

Revisión

Ojo, luz, vida y evolución

León Garzón¹, Ángeles Caveró²¹Laboratorio de Energía Nuclear. ETS de Ingenieros de Minas. C/ Independencia 13. 33004- Oviedo. E-mail: garzonio7@yahoo.es²Consejería de Bienestar Social. Generalitat Valenciana. Centro de Evaluación y Orientación. C/ Fernando Madroñal 52, 03007- Alicante. E-mail: radonwww@yahoo.es

Las cataratas exhiben el fenómeno de la dispersión de la luz provocada por partículas de tamaño adecuado que se forman en el seno del cristalino. Aquí consideramos algunos de los aspectos físico-químicos más relevantes asociados a las cataratas, desde el efecto Tyndall a la evolución de las especies, así como a los posibles mecanismos de su formación.

■ Las cataratas consisten en la pérdida de la agudeza visual producida por la disminución de la transparencia del cristalino (concomitante con la ganancia de la opacidad), cuando la luz pasa a su través. En lugar de un medio transparente, la luz atraviesa un medio poblado de finas partículas, como si fuera una niebla iluminada por los faros de un automóvil [1,2]. Los mecanismos propuestos hasta ahora [3,4,5] para explicar los hechos no están libres de algunas objeciones y/o precisan un mejor conocimiento de las transformaciones ocurridas. Esta circunstancia se explica porque el sistema objeto de estudio, y en particular el cristalino, posee una enorme complejidad, tanto en su estructura como en sus funciones [6,7,8].

Con una visión integradora del mundo en que vivimos, intentamos en este trabajo describir coherentemente los aspectos físico-químicos más importantes asociados a las cataratas, los posibles mecanismos de su formación y los aspectos biológicos que pueden ser de interés para el tema.

Resultados y discusión

Las cataratas se observan cuando la luz atraviesa el ojo; se deben a la difracción producida por partículas de tamaño pequeño que se encuentran distribuidas, no uniformemente, en el interior del cristalino. Puesto que este fenómeno colectivo de dispersión no es privativo del ojo [9,10], nos ha parecido que podría tener interés dedicarle unas líneas. Vamos a ver, por lo tanto, que el ojo en general y el de los humanos en particular se halla integrado en su medio ambiente. El llamado efecto Tyndall [11,12] (Figura 1), es mucho más general de lo que cabría esperar. Aparece cuando la luz visible atraviesa un medio en el cual existen partículas de un tamaño comparable con la longitud de onda de la luz. Al incidir sobre éstas, la luz se difracta, y si es compleja, se descompone en sus componentes,

siendo el azul el que lo hace con mayor intensidad (dispersión de Rayleigh). Para partículas un poco mayores, existe dispersión (dispersión de Mie) con escasa descomposición. La dispersión es asimétrica en este último caso, estando reforzada en el sentido del avance de los rayos luminosos.

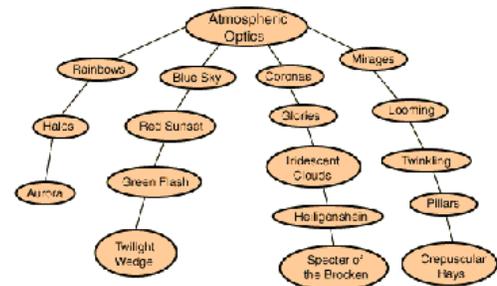


Fig 1. Diagrama de flujo mostrando varios fenómenos de óptica atmosférica en los que se exhibe el efecto Tyndall (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.htm>).

Son muy numerosos los ejemplos naturales del efecto Tyndall, por lo que solamente consideramos alguno de ellos. El color azul del cielo, el rosado de la aurora y ocaso, el color de las nubes, el del agua del océano, son manifestaciones de dicho efecto que tienen su sede en los ambientes citados. Los rayos de luz al atravesar ciertos recintos, como interiores de iglesias y profundidad de algunos bosques (Figura 2); la niebla iluminada por los faros de un automóvil, muestran asimismo el citado fenómeno. Si no fuera por el efecto Tyndall, el cielo no sería azul, sino negro.



Figura 2. La presencia del polvo atmosférico explica la visibilidad de los rayos solares en su recorrido a través de la espesura del bosque.

Ciertos minerales, como el cuarzo ahumado y lechoso, lo exhiben, lo que es debido a partículas de grafito y a diminutas porciones de aire dispersadas respectivamente en uno y otro caso en los minerales citados. La blancura de la espuma de las olas (Figura 3), la de la clara de huevo batida o la de la espuma del jabón, son otros ejemplos de aerosol, en los que pequeñas porciones de aire se encuentran dispersadas en el seno de un medio continuo. Nótese que, en el caso de los minerales, el sistema disperso ha quedado congelado desde que se produjo su cristalización.



Figura 3. Diversas coloraciones en una masa de agua pulverizada por el impacto sobre una roca emergente. La distinta coloración que se observa es debida al diferente tamaño de las partículas de agua dispersadas en el seno del volumen.

Las disoluciones coloidales muestran también este fenómeno. Los ejemplos en este caso son muy numerosos y a veces llamativos. La plata y el oro coloidales son muy conocidos en Química Inorgánica. La llamada púrpura de Casius es una disolución acuosa de oro coloidal.

Las macromoléculas suelen formar también disoluciones coloidales. Los colores de ciertos animales, como los de las mariposas, los del ave del paraíso (quetzal), etc. se explican

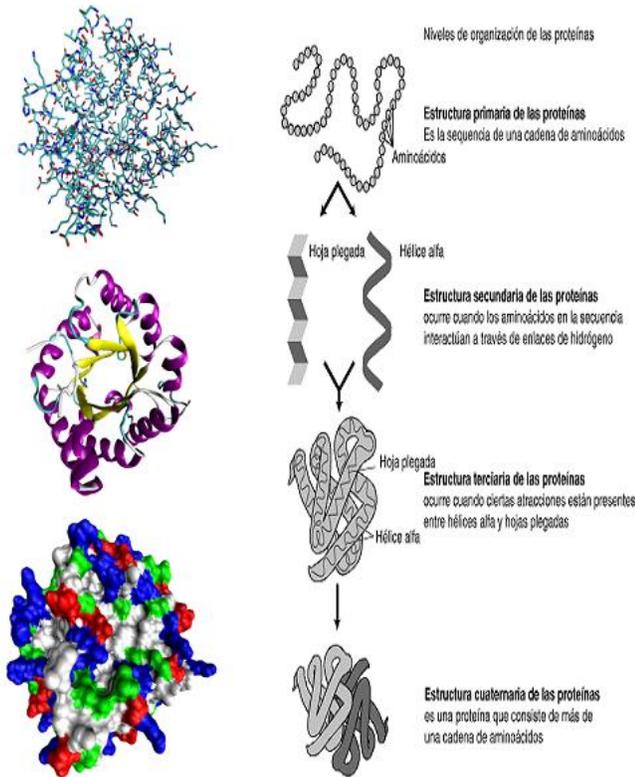
por el efecto Tyndall. Todos estos ejemplos pertenecen a nuestro hábitat, más allá del cual el efecto Tyndall aparece con profusión debido a la presencia del polvo cósmico [13] junto con luz visible procedente directa o indirectamente de satélites, planetas y estrellas. Un ejemplo muy conocido es el de las Pléyades (Figura 4) [14], un cúmulo abierto, en el que las estrellas más luminosas exhiben los típicos halos de color azulado.

En el caso de las cataratas, la presencia de partículas en el seno del cristalino, origina el mismo fenómeno, ocurriendo una pérdida de transparencia de la lente ocular y un aumento paralelo de su opacidad, influyendo negativamente en la visión.



Figura 4. Se muestra una fotografía del cúmulo estelar abierto de las Pléyades, conocidas también con el nombre de las 7 cabrillas, el cual es fácil de localizar con unos prismáticos de campo. El halo azulado que rodea a las estrellas más intensas, se debe al efecto Tyndall y demuestra la presencia universal del polvo cósmico.

Podemos considerar a las proteínas como el gran triunfo del conocimiento científico actual, en el que convergen principalmente la físico-química y la biología. Son las moléculas orgánicas de mayor complejidad, dominadas por el carbono, mucho más complejas que los microcristales de arcilla, dominados por el silicio, que pertenecen al mundo inorgánico. El triunfo de la vida sobre este planeta se debe a las principales características de las proteínas, especialmente a su enorme versatilidad, pues no solamente son materiales estructurales sino que además realizan muchas funciones. El universo de las proteínas es inmenso, por lo que nos limitaremos a recordar que son polímeros de aminoácidos, en los que la cadena de átomos de carbono se conserva cuando éstos se unen formando nuevos enlaces covalentes, los más fuertes de la química. La hebra así formada, se encuentra normalmente plegada siendo esta forma mucho más estable que la no plegada. Un resumen acerca de estas formas aparece en la siguiente figura (Figura 5).



El cristalino está formado mayoritariamente por células que crecen continuamente con la edad. Dispuestas en capas, contienen proteínas en disolución muy concentrada, llamadas cristalinas. Su transparencia depende de la estabilidad y solubilidad de las α , β y γ cristalinas [6,15,16]. La diversidad de las moléculas proteicas representa el triunfo de la evolución, puesto que actúan, bien como elementos estructurales o de sostén, para la construcción de cualquier ser vivo, o bien como responsables de ciertas funciones, siendo una de las más importantes la función vital. Son por consiguiente las protagonistas de los seres vivos. Tanta maravilla, sin embargo, tiene un precio, que en este caso es una característica que les es propia y que tiene que ver con su transformación en agregados de muchas de ellas, que llegan a transformarse en partículas, las cuales son las causantes de la pérdida de transparencia del cristalino.

A pesar del trabajo realizado hasta el momento presente, tanto teórico como experimental, lo mismo in vivo que in vitro, aún no se conocen con suficiente exactitud los mecanismos actuantes que conducen a la formación de un sistema disperso de partículas, responsable de las cataratas.

Lo más razonable es suponer que las proteínas en disolución se encuentran prácticamente en estado nativo [2], es decir, plegadas. Ello se explica porque el estado plegado es mucho más estable que el estado no plegado.

Sometidas a la acción de los radicales libres (ROS), las proteínas pueden oxidarse, haciéndolo principalmente cuando

existen grupos -SH, los cuales se transforman fácilmente en puentes disulfuro (-S-S-) con lo cual se duplica la masa molecular. Si este proceso, como suele ser habitual, se repite, el resultado es la formación de agregados, que finalmente se transforman en partículas, que son las responsables de la mayor parte de las cataratas. Las proteínas desplegadas son más fáciles de oxidar que las plegadas, pero como su concentración es muy inferior a la de éstas, la producción de partículas por esta otra vía debe ser despreciable frente a la inicialmente considerada. Hablaremos a continuación de los oxidantes.

Los más importantes son los ROS [3,1], el anión superóxido, el radical hidroxilo y el peróxido de hidrógeno. Por su estabilidad y movilidad, el más importante es el último. Atendiendo a su origen pueden ser endógenos y exógenos; los primeros se forman principalmente en el seno de las mitocondrias y los segundos por la acción de las radiaciones UV y/o ionizantes [17,18]. El estado de singlete en la molécula de O_2 , resultado de la absorción de energía fotoquímica por el oxígeno, normalmente se comporta también como un importante ROS [3]. El término singlete significa que existe un electrón no apareado celibatario, que es el responsable de la gran actividad de esa configuración electrónica de la molécula de oxígeno. El efecto se produce cuando la corteza electrónica del oxígeno recibe el impacto de un fotón.

Como resumen de lo anterior podemos decir que: Los ROS oxidan las proteínas selectivamente, tras de lo cual los restos de las moléculas formadas pueden unirse, aumentando de tamaño. Si el proceso se repite, se puede formar un agregado de gran masa molecular, es decir, una partícula. Otra posibilidad es la oxidación de la forma parcial o totalmente desnaturalizada, la cual puede llegar a fragmentarse.

Con mucha razón al metabolismo se le ha llamado El fuego de la vida. Parte de la energía liberada en el metabolismo se utiliza en la formación de los ROS, que se pueden considerar como agrupaciones atómicas covalentes cuya misión consiste en proporcionar un adecuado vehículo a electrones desapareados, los cuales poseen un gran poder oxidante, debido a que tienden a formar parejas con los electrones de las sustancias presentes, que resultan oxidadas. Por ello, la velocidad de producción de los ROS, excluidos los de origen fotoquímico, deberá ser proporcional a la velocidad del metabolismo, la cual, a su vez, viene dada por una sencilla ecuación, en la que como variable independiente figura la masa del cuerpo, elevada a un exponente, llamado de escala, cuyo valor es de 0.66 [19,20,21,22,23,24].

La mayoría de las reacciones biológicas son reacciones de superficie, por lo tanto, su velocidad es proporcional a la cantidad de superficie que interviene en la reacción. Son precisamente las mitocondrias (Figura 6) los objetos que proporcionan una gran superficie en su interior, como si se tratara de un laberinto, y dentro de ellas, se crean los ROS, desde donde emigran hacia el exterior en su intento de igualar las concentraciones. Difundiéndose a través del medio celular, los ROS reaccionan con las moléculas que encuentran a su paso y, en particular, con las proteínas disueltas, las cuales

pueden transformarse en partículas. Desde el punto de vista teórico cabe considerar dos tipos de proteína, el estado plegado (folding) y el estado no plegado (unfolding), de los cuales el primero, al ser el más estable, es también el más abundante. Esta situación es la que se da en el ojo, ocurriendo además que la proteína no plegada se oxida más fácilmente que la plegada [25,26]. Es como si la frondosidad de la forma plegada protegiera a los centros activos de la llegada hasta ellos de los ROS. Conceptualmente, de este análisis se infiere que los mecanismos de formación de partículas deben de ser diferentes para ambos tipos. En aras de la sencillez y de la escasa concentración en el ojo de las proteínas no plegadas, en esta discusión nos referiremos únicamente a la oxidación de las proteínas plegadas, hasta llegar a tamaños adecuados. Combinando los aspectos anteriores se llega a la conclusión de que la velocidad de producción de los ROS es, al igual que el metabolismo, proporcional a la masa elevada al mismo exponente.

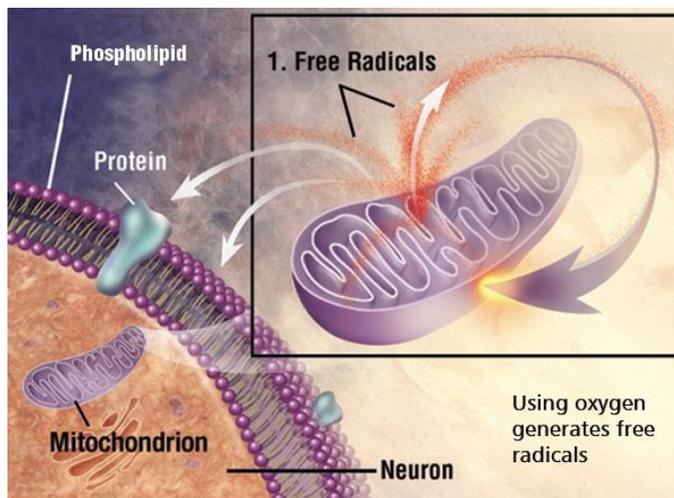


Figura 6. En las mitocondrias se favorece el metabolismo por tratarse de una reacción de superficie sólido-gas. En la figura se observan mitocondrias exhibiendo su gran superficie efectiva interna (Modificado de Alzheimer's Disease Unraveling the Mystery)

El mecanismo principal de oxidación consiste en la formación de enlaces disulfuro (-S-S-) a partir de restos -SH, es decir, la formación de un agregado de dos moléculas, duplicándose la masa molecular. Si este proceso se repite, llegarán a formarse partículas. [27,28,29,30,31,32] de tamaños de unos $2 \cdot 10^7$ Da., adecuados para difractar la luz.

El estudio anterior pone claramente de manifiesto que la masa del cuerpo es un factor de riesgo para la aparición de cataratas [33,34,35,36,37].

Como es bien conocido la velocidad de todos los procesos depende de la temperatura del sistema en el seno del cual tienen lugar los cambios, sean físicos o químicos. Ocurre que la velocidad de estos cambios aumenta con el incremento de la temperatura y, contrariamente, disminuye cuando la temperatura decrece. Una regla aproximada orientativa es que

un aumento de 10 grados duplica la velocidad. Como para cada proceso, la velocidad depende del tiempo transcurrido para su terminación, dichos tiempos son por consiguiente pequeños para temperaturas altas y, contrariamente, son grandes para temperaturas bajas. Una cuestión tan trivial tiene grandes implicaciones evolutivas. Los objetos inertes como los minerales pueden existir sin descomponerse, dentro de amplios intervalos de temperatura, en general, desde las más bajas (del orden de pocos grados Kelvin) hasta las de centenares de grados (los puntos de fusión). En cambio, para la materia viva, el intervalo de temperatura es mucho más estrecho. Los límites inferiores coinciden aproximadamente para unos y otros, mientras que son bastante diferentes los límites superiores, dado que los enlaces de la vida se rompen a 160°C y las bacterias más resistente pueden vivir a 113°C [38,39]. A las temperaturas bajas, incluso próximas al cero absoluto, la prácticamente nula actividad determina un tiempo de vida muy dilatado. A este estado particular se le ha llamado dormant state.

Las cataratas, según hemos visto anteriormente, se deben al cambio que experimentan con el tiempo las proteínas del cristalino, que ha mantenido su temperatura a lo largo del mismo, desde que existimos como especie. Si las consideramos como una patología general del ojo de los seres vivos y en particular del ojo de los mamíferos, nos encontramos que la temperatura ha ido variando a lo largo de la sucesión de las especies. Desde valores muy próximos a los del ambiente, para las especies más primitivas, hasta valores del orden de los 30 grados para mamíferos, primates y homínidos. Este aumento de la temperatura explica que los tiempos de evolución hayan ido disminuyendo. Teniendo en cuenta las circunstancias anteriores se alcanza un estado de compromiso para el valor de la temperatura que sea compatible con los tiempos de evolución. Ocurre que si la temperatura aumenta las cataratas se presentan antes y el tiempo de especiación es menor, y contrariamente, si la temperatura disminuye. Por nuestra parte hemos estimado que a la temperatura de 30°C los humanos estarían libres de cataratas (puesto que aparecerían, por término medio, a los 180 años, en vez de a los 60), pero la hominización, es decir, el cambio de especie desde chimpancé al homo sapiens-sapiens, hubiera empleado unos 9 millones de años. A mayor temperatura se tendría la situación contraria. Si $t=41^{\circ}\text{C}$, las cataratas aparecerían a la edad de 28 años y el tiempo de hominización sería de 0.6 millones de años, demasiado corto quizás para que se produjeran en el ojo las adaptaciones pertinentes.

La mayor velocidad en el proceso evolutivo, a temperaturas altas y por lo tanto el menor tiempo de evolución podría no haber sido lo suficientemente largo para la construcción de ciertas estructuras, de las cuales, una podría haber sido el ojo. Así pues, debemos concluir que la temperatura de 36.5°C de la especie humana se puede interpretar como resultado de un compromiso entre dos efectos contrapuestos. Con todo, la mayor temperatura de los mamíferos acertó mucho los posteriores tiempos de especiación.

Por sus especiales características, el ojo siempre ha sido considerado como uno de los órganos más perfectos de los

seres vivos en general y del ser humano en particular, habiéndosele comparado con una cámara fotográfica [40], incluso superando las prestaciones de ésta. Resulta curioso señalar que la recientemente llamada nanotecnología existiese ya en los albores del comienzo de la vida sobre este planeta, y resolviese problemas que aún no los comprendemos en todo su alcance y significado, bastando citar el propio origen de la vida a partir de los materiales existentes en la tierra, y de otros formados en la llamada química prebiótica [41]. Refiriéndonos al ojo, llaman la atención muchos de sus componentes, y en particular, la naturaleza de la lente, un objeto orgánico diseñado especialmente para producir la refracción de la luz y focalizarla en la retina [3,42], consiguiéndose, de esta forma, el extraordinario fenómeno de la visión.

En el curso de la evolución del mundo inorgánico en este planeta se alzó una muralla que detuvo el proceso evolutivo. Así parecen demostrarlo los primeros replicadores, (los microcristales de arcilla), y los polímeros de silicio (silicatos) en los que la ausencia de plasticidad a temperaturas adecuadas (las de la existencia de los tres estados físicos del agua), hizo imposible un mayor acercamiento hacia el nacimiento de la vida [41].

Cristalino claro y normal



Cristalino nublado a causa de una CATARATA



El proyecto inorgánico de vida, basado en el silicio, quedó ampliamente superado con la aparición de los polímeros abióticos del carbono. En cualquier caso las estabildades de las moléculas son favorables para la gran mayoría de las inorgánicas, aún en el caso de que, por circunstancias fortuitas, se las aisle de la presencia de otras moléculas agresoras, en particular de los ROS. ¿Dónde podemos encontrar estructuras inorgánicas que muestren un intento de construcción de sistemas parecidos, en la forma y función, al cristalino?. Estructuras en capas en el mundo inorgánico las encontramos en ciertos silicatos, como los llamados laminares (arcillas, talco, etc.), en el grafito, en el nácar y en las perlas. Siendo éstas casi esféricas, parece que se aproximan a la forma del cristalino humano y mucho más al de los peces. Éste es transparente y las perlas no lo son por estar formadas por varias capas de carbonato cálcico. Estas capas reflejan, en

parte, la luz incidente, siendo el resto absorbido. La luz reflejada se comporta de forma parecida a como sucede con las láminas delgadas, sean las manchas de aceite extendidas sobre el pavimento humedecido, o las pompas de jabón. En resumen, podríamos señalar que cualquier otro sistema diferente del propio cristalino, hubiera sido prácticamente inviable en la construcción del órgano visual de los organismos vertebrados. Se han realizado estudios sobre la influencia de la radiación UV, X e ionizante en el cristalino de diversos animales [31,43] y de cataratas en animales domésticos [44]. En estas cuestiones no vamos a entrar porque se saldrían de los límites de nuestro trabajo. Haremos, no obstante, algunas observaciones al respecto.

Puesto que, según dijimos las cataratas son muy sensibles a la temperatura del cristalino, cabe esperar que el tiempo de su aparición sea también sensible a dicha variable, por lo que la aparición de esta patología en reptiles debe diferir significativamente del correspondiente a los mamíferos. Probablemente, la principal divergencia sería la debida a la distinta temperatura que, a igualdad de otros factores, haría más resistente a los primeros que a los segundos frente a las cataratas y probablemente frente al cáncer.

El tipo de alimentación debe también influir. El caso de ciertas aves puede servirnos de ejemplo en animales de temperaturas parecidas. Por sus masas deberían tener longevidades como las de un ratón, y sin embargo algunas llegan al centenar de años [45,46]. ¿Dónde está el secreto?. De momento la única explicación sería la dieta, rica en antioxidantes [47,48], que se encargarían de reaccionar con los radicales libres, destruyéndolos. La presencia de electrones deslocalizados en ellos explicaría su comportamiento ya, que como hemos visto, poseen un electrón desapareado dispuesto a enlazarse con un electrón deslocalizado, como ocurre, por ejemplo, con los ascorbatos tocoferol y carotenoides [49].

Los análisis llevados a cabo sobre la identificación de la materia insoluble en agua parecen indicar que aparte de las reacciones de oxidación, intervienen algunas otras [5].

Conclusiones

- 1.- El efecto Tyndall muestra la integración de los seres vivos y particularmente la del ser humano en el ambiente.
- 2.- El metabolismo ocular es el responsable de la producción de los radicales libres, por lo que la masa del individuo es un factor de riesgo en la aparición de cataratas.
- 3.- La temperatura afecta al tiempo de aparición de las cataratas y al de especiación (mamíferos → Homo sapiens) en sentido inverso.
- 4.- La necesaria plasticidad de los tejidos vivos, desvió la evolución de las moléculas hacia los compuestos del carbono, no del silicio.
- 5.- En resumen, parece necesario un mayor aporte de trabajo, tanto teórico como experimental, para alcanzar un conocimiento más realista de los hechos implicados en los procesos del deterioro del cristalino. ■

BIBLIOGRAFIA

- [1] Lou MF. Redox regulation in the lens. *Progress in Retinal and Eye research* 2003;22,657-658.
- [2] Bloemendal et al. Ageing and vision: structure, stability and function of lens crystallins. *Prog Biophys Mol Biol* Nov 2004;86(3):407-85.
- [3] Spector A. Oxidative stress-induced cataract: mechanism of action. *The FASEB Journal* 1995,Vol 9;1173-1182.
- [4] Benedek GB. Cataract as a protein condensation disease. *The Proctor Lecture. Investigative Ophthalmology and Visual Science* 1997;Vol 38,Nº 101.
- [5] Hanson SRA, Hasan A, Smith DL and Smith JB. The major in vivo modifications of the human water-insoluble lens crystallins are disulfide bonds, deamidation, methionine oxidation and backbone cleavage. *Exp Eye Res* 2000;71,195-207.
- [6] Testut L and Latarjet A. *Tratado de Anatomía Humana, Tomo III*, Salvat Editores, S. A., Barcelona, 1988; p 625-648.
- [7] Jaenicke R. Protein stability and molecular adaptation to extreme conditions. *Eur J Biochem* 1991;202,p 715-728.
- [8] Kanski JJ *Oftalmología Clínica*. Elsevier, 5ª Edición, Madrid, 2004;p. 186-194.
- [9] Simon RP and Abele JS. Spinal-fluid pleocytosis estimated by the Tyndall effect. *Ann Intern Med* Jul 1978;89(1):75-6.
- [10] Hirsch RJ, Narurkar V and Carruthers J. Management of injecte hyaluronic acid induced Tyndall effects. *Laser Surg Med* Mar 2006;38(3):202-4.
- [11] Tyndall J and William F, editor. *Scientific memoir, selected from the transactions of foreing academics of science and from foreing journals. Natural Philosophy* 1853;359 212.
- [12] Tyndall J. *Lectures on light*, N. Y. D. Appleton and Company 1873.
- [13] Greenberg JM and Pirronello V, editor. *Chemistry in Space*, Kluwer, Dordrecht 1991.
- [14] Audouze J and Guy Isra'el, editores. *The Cambridge Atlas of Astronomy*. Cambridge U. Press. [1st Edit.] 1985, HB, dj, B&W & Color fotos, mint.
- [15] Delaye M and Tardieu A. Short-range order of crystallin proteins accounts for eye lens transparency. *Nature* 1983;302(5907),415-417.
- [16] Fernand RD and Weright SE. Maintenance of optical quality during crystalline lens growth. *Nature* 1983,301,618-620.
- [17] Beckman KB and Ames BN. The free radical theory of aging matures. *Physiol Rev* 1998 Apr;78(2):547-81.
- [18] Ames BN, Shigenaga MK and Hagen TM. Oxidants, antioxidants and the degenerative diseases of aging. *Proc Natl Acad Sci U S A*. Sep 1,1993;90(17):7915-22.
- [19] Beckman KB and Ames BN. Mitochondrial aging: open questions. *Ann N Y Acad Sci* 1998 Nov 20;854:118-27.
- [20] Heusner J. Size and power in mammals. *J Exp Biol* 1991;160,25-54.
- [21] Dodds AJ, Rothman DH and Weitz JS. Re-examination of the ¾ law of Metabolism. *J Theor Biol* 2001;209,9-27.
- [22] White CR and Seymour RS. Mammalian basal metabolic rate is proportional to body mass^{2/3}. *PNAS* 2003;100,4046-4049.
- [23] White CR and Seymour RS. Allometric scaling of mammalian metabolism. *J Exp Biol* 2005;208,1611-1619.
- [24] West GB and Brown JH. Origin of Allometric scaling laws from genomes to ecosistemas: Towards a quantitative unifying theory of biological structure and organization. *J Exp Biol* 2005;208,1575-1572.
- [25] Shannon LF, Kosinski-Collins MS and King J. Interdomain side-chain interactions in human 2D crystalline influencing folding and stability. *Protein Science* 2005,14,2039-2043.
- [26] Boscia F, Grattagliano I, Vendemiale G, Micelli-Ferrari T, Altomare E. Protein oxidation and lens opacity in humans. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2000 Aug;41(9):2461-5.
- [27] Ortwerth BJ, Oleson PR. Age-related nuclear cataract: A lens transport problem. *Exp Eye Res* 1988;47:737-750.
- [28] Nagaraj RH, Sell DR, Prabhakaram M, Ortwerth BJ and Monnier VM. High correlation between pentosidine protein crosslinks and pigmentation implicates ascorbate oxidation in human lens senescence and cataractogenesis. *Proc Natl Acad Sci (USA)* 1991;88,2222,10257-10261,11/1991.
- [29] Lou MF, Dickerson JE Jr and Garadi R. The role of protein-thiol mixed disulfides in cataractogenesis. *Exp Eye Res* 1990 Jun;50(6):819-26.
- [30] Lou M F et al. Further studies on the dynamic changes of glutathione and protein-thiol mixed disulfides in H2O2 induced cataract in rat lenses: distributions and effect of aging. *Curr Eye Res* 1995 Oct;14(10):951-8.
- [31] Lou MF. Thiol regulation in the lens. *J Ocul Pharmacol Ther* 2000 Apr;16(2):137-48.
- [32] Davies MJ. Radiation Chemistry at the RCDC. *J Phys Chem Ref Data* 1988,17,513-886; *J Phys Chem* 1988,17,1027-1284,1997.
- [33] Caulfield LE, West SK, Barrón Y and Cid-Ruzafa J. Anthropometric status and cataract: the Salisbury Eye Evaluation project. *American Journal of Clinical Nutrition* 1999,Vol 69,No 2,237-242.
- [34] Schaumberg DA, Glynn RJ, Christen WG, Hankinson SE and Hennekens ChH. Relations of body fat distribution and height with cataract in men. *American Journal of Clinical Nutrition* 2000,72,6,1495-1502.
- [35] Jacques PF et al. Weight status, abdominal adiposity, diabetes, and early age-related lens opacities. *American Journal of Clinical Nutrition* 2003;Vol 78,No 3,400-405.
- [36] Lu M et al. Dietary fat intake and early age-related lens opacities. *Am J Clin Nutr* 2005,81(4),773-779.
- [37] Lou MF, Rachdan D and Harding JJ. Glutathione reductase from human cataract lenses can be revived by reducing agents and by a molecular chaperone, alpha-crystallin. *Curr Eye Res* 2005 Oct;30(10):919-25.
- [38] Pedersen K. Microbial Life in Deep Granitic Rock. *FEMS Microbiol Rev* 1997;20,399-414.
- [39] Garzón L. Microbial Life and Tempertature: A semiempirical approach. *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 2004;34,421-438.
- [40] Mitchel HP. *Fisiología general*, Editorial Labor, S.A., Barcelona, 1936, p 195-215.
- [41] Cairns Smith AG. *Siete pistas sobre el origen de la vida*, Alianza Ediciones del Prado, Madrid, 1994.
- [42] Benedek et al. Theoretical an experimental basis for the inhibition of cataract; *Progress in Retinal and Eye Research* 1999;18,391-402.
- [43] Kis AJ, Mirarefi AY, Ramakrishnans, Zukoskicf, Devries AL, Cheng CH. Cold-stable eye lens crystallins of the Antartic nototheniid toothfish *Dissostichus mawsoni* Norman. *J Exp Biol* 2004 Dec;207(Pt 26):4633-49.
- [44] Gelatt KN and Mackay EO. Prevalence of primary breed-related cataracts in the dog in North America *Vet Ophthalmol* 2005 Mar-Apr;8(2):101-11.
- [45] Dorey CK, Granata L, Nichols CR, Cheng KN, Craft NE. Dietary modulation of lens zeaxanthin in quail. *Exp Eye Res* 2005 Oct;81(4):467-77.
- [46] Munshi-South J and Wilkinson GS. Diet influences life span in parrots (Psittaciformes). *Auk* 2006,125(1):108-118.
- [47] Varma S D. Scientific Basis for medical therapy of cataracts by antioxidants. *Am J Cli Nutr* 1991;53:335-45.
- [48] Hartmann D et al. Plasma kinetics of zeaxanthin and 3-dehydro-lutein after multiple oral doses of synthetic zeaxanthin. *Am J Clin Nutr* 2004;79:410-7.
- [49] Espín de Gea JC and Tomás-Barberán F. Polifenoles y salud. *Propiedades biológicas de los polifenoles de la uva y la granada. Investigación y Ciencia Mayo* 2006;34-36.

Publicado por **iMedPub Journals**

<http://www.imedpub.com>

ARCHIVOS DE MEDICINA es una revista en español de **libre acceso**

Publica artículos originales, casos clínicos, revisiones e imágenes de interés sobre todas las áreas de la medicina

ARCHIVOS DE MEDICINA se hace bilingüe

Para la versión en inglés los autores podrán elegir entre publicar en Archives of Medicine (<http://archivesofmedicine.com>) o International Archives of Medicine (<http://www.intarchmed.com>)

Eye, light, life and evolution.

Abstract

Cataracts are due to dispersion of light caused by particles which appear in the crystalline with age. Here we consider some physical-chemistry aspects of cataracts, from the Tyndall effect to the evolution of the species, as well as the feasible mechanisms of its formation.

Keywords: Evolution, lens, proteins, ROS, temperature, Tyndall effect