movimientos microsacádicos resultan decisivos para la percepción visual.

Este trabajo no sólo reviste una importancia teórica, sino que puede también tener implicaciones terapéuticas. Una mejor comprensión de la función de los movimientos de fijación visual en la visión puede arrojar luz sobre trastornos y condiciones que degraden tales movimientos. Por ejemplo, la falta de movimientos de fijación visual puede ser consecuencia de la parálisis de los nervios oculomotores, que controlan la mayoría de los movimientos de los ojos. Movimientos de fijación visual anormales son habituales en la ambliopía, u "ojo vago", una pérdida de la visión de detalle que no conlleva ninguna patología detectable, y es causa principal de ceguera en uno de los dos ojos en pacientes de 20 a 70 años. En la ambliopía severa, la deriva excesiva y la escasez de movimientos microsacádicos pueden dar lugar al desvanecimiento de objetos e incluso de grandes porciones de la escena visual, durante la fijación.

En la visión normal, el sistema oculomotor debe alcanzar un delicado equilibrio entre un exceso de movimientos de fijación visual (que llevarían a una visión borrosa e inestable durante los períodos de fijación) y una penuria de movimientos de fijación (causante del desvanecimiento visual). Comprender el modo en que el sistema de movimiento de los ojos alcanza tal equilibrio podría un día permitir que los oftalmólogos recalibren el sistema, si falla. Son cuantiosos los trastornos que repercuten en los movimientos de fijación visual. De ahí el atractivo de ese campo para la investigación, hasta ahora apenas explorado.

Leer la mente

El interés de los movimientos microsacádicos trasciende el dominio de la visión. Estos pequeños movimientos de los ojos pueden además contribuir a revelar pensamientos subliminales de una persona. Los psicólogos han descubierto que, aun cuando uno fije la mirada, su atención visual puede inconscientemente desplazarse hacia objetos que atraen su interés. Ciertos trabajos recientes sugieren que los movimientos microsacádicos revelan tales objetos de atracción, ya que su dirección lejos de ser completamente aleatoria, puede apuntar directamente a los objetos en cuestión, no importa que estemos mirando hacia otro sitio.

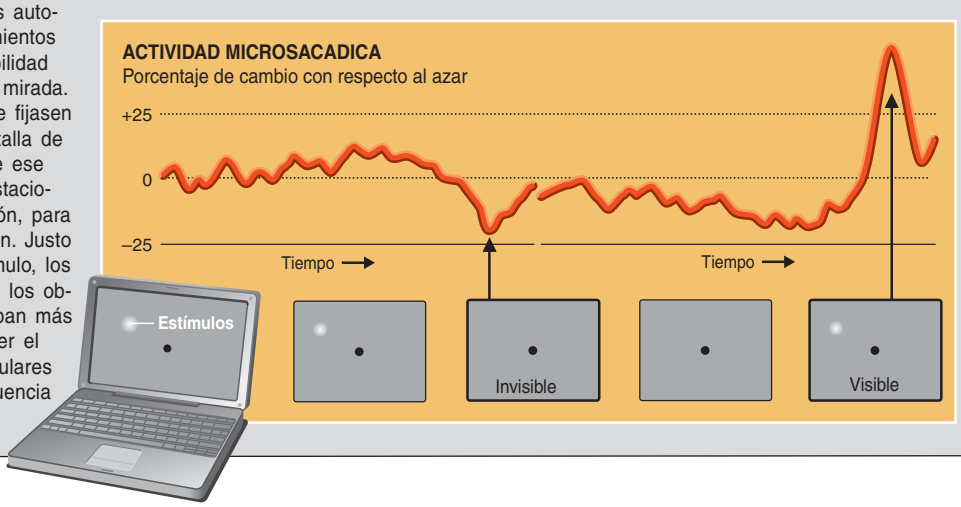
Ziad M. Hafed y James J. Clark, de la Universidad McGill, solicitaron a los voluntarios de sus ensayos que dirigieran los ojos hacia un punto central de la pantalla de un ordenador y, al mismo tiempo, prestaran atención a un punto periférico, que cambiaba de color al final de cada tarea. Los voluntarios debían indicar el cambio de color. En 2002 Hafed y Clark publicaban que la dirección de los movimientos microsacádicos de los sujetos estaba sesgada hacia su verdadero foco de atención, a pesar de que los voluntarios estuvieran mirando hacia otro sitio. Tal hallazgo indicaba no sólo que los movimientos microsacádicos podían remitir a los pensamientos ocultos de la gente, sino también que los cambios secretos de atención controlaban la dirección de los movimientos microsacádicos.

En otro experimento, Ralf Engbert y Reinhold Kliegl, de la Universidad de Potsdam, hallaron que la *frecuencia* de los movimientos microsacádicos indicaba la presencia de algo que atraía secretamente la atención de una persona. La aparición repentina de un estímulo óptico en la periferia del campo visual del voluntario, informaron en 2003, causaba primero una breve caída en la tasa de movimientos microsacádicos, seguida por un rápido rebote en el que la frecuencia de los movimientos microsacádicos excede la normal. Además, los movimientos microsacádicos que detectaron estaban sesgados hacia la dirección del estímulo desencadenante. Del trabajo de los autores alemanes se desprende que la frecuencia y la dirección de los movimientos microsacádicos indicarían cambios repentinos en el entorno que atraen la atención de una persona, aun cuando no centre su mirada en tales cambios.

Por tanto, no importa que usted intente desviar los ojos de la última porción de tarta sobre la mesa, ni de ese hombre o mujer tan atractivos al otro extremo de la estancia; la tasa y dirección de sus movimientos mi-

VIENDO CON LOS MOVIMIENTOS MICROSACADICOS

En un experimento reciente, los autores demostraron que los movimientos microsacádicos generaban visibilidad cuando las personas fijaban la mirada. Solicitaron a los voluntarios que fijasen la vista en un punto de la pantalla de un ordenador (*fila de cajas*); de ese modo, un estímulo periférico estacionario se desvanecía de su visión, para volver a aparecer a continuación. Justo antes de desvanecerse el estímulo, los movimientos microsacádicos de los observadores decaían y se tornaban más lentos; justo antes de reaparecer el estímulo, estos movimientos oculares multiplicaban de nuevo su frecuencia (*gráfica*).



JEN CHRISTIANSEN

MONITOR DE ATENCION. Mediante el seguimiento de los movimientos microsacádicos los expertos determinan si en la escena visual hay algo que resulta secretamente atractivo para la atención de una persona, aun cuando ésta mire hacia otro lugar.

BRIAN MARANAN PINEDA

crosacádicos traicionarán su foco de atención. Sin embargo, esta traición no es algo que deba preocuparle. En el laboratorio, los científicos pueden detectar y medir esos movimientos mínimos de los ojos para revelar los mecanismos cerebrales de la atención, pero las personas de su alrededor no pueden utilizarlos para leer su mente, de momento.

Los autores

Susana Martinez-Conde dirige el laboratorio de neurociencia visual en el Instituto Barrow de Neurología en Phoenix. Se doctoró en medicina y cirugía por la Universidad de Santiago de Compostela. **Stephen L. Macknik** es el director del laboratorio de neurofisiología del comportamiento en el Instituto Barrow; obtuvo su doctorado en neurobiología por la Universidad de Harvard.

Bibliografía complementaria

MICROSACCADES AS AN OVERT MEASURE OF COVERT ATTENTION SHIFTS. Z. M. Hafed y J. J. Clark en *Vision Research*, vol. 42, págs. 2533-2545; 2002.

MICROSACCADES UNCOVER THE ORIENTATION OF COVERT ATTENTION. R. Engbert y R. Kliegl en *Vision Research*, vol. 43, págs. 1035–1045; 2003.

The Role of Fixational Eye Movements in Visual Perception. S. Martinez-Conde, S. L. Macknik y D. H. Hubel en *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 5, págs. 229–240; 2004.

FIXATIONAL EYE MOVEMENTS IN NORMAL AND PATHOLOGICAL VISION. S. Martinez-Conde en *Progress in Brain Research*, vol. 154, págs. 151–176; 2006.

MICROSACCADES COUNTERACT VISUAL FADING DURING FIXATION. S. Martinez-Conde, S. L. Macknik, X. G. Troncoso y T. A. Dyar en *Neuron*, vol. 49, págs. 297–305; 2006.