

“La evolución de la física-óptica en general y la aplicada a las ciencias de la visión ha sido vertiginosa en muy poco tiempo.”

Del banco óptico a la clínica: la importancia de la física para el paciente



Alejandro Blasco-Martínez



unsplash

La luz nos acompaña desde siempre (algunos dicen que desde el primer día), y desde entonces ilumina paisajes y alimenta a plantas y animales. Pero solo en cosa de unos pocos y recientes años, se ha convertido en una aliada imprescindible de la medicina. Imagina un láser tan fino que pueda atravesar tejidos humanos sin dejar cicatrices; o un microscopio tan potente que pueda visualizar las estructuras moleculares de nuestras células. Estos últimos avances que hoy salvan vidas tienen su origen en los experimentos pioneros de finales del siglo XIX, cuando se empezaron a usar los llamados bancos ópticos que permitieron entender cómo se comportan los rayos de luz y cómo podríamos modificarlos y manejarlos casi a nuestro antojo.

En este artículo exploraremos ese recorrido: desde los experimentos de interferencia y difracción en un banco óptico rudimentario hasta las modernas técnicas clínicas (como la Tomografía de Coherencia Óptica) que ya se usan hoy en hospitales. Si pensabas que la física era solo una aburrida teoría o juegos de laboratorio, quédate y te sorprenderás de su utilidad práctica en nuestro día a día y de cómo ha llegado a mejorar nuestra calidad de vida hasta hacerla imprescindible.

Empecemos, pues, con el banco óptico: ese laboratorio casero de espejos y lentes donde se gestaron las bases de la óptica moderna y que, siglos después, sigue inspirando nuevos equipos clínicos.

PERO... ¿QUÉ ES UN BANCO ÓPTICO?

En todo laboratorio antiguo de óptica que se preciase, se encontraba el banco óptico: una mesa larga en la que se alineaban fuentes de luz, lentes, espejos, diafragmas, pantallas... y un sinfín de herramientas más. Estos montajes permitían al físico-óptico mover con precisión cada componente y estudiar fenómenos tan fundamentales como la reflexión, la refracción, la interferencia o la difracción. Fue en estos bancos donde, por ejemplo, a mediados del siglo XIX, científicos como Albert Michelson perfeccionaron la medida de la velocidad de la luz y contradijeron la existencia de un “éter”.

¿Y si hacemos pasar un haz de luz por dos agujeros pequeños? Con el montaje de la doble rendija, los científicos ilustraron el fenómeno de la interferencia de la

luz: en lugar de proyectarse la luz, se generaban patrones de franjas claras y oscuras. Unos años más tarde, se descubrió también la difracción de la luz que ayudó a cuantificar su longitud de onda. Cada experimento requería mucho conocimiento físico, paciencia y un ojo atento a los mínimos cambios en la trayectoria del rayo.

“Hace pocos años, Zeilinger estudió en banco óptico conceptos tan increíbles como el entrelazamiento cuántico y la teleportación cuántica.”

Banco óptico clásico.



Pero no pienses que ya se han dejado de usar estos montajes artesanales y rudimentarios... Hace pocos años, Zeilinger estudió en banco óptico conceptos tan increíbles como el entrelazamiento cuántico y la teleportación cuántica.

No obstante, hoy las mesas de laboratorio están equipadas con sistemas automatizados y monturas motorizadas, pero se siguen probando así los prototipos, y se comprueba la viabilidad de cualquier dispositivo antes de llevarlo a la clínica.

LOS LABORATORIOS MODERNOS

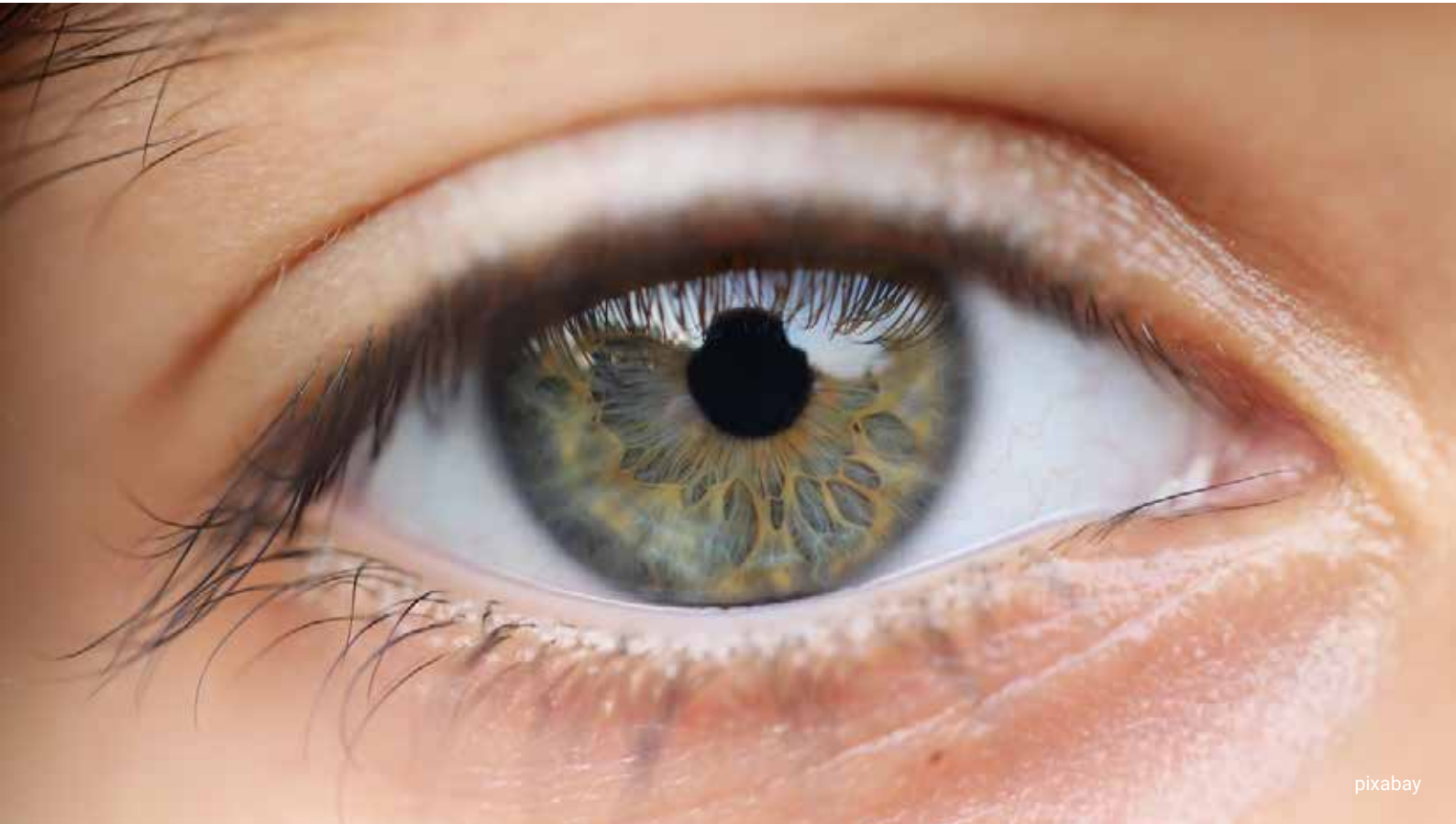
Si el banco óptico clásico era como una mesa en un taller artesanal, el laboratorio moderno se asemeja más a un centro de alta tecnología donde se usan potentes láseres y ordenadores, detectores electrónicos muy precisos y potentes algoritmos de procesamiento. Estos avances permiten precisiones micrométricas de cada componente y repetir un experimento cientos de veces en poco tiempo sin intervención humana.

Uno de los avances más prácticos ha sido la utilización de fuentes láser *sintonizables*: haces de luz cuya longitud de onda puede ajustarse electrónicamente. En la práctica, esto permite explorar las distintas capas y profundidades de los tejidos biológicos, resaltando estructuras específicas o zonas donde se concentra alguna sustancia. En un banco óptico tradicional habría que cambiar manualmente filtros y lentes con cada prueba, hoy simplemente se pulsa un botón.

“Ahora es posible capturar millones de píxeles por segundo, generando imágenes que se procesan en 3D a escala nanométrica.”



◀ Banco óptico moderno.



También los detectores han evolucionado: desde placas fotográficas hasta cámaras de alta resolución y sensores de fotones. Ahora es posible capturar millones de píxeles por segundo, generando imágenes que se procesan en 3D a escala nanométrica: podemos ver cada milímetro partido en un millón de partes. Esto permite ver estructuras subcelulares antes invisibles, avanzando en el diagnóstico de enfermedades neurodegenerativas o en la localización de tumores.

¿Y TODO ESTO EN QUÉ ME BENEFICIA?

Trasladar los descubrimientos del laboratorio al gabinete de optometría y al quirófano oftalmológico es un proceso largo y complicado como cualquier ensayo clínico: exige rigurosos procedimientos legales, que las medidas sean precisas y reproducibles en distintas condiciones y, sobre todo, seguridad para el paciente y para el operador. Teniendo todo esto en cuenta, hoy en día se utilizan de manera rutinaria equipos de exploración y diagnóstico que hace años eran inimaginables por su tecnología y también por su elevado coste. A continuación, te nombramos los más impresionantes:

La Tomografía de Coherencia Óptica (OCT)

La OCT se ha convertido en un equipo imprescindible en cualquier consulta oftalmológica. Se trata de un escáner que utiliza el dominio espectral de un láser al ser reflejado por las diferentes estructuras oculares. En unos pocos milisegundos es capaz de mostrar imágenes de la córnea, cristalino o retina con una resolución de 5 micras, y se visualizan como si de un corte histológico se tratase. Se emplea para el diagnóstico de patologías como la Degeneración Macular Asociada a la Edad (DMAE), el glaucoma y/o patologías corneales.

Aberrómetros y topógrafos corneales

Aunque la palabra “aberración” suene fea y exagerada, todos tenemos varias en nuestros ojos. Nos referimos a irregularidades microscópicas en el sistema óptico del ojo: la córnea no es perfectamente esférica, la pupila puede estar ligeramente descentrada, el cristalino puede contener alguna opacidad... Todas estas imperfecciones en conjunto hacen que el paso de la luz no llegue a un mismo punto de la retina, perdiéndose su



◀
Topógrafo / aberrómetro corneal.

intensidad o desenfocando o distorsionando la imagen. Antes, cuando un paciente no veía del todo bien con gafas o lentillas, se pensaba que ese ojo no daba más de sí, sin conocer exactamente la explicación. Hoy, aberrómetros como los corneales o los de Hartmann-Shack, son capaces de descomponer el paso de la luz a través del ojo para conocer exactamente sus características. Esta información es clave para personalizar lentes de contacto, intervenciones láser o lentes intraoculares. En la misma línea, también es posible utilizar técnicas como la reflexión de la luz en la córnea para mapear de manera muy precisa la curvatura de las dos caras de la córnea. Esto es esencial para la detección precoz y el seguimiento de enfermedades como el queratocono y para planear cirugías refractivas.

“Trasladar los descubrimientos del laboratorio al gabinete de optometría y al quirófano oftalmológico es un proceso largo y complicado como cualquier ensayo clínico.”

Biometría óptica

En la clínica oftalmológica y optométrica, también es imprescindible poder medir con la mayor precisión posible los espacios que hay dentro del ojo. Por ejemplo, la distancia desde la córnea al cristalino, el espesor del cristalino, o el tamaño total del ojo desde la córnea a la retina (longitud axial). De esto depende que el sistema óptico del ojo focalice las imágenes en la retina y no quede como resultado una miopía, hipermetropía o astigmatismo. Los nuevos biómetros ópticos (basados en la interferometría de la luz) también son capaces de medir estas longitudes con precisiones micrométricas. Esto es crucial, por ejemplo, para el cálculo de las Lentes Intraoculares en cirugía de cataratas o para el seguimiento de la evolución de la miopía en niños.

Lentes intraoculares

Con la edad, o por un fuerte traumatismo, el cristalino va perdiendo transparencia poco a poco: se forma una catarata que no deja llegar correctamente la luz a la retina. En estos casos, el cirujano reemplaza la lente natural del cristalino por una prótesis llamada Lente Intraocular (LIO).

Las LIOs promedio tienen una graduación de entre 10 y 25 dioptrías, recogidas en su zona óptica que apenas ocupa 5 milímetros de diámetro. Tal cantidad de potencia dióptrica en tan poco espacio requiere una precisión en el diseño y fabricación extremas. Además, actualmente existen diseños mucho más complejos que un simple foco de la luz, pudiendo corregir la presbicia con lentes multifocales o de foco extendido. Una vez más, todo empieza con un programa de diseño óptico cuyo prototipo se probará en un banco óptico bajo distintas condiciones.

EL FUTURO DE LA FÍSICA EN LAS CIENCIAS DE LA VISIÓN

Aunque muchas veces nos parezca que ya está todo inventado, nada más lejos de la realidad. La evolución de la tecnología en los últimos años parece mostrar una trayectoria exponencial, y actualmente vemos y hacemos intervenciones en los pacientes que solo hace 20 años eran inimaginables. Hoy, mientras algunas técnicas modernas se consolidan, surgen otras líneas de investigación que prometen un futuro aún más sorprendente:



Lente intraocular
(atribución: Frank C. Müller).

- **La Inteligencia Artificial en las Ciencias de la Visión:** los nuevos algoritmos planteados por Inteligencia Artificial (IA) pueden fusionar los datos extraídos de los pacientes con un aprendizaje automático que dé resultados útiles clínicamente. Por ejemplo, disponemos de millones de datos e imágenes clínicas de ojos de pacientes (longitud axial, características de todas las capas de la mácula y del nervio óptico, forma de la córnea y cristalino, etc.). Si cargásemos estos datos en una IA especializada, sería posible obtener valoraciones clínicas, mapas de progresión y predicciones precisas de varias patologías.

Sin embargo, estos modelos requieren bases de datos amplias de distintas poblaciones y edades, así como validación clínica rigurosa para evitar sesgos y falsos positivos.

- **Miniaturización y atención remota:** la pandemia de la COVID-19 aceleró el desarrollo de sistemas portátiles y remotos, así como del teletrabajo. Ahora, el reto es adaptar tecnologías como la OCT, topografías, aberrómetros, etc. en dispositivos de mano o incluso

integrarlos en smartphones. Estos equipos permitirán llevar el diagnóstico a entornos rurales y zonas con escasos recursos, acercando la atención visual a pacientes que hoy no tienen acceso a un gabinete.

No obstante, este proceso plantea muchos retos y problemas, como limitaciones en la precisión diagnóstica y de calidad de imagen, la imposibilidad actual de reducir equipos especializados como la OCT al entorno doméstico o problemas éticos y de privacidad de datos.

- **Interconectividad de profesionales de la salud mediante IA:** la IA también ha abierto nuevas posibilidades para la interconexión de profesionales de la salud, permitiendo que equipos multidisciplinares colaboren incluso a distancia. En el campo de la cirugía, por ejemplo, ya se han hecho pruebas para realizar intervenciones quirúrgicas a distancia, en las que un cirujano experimentado puede guiar o incluso operar de manera remota. Esta tecnología facilita la toma de decisiones clínicas y acerca la atención especializada a más pacientes.

El reto principal de estas técnicas es la conectividad, ya que se necesita una conexión robusta sin posibilidad de cortes ni interferencias en el momento de la intervención.

- **Terapias guiadas por luz:** más allá de la imagen, la óptica terapéutica avanza hacia tratamientos basados en fotónica. Por ejemplo, la fotobiomodulación para daño de retina: una luz de baja intensidad que promueve procesos biológicos y repara tejidos dañados. Los resultados en recientes ensayos clínicos son esperanzadores, pero el desafío está en dosificar con exactitud la energía y duración del pulso para maximizar eficacia y minimizar efectos secundarios. También son necesarios más estudios a largo plazo.

CONCLUSIÓN

La evolución de la física-óptica en general y la aplicada a las ciencias de la visión ha sido vertiginosa en muy poco tiempo. Técnicas y aparatos como la OCT, los aberrómetros o la óptica adaptativa no son ya meros objetos de investigación, sino herramientas cotidianas en clínicas y hospitales que ofrecen diagnóstico temprano y tratamientos menos invasivos.

Esta evolución es posible gracias a que la ciencia básica y la clínica forman un circuito que se retroalimenta: los experimentos en laboratorio inspiran prototipos que, tras superar criterios de certificación y seguridad, se integran en la consulta. A su vez, las necesidades del paciente y del clínico orientan nuevas líneas de investigación. Mantener este circuito requiere diálogo constante interdisciplinar: físicos, ingenieros, optometristas, oftalmólogos... e investigadores que prueben y compartan resultados clínicos a la comunidad científica.

“Esta evolución es posible gracias a que la ciencia básica y la clínica forman un circuito que se retroalimenta.”



pixabay

Si te apasiona la investigación en ciencias de la visión y la divulgación de los resultados más apasionantes, te invitamos a formar parte de esta misma **Revista conCIENCIAS** que edita la Universidad de Zaragoza. También ponemos a tu disposición la **Revista Optometría Clínica y Ciencias de la Visión (OCCV)**, dedicada a investigadores que quieran publicar sus estudios bajo los estándares científicos. En ambas revistas encontrarás un espacio para difundir tus ideas o hallazgos, proponer debates interdisciplinarios y conectar con una comunidad científica entusiasmada con su trabajo. No importa si tu contribución es un experimento básico, un informe clínico o un proyecto futurista: te animamos a difundir el saber divulgando o creando producción científica.

Alguien tendrá que informar y ayudar a avanzar a las nuevas generaciones ¡Te esperamos!

Alejandro Blasco-Martínez
Óptico-Optometrista SALUD Aragón
Editor-in-Chief Revista OCCV
www.revistaoccv.com



pixabay