

»» LA VENTANA DE DON AURELIO, EL LUGAR DONDE LA LUZ ENVEJECE

Hiram Amir Espinoza Pineda^{1*}, Katia Lizbeth
Alonso Hurtado¹, Marcos Cajero Juarez²

¹Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, ²
Instituto de Investigaciones Agropecuarias y
Forestales, Universidad Michoacana de San
Nicolás de Hidalgo

*Contacto: 1830558e@umich.mx



¿Quién controla a las máquinas?

El papel de la teoría del control automático en la vida diaria

Resumen

¿Alguna vez has sentido que tu vista se nubla? Pues esto le pasó a don Aurelio, jardinero de toda la vida, cuando notó que los colores se apagaban y las formas se volvían borrosas. No eran sus anteojos, ¡eran sus propios ojos! Dentro de él, una pequeña ventana llamada cristalino llevaba más de 70 años acompañándolo. Como ocurre en todos los seres humanos, el cristalino conservaba las mismas fibras que se formaron en su juventud, sin reemplazarse con el paso del tiempo. Décadas de exposición a la luz solar y los efectos del estrés oxidante fueron alterando lentamente su transparencia. Las proteínas que mantenían clara esa ventana comenzaron a desordenarse y agruparse, como polvo que se acumula en un vidrio. Así aparece la catarata senil: no de forma repentina, sino como el resultado silencioso de cambios microscópicos que terminan por empañar la visión.

Palabras clave: Catarata senil, cristalino, estrés oxidante.

Don Aurelio siempre había sido jardinero. Desde los 13 años, cuando su madre le enseñó el cuidado de las plantas, hasta sus 72 años, aún podía recordar con exactitud el día que plantó cada árbol del parque: la jacaranda que florecía justo en primavera; los duraznos, aquellos con los que hace conserva en cada verano; el fresno, que da sombra a la banca en donde reposa y ve pasar el tiempo. Para él, la vida se medía en estaciones, colores y olores, pero un día, sin aviso, los colores y la forma de las cosas comenzaron a cambiar.

Al amanecer, cuando salía a regar, notó que las hojas verdes parecían más apagadas, como si alguien les hubiera puesto un filtro amarillento. Las flores ya no tenían el brillo intenso de antes (Fig. 1).

Y las caras de sus nietos, esas que antes distinguía desde lejos, se veían un poco borrosas; pensó que quizá sus lentes estaban sucios. Los limpió en repetidas ocasiones con su camisa, como siempre, pero nada cambió y pensó que tal vez era momento de cambiar sus lentes. No le dio importancia en su momento, pero semanas después, mientras



Figura 1. El parque con catarata senil. La comparación entre cómo veía don Aurelio antes y después de la catarata senil. Elaboración propia, adaptado de Mehta et al., 2020 [5]

limpiaba un viejo ventanal del invernadero, observó cómo el polvo y las pequeñas rayas del desgaste del vidrio distorsionaban la luz. Se quedó analizándola durante minutos enteros y descubrió que ese polvo hacía que la luz no entrara de la misma forma a su invernadero; ahora parecía estar nublado desde adentro.

Así veo yo ahora...-murmuró- ¡Como si mis ojos estuvieran sucios!, ¡como si mi ventana estuviera sucia! - exclamó. (Fig. 2).



Figura 2. La ventana de don Aurelio. Don Aurelio se da cuenta de que sus ojos ven igual que el ventanal desgastado del invernadero. Elaboración propia con ChatGPT.

Y no se equivocaba, en lo profundo de su ojo, hay una ventana transparente, **el cristalino**, una ventana que lo ha acompañado toda su vida [1]. Esa pequeña lente transparente que enfocaba cada flor había empezado a perder su claridad. El cristalino es una pequeña lente natural que tenemos dentro del ojo. Es transparente, flexible y a diferencia de otros tejidos, no tiene vasos sanguíneos ni nervios, lo que le permite mantenerse claro para que la luz pase sin obstáculos. Su función principal es refractar y enfocar la luz que entra al ojo sobre la retina, ajustando su forma para que podamos ver con nitidez tanto de cerca como de lejos, como si fuera el lente de una cámara que se adapta automáticamente [3,6]. Lo que le pasaba a don Aurelio no era una enfermedad repentina ni un problema de un día para otro; era el resultado de una vida entera acumulando recuerdos, pero, sobre todo, de daño igual que ese ventanal que él mismo había pulido durante décadas y que ahora no dejaba entrar la luz.

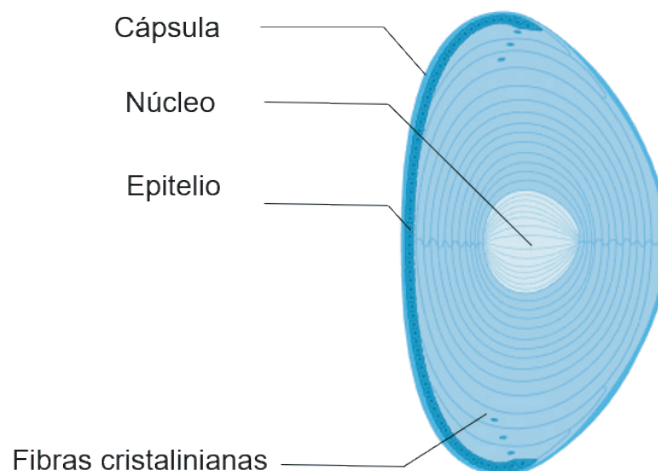
Pero ¿su cristalino era igual de viejo que el ventanal?, ¿no se supone que nuestro cuerpo se regenera? En parte sí. Muchas células del cuerpo se reemplazan constantemente: las células de la piel se renuevan, las células de la sangre se producen diariamente, incluso el intestino cambia su revestimiento celular en cuestión de días. Sin embargo, no todas nuestras células tienen la capacidad de regenerarse. El cristalino, a diferencia de otras partes del cuerpo, tiene algunas células que no se renuevan, ni pueden limpiarse. Está cubierto por una cápsula fina y elástica, que lo envuelve y lo mantiene tenso; en su superficie hay algunas células que pueden dividirse, llamadas células epiteliales, la mayor parte del cristalino está formada por fibras que conforman lo que se conoce como la corteza y el núcleo del cristalino. Las células del epitelio que se encuentran en la superficie del cristalino pueden regenerarse al ser las que conservan núcleo y organelos, como otras células del cuerpo.

Desde ahí comienza un viaje hacia el interior. Cuando las células migran hacia la corteza del cristalino, empiezan a transformarse. Se alargan, se acomodan una junto a otra como tablillas de un abanico perfectamente alineadas y poco a poco, comienzan a perder sus organelos, desaparecen sus mitocondrias, su retículo... incluso su información genética. Finalmente, al llegar al núcleo del cristalino, la región más profunda y antigua de la que te hablo ya no queda rastro de organelos. Son fibras completamente transparentes, llenas exclusivamente de proteínas llamadas cristalinas, ordenadas con tal precisión que permiten que la luz atraviese el tejido sin dispersión (fig. 3).

Entonces, las células que se formaron cuando don Aurelio nació seguían ahí, las mismas con las que vio el mundo por primera vez; con las que aprendió de su madre a cultivar flores y las que lo acompañaron a conocer a su nieta recién nacida también seguían en el mismo lugar. Mientras muchos tejidos de su cuerpo se renovaban constantemente, sus fibras más antiguas o las del núcleo permanecían ahí desde el nacimiento, sin posibilidad de regeneración. Como sucede con otras estructuras del cuerpo humano, como las neuronas y las células del músculo cardíaco [1].

Con los años, las células del cristalino y sus proteínas envejecieron junto con don Aurelio, cargando silenciosamente cada rayo de sol que iluminaba sus ojos al despertar; cada jornada de trabajo bajo el sol y cada radical libre. Sin embargo, a don Aurelio no le explicaron que los radicales

Figura 3. La estructura del cristalino. Elaboración propia, adaptado de Brennan et al., 2021 [1].



libres son moléculas "inquietas" a las que les falta una pequeña parte para completarse, llamada electrón. Para compensar esa falta, reaccionan rápidamente con otras moléculas del cuerpo y les quitan el electrón que les falta. En ese intento de estabilizarse, pueden dañar a las proteínas del cristalino porque alteran su forma y su funcionamiento. Cuando se producen demasiados radicales libres y el cuerpo no logra controlarlos con sus defensas naturales como los antioxidantes, se genera lo que se llama estrés oxidante. Como si hubiera pequeños soldados (antioxidantes) dentro del cristalino peleando contra los radicales libres y poco a poco perdieran la batalla.

El estrés oxidante es, simplemente, un exceso de estas moléculas inquietas que empiezan a afectar nuestras células. Este daño ocurre a través de un proceso llamado oxidación. Este proceso se define como un tipo de reacción química en la que las moléculas cambian su estructura al interactuar con sustancias muy reactivas, como los radicales libres. Esto no significa que los radicales libres sean malos, de hecho, cuando se encuentran en pequeñas cantidades, funcionan como transmisores y amplificadores de señales dentro de las células, a esto, lo llamamos segundos mensajeros. Lo malo comienza cuando hay muchos radicales libres en el cuerpo [7].

Lo que don Aurelio estaba viviendo tiene nombre: catarata senil. Era la historia microscópica del envejecimiento de su ojo manifestándose en su día a día.

Al principio no lo notó, porque el ojo es paciente y resistente, pero cuando esos pequeños cambios se acumulan durante años, la ventana deja de ser clara, llegando al momento en que don Aurelio pensaba que sus ojos estaban sucios.

Lo que para él era "suciedad en sus ojos", para la biología era un proceso interesante. Su cristalino llevaba más de siete décadas trabajando sin descanso, sin reemplazar sus células ni renovar sus proteínas [1]. El estrés oxidante, causado por años de luz solar directa en sus ojos, tabaquismo pasivo, una dieta mal balanceada, inflamación y el tiempo habían ido modificando lentamente sus proteínas cristalinas [7].

Por ejemplo, la radiación ultravioleta del sol tiene suficiente energía para provocar reacciones químicas dentro del cristalino. Cuando la luz UV es absorbida por ciertas moléculas del ojo, se generan radicales libres, como el radical superóxido o el hidroxilo. Estas moléculas inestables reaccionan con las proteínas del cristalino, principalmente las llamadas cristalinas, oxidando algunos de sus aminoácidos. Esta oxidación puede romper enlaces, formar nuevos enlaces anormales entre proteínas (como puentes disulfuro) o hacer que cambien su forma. Este proceso se conoce como desnaturalización. Cuando muchas proteínas desnaturalizadas comienzan a pegarse entre sí y formar agregados, el cristalino pierde su organización transparente y empieza a volverse opaco.

En el caso del humo del cigarro, tanto en el tabaquismo activo como pasivo, se inhalan

sustancias altamente reactivas, como radicales libres y compuestos que favorecen su formación. Estas sustancias pasan a la sangre y aumentan el estrés oxidante en distintos tejidos, incluido el ojo. Además, el humo puede disminuir los niveles de antioxidantes naturales del organismo, como el glutatión, que en el cristalino actúa como una especie de "escudo químico" (fig. 4).

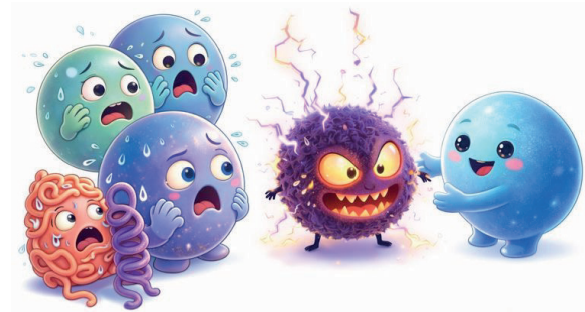


Figura 4. El glutatión protegiendo a las células y proteínas del cristalino, siendo el "escudo químico". Elaboración propia con ChatGPT adaptado de Truscott, 2005 [8].

Cuando el glutatión se agota, las proteínas quedan más expuestas al daño oxidativo [8]. Por otro lado, una dieta baja en frutas y verduras reduce la ingesta de antioxidantes como la vitamina C, la vitamina E y los carotenoides. Estas moléculas ayudan a neutralizar radicales libres antes de que dañen estructuras importantes. Si la defensa antioxidante es insuficiente, los radicales libres pueden oxidar lípidos de membrana, enzimas y proteínas estructurales del cristalino, favoreciendo su deterioro progresivo.

Sin embargo, no todos los adultos mayores desarrollan cataratas. Esto se debe a que intervienen también factores genéticos, ambientales y de estilo de vida. Algunas personas heredan proteínas más resistentes al daño o sistemas antioxidantes más eficientes. Otras han estado menos expuestas a contaminantes ambientales o han mantenido hábitos protectores, como usar lentes con filtro UV, evitar el humo del tabaco, controlar enfermedades como la diabetes y llevar una alimentación equilibrada rica en frutas, verduras y agua.

En conjunto, el paso del tiempo influye, pero no actúa solo. La combinación entre la herencia genética, el entorno en el que vivimos y las decisiones que tomamos día a día pueden acelerar o frenar el proceso que lleva a la formación de cataratas.

En el caso de don Aurelio, esas proteínas desnaturalizadas se volvieron menos solubles, como si algo que antes estaba completamente disuelto en agua comenzara a transformarse en diminutos granos de polvo que poco a poco se acumulaban en su cristalino e impedirían que la luz atravesara su ojo. ¡EXACTO! Igual que el polvo del ventanal del invernadero.

Como las fibras del núcleo del cristalino no se renuevan a lo largo de la vida, estas modificaciones se van acumulando durante décadas. Poco a poco el tejido pierde su organización, se vuelve más rígido y menos transparente. La arquitectura perfecta del cristalino se altera y la luz comienza a dispersarse, y en lugar de dirigirse ordenadamente hacia la retina, ahora rebotaba en distintas direcciones dentro del ojo, creando una visión borrosa, amarillenta y empañada, que era lo que tanto inquietaba a don Aurelio [1].

Una catarata senil no es más que eso, una ventana que ha envejecido, acumulando marcas y recuerdos del paso del tiempo, igual que ese ventanal del invernadero que don Aurelio limpiaba sin descanso.

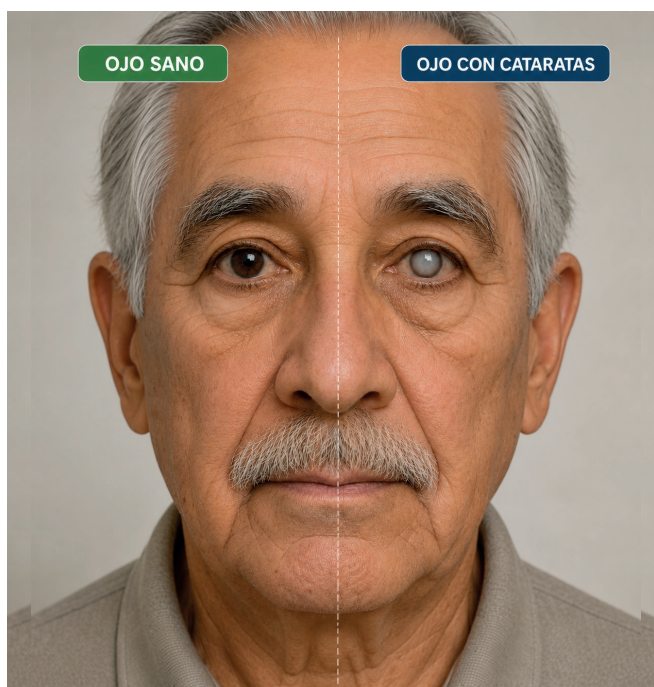
Este delicado equilibrio entre orden, transparencia y daño acumulado explica por qué la catarata senil no aparece de un día para otro. Es el resultado de una vida entera de uso constante de luz, entrando y saliendo millones de veces al día. Y aunque don Aurelio no podía ver ese proceso microscópico, su mirada empañada era la prueba silenciosa de que, con el tiempo, incluso las ventanas más resistentes, también envejecen.

Hoy, los oftalmólogos reemplazan esa ventana cuando se nubla. La cirugía de catarata es una de las más exitosas del mundo, devuelve la visión gracias a técnicas modernas como la facoemulsificación, en la cual se reemplaza el cristalino dañado por uno artificial [2]. Un logro extraordinario que millones de personas han utilizado para volver a ver con claridad aquello que creían perdido. Aunque el paso del tiempo no puede detenerse, hay algo que podemos hacer para reducir la velocidad con la que nuestra ventana se empaña. El cuidado de los ojos comienza mucho antes de que la visión se nuble, con el uso de lentes de sol para protegerlos del exceso de radiación solar, una dieta balanceada con alimentación rica en antioxidantes, hacer ejercicio, evitar el tabaquismo y acudir a revisiones oftalmológicas periódicas. Mientras se mantengan estos hábitos, el estrés oxidante se va a reducir y la organización del cristalino se mantendrá perfecta; las proteínas cristalinas conservan su forma clara, la luz atravesará el cristalino sin obstáculos. Pero basta que este orden empiece a deteriorarse para que la ventana pierda transparencia.

Y eso fue exactamente lo que comenzaba a ocurrir dentro de los ojos de don Aurelio. Después de muchos años trabajando bajo el sol, su cristalino empezó a empañarse lentamente. Sin embargo, su historia no terminó ahí. Don Aurelio pudo recuperar la claridad de su visión y volver a ver el mundo con nitidez, gracias a la cirugía de catarata y a los cuidados adecuados. Su historia es una invitación para cuidar nuestros ojos desde ahora porque, aunque el tiempo avance, cuidar nuestros ojos hoy puede ayudar a que la ventana con la que miramos el mundo permanezca clara por muchos años más.

Imagen generada por inteligencia artificial





Referencias bibliográficas

- 1 *Brennan L, Disatham J, Kantorow M. Mechanisms of organelle elimination for lens development and differentiation. Experimental Eye Research, 2021, 209: 108682. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.exer.2021.108682>*
- 2 *Cabezas M. Cirugía de cataratas hoy: una actualización. Rev Med Clin Las Condes. 2023;34(5):344-358. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2023.09.003>*
- 3 *Giannone AA, Li L, Sellitto C, White TW. Physiological mechanisms regulating lens transport. Frontiers in Physiology, 2021, 12: 818649. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.818649>*
- 4 *Lim JC, Grey AC, Zahraei A, Donaldson PJ. Age-dependent changes in glutathione metabolism pathways in the lens: New insights into therapeutic strategies to prevent cataract formation—A review. Clinical & Experimental Ophthalmology, 2020, 48(8): 1031–1042. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/ceo.13801>*
- 5 *Mehta U, Diep A, Nguyen K, Le B, Yuh C, Frambach C, et al. Quantifying color vision changes associated with cataracts using cone contrast thresholds. Transl Vis Sci Technol. 2020,9(12):11. Disponible en: <https://doi.org/10.1167/tvst.9.12.11>*
- 6 *Oftalvist. ¿Qué es el cristalino del ojo? [Internet]. Alicante: Oftalvist; 2021 [Consultado 1 Mar 2026]. Disponible en: <https://www.oftalvist.es/blog/que-es-el-cristalino-del-ojo>*
- 7 *Spector A. Oxidative stress-induced cataract: mechanism of action. The FASEB Journal, 1995, 9(12): 1173–1182. Disponible en: <https://doi.org/10.1096/fasebj.9.12.7672510>*
- 8 *Truscott RJW. Age-related nuclear cataract—oxidation is the key. Experimental Eye Research, 2005, 80(5): 709–725. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.exer.2004.12.007>*