

¿De quién son esos ojitos?

Por Guillermo Mattei.

El término *óptica*, coloquialmente hablando, remite a la idea de ese popular comercio de barrio, de hipermercado o de shopping habilitado para la venta de anteojos, lentes de contacto y sus accesorios. O sea, *la* óptica. Esta óptica es la última escala de un itinerario que empieza en el consultorio del médico oftalmólogo. Pruebas, análisis, aquello de “que letra es ésta, y ésta otra...”, la prescripción de la corrección necesaria para mejorar el rendimiento de la visión y, finalmente, el par de anteojos o lentes de contacto que el *óptico* nos vende. Así de sencillo.

No obstante, desde el punto de vista del conocimiento, la óptica es una rama de las ciencias físicas. Muy genéricamente hablando es la parte de la física que indaga sistemáticamente a la Naturaleza —tanto por vía teórica como experimental— acerca de todos los sucesos que tienen que ver con la luz. Fenómenos tales como los colores de las cosas, los espejismos en la ruta, el tamaño aparente de la Luna cerca del horizonte, la información escondida en la luz de las estrellas o las manchas coloreadas del aceite sobre el pavimento, y dispositivos e instrumentos como los vidrios polarizados de los automóviles, el endoscopio del gastroenterólogo, el bisturí láser, las fibras ópticas que agilizan el tráfico en Internet, la lectora de códigos de las cajas registradoras, las celdas solares, las cámaras fotográficas y las lentes de los anteojos son, ciertamente, algunos poquísimos ejemplos en donde la luz es la protagonista principal. En la visión de los seres vivos, la luz también encabeza el reparto de actores.

El ojo humano: un instrumento óptico natural.

La luz que viaja desde las estrellas no encuentra demasiadas diferencias si tiene que rebotar en los espejos de un telescopio terrestre y luego velar una película fotográfica o atravesar los distintos medios refractivos de los ojos de un par de enamorados en una plaza para componer, en sus respectivas retinas, el estímulo luminoso necesario para que sus cerebros reconozcan tan románticos astros. El ojo humano es el primer y el más cercano de los instrumentos ópticos.

En 1625, el jesuita alemán Christoph Scheiner —como muchos otros en esas épocas— pretendía desentrañar el enigma secular del funcionamiento de los ojos de los seres vivos. Para dilucidar el misterio, Scheiner efectuó un experimento clásico e irrefutable: quitó la cubierta de la parte de atrás del ojo de un animal y, observando a través de la retina transparente desde atrás, fue capaz de percibir una pequeña imagen invertida de la escena que estaba frente al ojo. Lo mismo sucede cuando miramos un objeto lejano con una lupa. Descartes realizó experimentos similares usando ojos reales... ¡como instrumentos ópticos!

La óptica enseña que el ojo humano, como el de muchos otros seres vivos, es *un sistema positivo de lentes que forma una imagen real en una superficie sensible a la luz*. Desde ese punto de vista, el ojo es un dispositivo óptico con grandes semejanzas a una cámara fotográfica y, en el sentido de esta misma analogía, padece similares defectos.

“La imagen está fuera de foco”, sentencia lacónicamente el joven empleado del *Revelado-en-una-hora* ante el impulsivo reclamo que el cliente hace sobre algunas de las fotos del álbum que acaba de retirar. Esa degradación particular de la imagen respecto del modelo original —llamada *desenfoque*— pertenece a un conjunto más amplio de defectos denominados por los ópticos con el término *aberraciones* (Ver recuadro **Es una aberración**). Sin embargo, los especialistas lograron desarrollar una gran variedad de trucos para compensar y minimizar el efecto de las aberraciones sobre la calidad de las imágenes en aquellos dispositivos e instrumentos, tales como la cámara, que se ganan la vida transformando un modelo en una imagen. Ajustando el diseño general del instrumento —como por ejemplo en el caso de sus lentes constituyentes: la capacidad de focalización, las formas, los tipos de vidrio, los espesores, las distancias entre ellas o la inclusión de diafrag-

mas— es posible minimizar aceptablemente los efectos asociados con los diferentes medios por los que la luz debe pasar. En el ojo humano sucede algo parecido.

Ojos normales: ¿ojos enfermos?

La “normalidad” en el ojo se llama *emotropía* y se produce si la luz, proveniente de una fuente o modelo muy lejano, converge (*se enfoca*) sobre la superficie más interior del globo ocular o retina en estado de relajación de los músculos ciliares. Pero, la emotropía no es algo tan generalizado como podría esperarse. Las deformaciones particulares de la forma de las superficies que delimitan los diferentes medios ópticos de cada individuo dan lugar a los defectos o *ametropías* más conocidas: hipermetropía, miopía y astigmatismo. Es decir las aberraciones en el sistema visual de los seres humanos.

Algunas enfermedades y el envejecimiento ciertamente inducen defectos oculares que se manifiestan en la eficiencia de este “instrumento” pero, como una impronta más genérica, cada persona tiene ojos cuyas superficies de separación entre los diferentes medios ópticos poseen formas que nunca serán idealmente perfectas. La forma de superficie que te toca, te toca.

Tradicionalmente, el médico oftalmólogo reconoce, describe y mide las ametropías para luego prescribir la compensación de sus efectos sobre la nitidez de las imágenes mediante lentes. Es decir agrega nuevos medios refractivos al sistema ocular en problemas. Entre las múltiples aptitudes del médico oculista, la compensación de defectos oculares con medios refractivos auxiliares es una técnica que aprende de un capítulo de su enciclopedia médica que no versa sobre enfermedades sino sobre la teoría y los métodos instrumentales de la física.

Desde el punto de vista metodológico, esta técnica de compensar defectos es independiente de la neurofisiología de la visión, de los procesos cerebrales que decodifican la señal luminosa, de la manera en que el cerebro hace el procesamiento, de los mecanismos que producen realimentaciones de información desde el cerebro hacia el ojo y de las alteraciones morfológicas y fisiológicas asociadas a procesos patológicos. En forma más directa: es otra incumbencia más de la física de los sistemas ópticos.

Al menos en la tradición médica argentina, la oftalmología incluye a los defectos refractivos en la lista de enfermedades oculares. Pero ocurre que, si descartamos momentáneamente toda la nómina de patologías oculares, los defectos refractivos continúan siendo inherentes a cada ojo en particular. No existe el ojo ideal en tanto sistema óptico. Cada ojo tiene la forma geométrica que le tocó en el bingo genético y ésta nunca será la ideal para poder autodeclararse libre de defectos. A pesar de existir cierta tolerancia para declarar normal a los ojos de un conjunto de individuos, desde el punto de vista conceptual, las aberraciones no son enfermedades. De modo que el costado refractivo del malfuncionamiento del ojo, es decir todo lo que no constituye patologías oculares, pertenece —gnoseológicamente hablando— al campo de la rama de la física llamada óptica.

Como si los argumentos anteriores no fueran suficientes, hay uno adicional. A la degradación del rendimiento ocular no sólo contribuyen las ametropías sino también un fenómeno relacionado exclusivamente con la mismísima naturaleza de la luz: la *difracción* (Ver recuadro **Los bordes opacos...**). La principal contribución a la pérdida de calidad visual en pupilas con diámetro mínimo, por ejemplo, inferior a tres milímetros es precisamente el de la difracción: la imagen de un punto nunca será otro punto en la retina sino una mancha. Pero inducir un aumento del diámetro mínimo de la pupila, no obstante, trae como consecuencia no deseada la de amplificar los efectos más deletéreos de las ametropías.

En otras palabras, aún dejando momentáneamente de lado el argumento por el cual las ametropías son sólo un estado refractivo particular del ojo de cada sujeto (*algunas veces* modificado o inducido por procesos

patológicos), la degradación de la calidad visual debida a la difracción ciertamente no puede confundirse con una patología: responde a la ineludible naturaleza intrínseca de la luz en esta porción de la realidad llamada visión de los seres vivos.

En el resto del mundo, los oftalmólogos comparten la incumbencia por la compensación de ametropías con otros profesionales de fuerte formación en ciencia básica —no exclusivamente en el arte de curar—, con un entrenamiento adicional que les permite solo reconocer enfermedades de la visión y, en estos casos, derivar urgentemente a la consulta médica al individuo bajo estudio. Estos profesionales, llamados *optómetras*, no son físicos y no son médicos.

El optómetra examina el proceso visual sólo en sus aspectos funcionales e investiga, determina, realiza y administra cualquier compensación óptica de las ametropías. Adicionalmente reeduca la vista con la aplicación de técnicas para la mejora de la eficiencia visual y previene, hasta donde sea posible, la aparición de perjuicios visuales. Estos profesionales trabajan sobre el acto visual y no sobre el globo ocular, cumpliendo una operación física y no una intervención de carácter médico. A diferencia del oftalmólogo que *cura* enfermedades oculares —por ejemplo— mediante intervenciones quirúrgicas, el optómetra *compensa* ametropías mediante lentes. Mientras que el oftalmólogo trata *pacientes*, el optómetra atiende *usuarios de lentes*.

Aquí en la Argentina, esta parte de la globalización “buena” aún no ha llegado. Tal como sucediera con la ley del divorcio, la tradición local resiste hasta sus últimas fuerzas el peso de los argumentos científicos, de la tendencia universal y hasta del nada despreciable negocio de anteojos, lentes de contacto e instrumental de la visión.

En la frontera: mirando una retina como se mira a las estrellas

No es infrecuente encontrar diferentes actores sociales que, con criterios utilitarios, formulen preguntas descontextualizadas como: “¿cuál es la utilidad práctica de estudiar las estrellas?” Pues bien, astrónomos y astrofísicos dedicados a estudiar estrellas se enfrentaron durante mucho tiempo con un problema práctico: el estado turbulento de las capas atmosféricas degradaba las imágenes estelares obtenidas mediante los telescopios terrestres de manera parecida al efecto que las ametropías ejercen sobre la visión humana.

¿Cómo solucionaron este inconveniente los físicos? Mediante sofisticadas técnicas teóricas y experimentales de compensación de los defectos inducidos por la atmósfera, conocidas como *óptica Adaptativa*, las imágenes estelares aumentaron su calidad en forma notable. Es decir, lograron compensar ópticamente los defectos funcionales antes que eliminar las fuentes de los mismos. Los físicos no curaron, compensaron.

Por suerte, la libertad que tienen los científicos para relacionar temas, áreas y métodos muy frecuentemente contribuye a contestar la odiosa pregunta utilitaria en forma más que espectacular. En este caso, físicos ópticos estadounidenses y españoles aplicaron, a principios de 2000, los métodos de la *óptica Adaptativa*, incluyendo láseres, computadoras y espejos con deformación controlable, a la corrección de ametropías en la visión humana. De esta manera los científicos lograron niveles de refinamiento en la caracterización de las ametropías muy superiores a los disponibles tradicionalmente y, como si esto en sí mismo no fuera poco, al mismo tiempo captaron imágenes de la retina con una resolución tal que pudieron discriminar zonas del tamaño de una sola célula nerviosa.

La aplicación de la *óptica Adaptativa* a la visión humana permitirá, entre otras cosas, detectar prematuramente el glaucoma, observar pequeños aneurismas en la vasculatura retinal que provoca la diabetes, estudiar en tiempo real la evolución de procesos microscópicos en la retina y hasta individualizar los tres tipos de células fotorreceptoras responsables de la visión en colores. Todo esto realizado en forma no invasiva y minimizando el esfuerzo del paciente.

Evidentemente el alto impacto en la salud visual, que sugieren desarrollos como el anterior, indica que se abre un campo nuevo. Tal como sucede en muchas otras áreas, que requieren profesionales entrenados un poco más en la creación de conocimiento científico y un poco menos en el enciclopedismo, la de los aspectos funcionales del ojo encontrará en breve a médicos oftalmólogos y óptimas compartiendo la solución de viejos problemas con nuevas técnicas.

(Recuadro 1)

Es una aberración

Las aberraciones son, en algún sentido, los defectos de los instrumentos ópticos que afectan la calidad de las imágenes que ellos producen de los modelos que retratan (técnicamente, objetos). Algunas aberraciones pueden afectar la nitidez de la imagen, como el caso de las fotos fuera de foco, y otras solo distorsionan. La raíz del problema de las aberraciones está en la geometría del sistema. En otras palabras, las formas de las superficies que delimitan los diferentes medios por los que la luz debe pasar dentro del instrumento óptico nunca tendrán una manufactura idealmente perfecta.

Por ejemplo, el caso de una cámara fotográfica elemental. La luz proveniente del modelo viaja por el aire, ingresa al sistema —en el momento en que el obturador abre el diafragma durante un pequeño intervalo de tiempo—, atraviesa la primer cara de la lente del objetivo —pasa del aire al vidrio a través de la forma particular de la superficie de esa lente—, abandona la lente objetivo —pasando del vidrio al aire por la superficie que delimita la otra cara de la lente— y, finalmente, vuela por el aire del interior de la cámara, un corto tramo final, antes de impactar en la emulsión de la película fotográfica. Las formas que tienen las superficies de las dos caras de la lente objetivo no son pedazos de esfera idealmente perfectos. Al construir la lente, no hay manera de manipular el vidrio de forma tal que su superficie lo sea: a lo sumo los técnicos ópticos podrán tallar la lente con un grado creciente de calidad, pero siempre habrá diferencias (cada vez menores, en todo caso) respecto a una superficie geoméricamente ideal. Esas diferencias entre las formas geométricas ideales y lo que la tecnología puede lograr, son las aberraciones. De todas maneras, aún en el inalcanzable caso de una tecnología infinitamente poderosa, que permitiera tallar lentes con formas idealmente geométricas, la calidad de la imagen todavía no estará enteramente garantizada. Si el haz de luz no es suficientemente angosto, si viaja en ciertas direcciones poco adecuadas y si no incide sobre una pequeña parte en la zona central de la lente, la imagen producida también será poco nítida. La información sobre la degradación de la imagen producida por las aberraciones aparecerá crudamente reflejada en la película fotográfica.

(Recuadro 2)

Los bordes opacos y la propagación de la luz.

Uno de los aspectos más fascinantes de la filosofía de la ciencia es el comportamiento dual de la luz. En rigor, también el de las partículas elementales que forman los ladrillos de la materia, pero esa es otra historia. Sorprendentemente y contra nuestro sentido común, la luz admite comportamientos exclusivamente complementarios: tanto puede manifestarse como una sucesión de partículas individuales, llamadas *fotones*, como una onda que abarca todo el espacio, de manera parecida a las ondulaciones que provoca en todo un estanque de agua una piedra que se deja caer en cualquier lugar del mismo. La luz es una única entidad pero con manifestaciones duales: a veces partículas, a veces ondas. “Las tesis y las antítesis, sintetizan”, diría Hegel.

Uno de los fenómenos típicos de la luz —imaginada como algo parecido (pero no igual) a las ondas del estanque— es aquel por el cual pasan cosas curiosas si ésta atraviesa orificios, por ejemplo, circulares como los de la pupila del ojo humano. Los bordes que definen los orificios pueden alterar la propagación rectilínea de la luz. Si bien la luz de una linterna que atraviesa el ojo de una cerradura produce una imagen bastante reconocible de éste, la luz de un puntero láser que pasa por un agujero del tamaño de la cabeza de un alfiler, en lugar de proyectar una sombra definida de los bordes produce, alternadamente, zonas iluminadas y oscuras que adoptan la forma de anillos concéntricos. Este inesperado efecto se conoce con el nombre de *difracción*.

Por ejemplo, si nos ponemos bizcos, o miramos de cerca una lámpara o al cielo despejado y luego movemos los ojos a izquierda y derecha, podremos *ver* como se desplazan, en sentido contrario y literalmente flotando frente a nosotros en el campo visual, las imágenes de lo que parecerían ser *amebas*. Parecen, pero no: son partículas desprendidas de la retina que flotan en medio del globo ocular o *humor vítreo*. Iluminadas por la luz que, por ejemplo, entra desde el cielo por la pupila, esas partículas forman una imagen en la propia retina y, de alguna manera, estamos autoobservándolas. Si avistamos una gran cantidad de este tipo de partículas, convendrá que consultemos urgentemente al oftalmólogo por desprendimiento de retina... pero, mientras sean unas pocas por vez, podremos continuar con el experimento. Observando cuidadosamente, los bordes de estas partículas parecen replicados varias veces. Como si alguien hubiera dibujado concéntricamente un par de contornos adicionales a la forma que vemos. Pues bien, esos contornos que desdibujan el perímetro de estos navegantes solitarios del humor vítreo, son producto de la difracción. Y la difracción no tiene nada que ver con enfermedades: simplemente acompaña en forma inexorable a la luz cuando pasa por agujeritos, pequeños, en algún sentido.