

## LOS COLORES DEL CIELO Y LA XIV OLIMPIADA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

Enrique Gómez Treviño

CICESE, División de Ciencias de la Tierra,

Ensenada, Baja California, México 22860

Si el cielo fuese verde a nadie le extrañaría, como tampoco nos extraña que de hecho sea azul. El color del cielo es uno de esos fenómenos que, por ser tan cotidianos, los damos por triviales sin mayor consideración. Si un mes el cielo fuese azul y el otro mes verde, para cambiar después a rojo o naranja, entonces sí que llamaría la atención y forzaría a la mente a buscar explicaciones. Y sin embargo, a pesar de ser algo tan común que apenas si llama la atención, ha habido desde hace miles de años personas para quienes el color de cielo requiere de una explicación en términos más elementales que simplemente decir que es azul, porque ese es su color, azul. Explicar algo en términos más elementales significa proponer una hipótesis de lo que está detrás o más allá de lo que se ve a simple vista. Se trata de des-cubrir lo que está cubierto.

La primera sospecha de que debe haber algo más allá de lo que se ve a simple vista proviene de observaciones de sentido común. En el caso del cielo tenemos que el aire es transparente a la luz, o al menos eso parece. No se puede detectar, de día o de noche, si una linterna de mano está encendida o apagada, a no ser que la veamos de frente o que ilumine algo. Esto indica que la luz simplemente se pasa de largo sin ser afectada por el aire, o bien que el aire es transparente. Pero si el aire es transparente entonces la luz del Sol se pasaría de largo y el cielo debería ser oscuro. Veríamos luz solamente viendo el Sol directamente, como en el caso de la linterna. Pero el hecho es que el cielo se ilumina, y se ilumina incluso por un buen rato después de la puesta del Sol.

Esto nos lleva a que el aire no es tan transparente como parece. ¿Qué es lo que lo hace que no sea tan transparente? ¿Y por qué azul? ¿Y por qué rojo al atardecer? ¿Y por qué en experimentos con linternas, en pequeños volúmenes, el aire sí es transparente?

La aventura de des-cubrir lo que está detrás de estos fenómenos le tomó a la humanidad miles de observaciones, hipótesis, experimentos y cálculos a lo largo de muchos siglos. Destacan los trabajos pioneros e ideas científicas del mundo árabe de alrededor del siglo X. Posteriormente en Europa, personajes tan brillantes como Leonardo da Vinci y Newton realizaron observaciones y experimentos al respecto pero fallaron en descifrar el enigma. Alrededor del año 1800 se descubre que la luz azul del cielo está polarizada, más experimentos y observaciones, más hipótesis descartadas y así llega la parte final del siglo XIX. Lord Rayleigh propone una teoría más o menos convincente basándose en los experimentos de Tyndall, pero con ciertas deficiencias que fueron luego completadas por Einstein. Y llega 1918. El hijo de Lord Rayleigh demuestra experimentalmente que no se requieren partículas extrañas al aire para que la luz se esparza según había predicho su padre. Y es que Lord Rayleigh, al igual que todos los científicos anteriores excepto Alhazen, tenían su partícula favorita, para unos era polvo, para otros gotitas de agua, humo o cristaltos de sal.

Las 25 preguntas sobre este tema que se incluyeron en el examen de la XIV Olimpiada recrean esta fascinante historia sobre el color del cielo y aspectos relacionados.

Lugar	Estudiante	Escuela	Ciudad	Profesor
Primero	Christian Uriel Pérez Delgadillo	COBACH La Mesa	Tijuana	Manuel Armando Gómez Piñón
Segundo	Guadalupe Susan Ramos García	COBACH La Mesa	Tijuana	Manuel Armando Gómez Piñón
Tercero	Francisca Saldaña Velazco	COBACH Tijuana Siglo XXI	Tijuana	Gabriela de la Selva Rubio

Estas preguntas se incluyen al final del presente artículo. En lo que sigue se presenta la guía que se publicó un mes antes del examen. En esta ocasión presentaron el examen 137 estudiantes provenientes de preparatorias de Mexicali, Tijuana, Rosarito, San Felipe y Ensenada. Los ganadores fueron

## **Guía para la XIV Olimpiada Estatal de Ciencias de la Tierra Instalaciones del CICESE, Ensenada, Baja California Sábado 29 de noviembre de 2008**

El examen de la XIV Olimpiada constará de dos partes. La primera se basará en las preguntas de las olimpiadas VI (año 2000) y X (año 2004), según se encuentran en artículos de la revista GEOS. En esta revista de la Unión Geofísica Mexicana se han publicado cada año los informes de cada olimpiada, con una parte de las preguntas y con alguna reflexión sobre el tema del año. En esta misma página pueden consultar o descargar todos los artículos que se han escrito al respecto, los cuales a la fecha son 12, aunque se han realizado 13 olimpiadas (sólo hay 12 artículos porque en el primero se cubren la primera y la segunda). Leyendo los artículos podrán darse una idea de cómo han ido cambiando las cosas en estas olimpiadas, el tipo de preguntas así como los temas de cada año. Sin embargo, para el examen revisen muy bien los correspondientes a las dos olimpiadas mencionadas, porque 75 preguntas de las 100 que acostumbramos poner en cada examen saldrán de esos artículos. En el artículo sobre la olimpiada VI hay 30 preguntas y en el de la X hay otras 50. En total encontrarán 80 preguntas, de las cuales se escogerán 75 para el examen de la presente olimpiada. Decidimos revivir la mitad de las preguntas de la X olimpiada, la del año 2004 que trata sobre el Calentamiento Global, dado el renovado interés sobre este tema en el último año, con la entrega del Premio Nobel 2007 a Al Gore.

Sin embargo, para no perder la costumbre de preguntas nuevas y mantener la emoción que trae consigo lo inesperado, decidimos incluir 25 preguntas nuevas, las cuales no conocerán sino hasta que estén en el examen. Estas preguntas versarán sobre observaciones de la atmósfera que ustedes mismos pueden realizar todos los días y que pueden plasmar en preguntas concretas. Por ejemplo: se observa que el cielo es azul. La pregunta obligada sería: ¿Cómo, o porqué, es que el cielo es azul? Otra: se observa que aún después de la puesta del Sol tenemos un buen rato de luz con la que podemos hasta leer. ¿Por qué no se oscurece el cielo de inmediato? ¿De dónde viene esa luz? Podrán observar también que si bien el cielo es azul directamente sobre nosotros, hacia el horizonte el azul tiende a convertirse en blanco. Esto le interesaba mucho a Leonardo da Vinci (hace más de 500 años) porque quería pintar paisajes realistas y deseaba saber cómo producir esos efectos. Vean por ejemplo la Mona Lisa. ¿Y el arcoíris, qué es? ¿Quién calculó el espesor de la atmósfera midiendo lo que dura el crepúsculo, y cómo y cuándo lo hizo? ¿Y a propósito, qué es el crepúsculo? ¿Y la aurora y el alba, qué son? ¿Quién fue Ibn Muadh (pista gratis)? ¿Desde cuándo se sabe o se comprende por qué el cielo es azul? ¿Tuvo Einstein algo que ver en el asunto?

Háganse preguntas como estas y ahora que existe la Red, Web o Internet, se puede consultar mucho más fácil que antes sobre cualquier tema con un buen buscador. Si no encuentran lo que buscan en español, búsqüenlo en inglés (también hay diccionarios en línea que los ayudan a traducir). ¿Porqué las nubes son blancas, y por qué hay unas muy oscuras? Todos estos fenómenos ópticos de nuestra atmósfera se entendieron cabalmente sólo hasta hace apenas un siglo. Muchos científicos, desde los tiempos de los griegos hasta hace muy poco, hacían sus propuestas e hipótesis así como experimentos para comprobar sus ideas. Cada quién estaba convencido de que su teoría era correcta, pero como siempre ha habido envidiosos, casi tan pronto como se proponía algo aparecía alguien más para detectar errores y proponer algo mejor. Así las cosas, no queda otra alternativa que mejorar con cada nueva crítica o propuesta. Y así sigue siendo en la ciencia, es uno de sus puntos fuertes. Una vez que se prueban las hipótesis éstas se convierten en teorías. Léanse el ensayo con el que empieza el artículo sobre la XI olimpiada. Allí se explican de manera muy simple lo que son las teorías y para qué sirven.

En lo que concierne al comportamiento de la luz en la atmósfera parece que ya tenemos todo lo que necesitábamos: una buena teoría. Desde hace varias décadas nadie ha podido demostrar que los fenómenos básicos se pueden explicar mejor con otra teoría. Cuando decimos que tenemos una buena teoría no nos referimos a algo que puedan leer en un párrafo y aprenderlo de memoria. En realidad se trata de un conjunto de ideas que en su tiempo fueron hipótesis, luego teorías y, de hecho, valga la redundancia, ahora son hechos. Detrás del comportamiento de la luz en la atmósfera está que la atmósfera está hecha de átomos, que estos son de naturaleza eléctrica, que tienen cierto tamaño y que están separados por ciertas distancias. Ah, y también que están constantemente chocando entre ellos.

También está detrás que la luz es una onda como las olas del mar y que esas ondas son de perturbaciones eléctricas que pueden mover a los átomos, ya que también son eléctricos. Los detalles de porqué el cielo se pone rojo a la puesta del Sol se los dejamos a ustedes. ¿Habían oído hablar del rayo verde?

En sus búsquedas en la Red traten de hacerse para ustedes mismos una visión general de lo que pasa. Integren los diferentes detalles en una historia que puedan contar. Por ejemplo: El Sol emite luz de diferentes longitudes de onda, con un máximo más o menos en el centro, la luz llega a la atmósfera y perturba a las moléculas de que se compone el aire, la perturbación no es igual para todas las longitudes de onda, siendo las más eficaces las de tal o cual longitud de onda, las moléculas afectadas remiten la luz en todas direcciones y eso es lo que vemos como el color del cielo, los otros colores se pasan de largo y no los vemos. ¿Y si no hubiera atmósfera en la Tierra, podríamos ver las estrellas en el día? ¿Y podríamos vernos unos a otros? ¿Y podríamos escondernos debajo de un techo sin paredes? No cabe duda que siendo las cosas como son, vivimos en un planeta muy bonito. La capa de ozono también tiene algo que ver con el azul del cielo, pero a cierta hora. Tenemos además el fenómeno de la polarización, el cual se puede apreciar con lentes o plásticos polarizados (ojo: no todos los lentes o plásticos oscuros son polarizados). Como en los eclipses y en general, no se debe ver directamente al Sol, con o sin lentes.

Recuerden, lean y trabajen en los artículos de las VI y X olimpiadas, tanto en los ensayos como en las 80 preguntas, y también en el ensayo de la XI olimpiada (no en las preguntas). Las preguntas nuevas valdrán el doble que las otras. En total serán 100 preguntas como siempre.

Pan, café, chocolate y frutas para quienes no hayan desayunado. Para el mediodía trataremos de contratar los tacos de siempre (los del año pasado estuvieron bien, pero el consenso se inclinó hacia los anteriores). Antes de la comida tendremos, como siempre, la visita a varios laboratorios incluyendo la red sismológica donde se reciben las señales de los sismos que ocurren en Baja California (ya recibimos mediante Internet información de estaciones instaladas en Baja California Sur). Por favor recuerden que es muy conveniente para nosotros que se inscriban con anterioridad, ya sea en forma individual o en

grupo según se indica en el poster (en esta página), porque nos permite planear mejor la cantidad de exámenes que debemos imprimir, preparar un día antes los gafetes con sus nombres, imprimir los diplomas de participación, así como el número de pupitres que necesitaremos y la cantidad de comida que debemos ordenar. Sin embargo, aún si no se inscriben con anticipación, pueden llegar ese mismo día e inscribirse. A la fecha hemos podido manejar perfectamente a los pocos que a última hora se deciden en participar. Saludos cordiales y buena suerte. Los esperamos en Ensenada.

## Las 25 preguntas sobre el color del cielo

1. La luz es invisible en el aire, de día o de noche. Hagan la prueba con una linterna. Véanla desde atrás o de lado, y no sabrán si está encendida o apagada. De acuerdo con esto, cuando el Sol se mete debería hacerse de noche inmediatamente, pues la luz sobre nuestras cabezas sería invisible y no podría iluminarnos. Simulen una puesta de Sol con una linterna y un libro como obstáculo. Verán que la oscuridad es inmediata al otro lado del libro. Entonces, si el aire es transparente no debería haber crepúsculos. Y sin embargo los hay. Para simular un crepúsculo, hagan lo mismo que para la puesta de sol, pero ahora hagan que la luz de la linterna incida sobre humo. Como por arte de magia, verán que la parte oscura se ilumina con luz más o menos difusa. ¿Qué está pasando? Al parecer, las partículas de humo reflejan como minúsculos espejitos la luz que de otra manera pasaría sin ser detectada. Esta reflexión ocurre en todas direcciones, pues se ilumina la parte oscura detrás del libro, así como llega a nuestros ojos en el lado opuesto. Al parecer se trata de una reflexión muy especial, porque la luz que antes tenía una dirección determinada, ahora no tiene dirección preferencial. El crepúsculo requiere, según esta similitud, que el aire no sea tan transparente y que tenga esta especie de espejitos que difunden la luz por todos lados.

Pero ¿Qué son, o de qué están hechos estos espejitos? ¿Existen en realidad? ¿El cielo es azul porque los espejitos son azules, y al atardecer se vuelven rojos? La inquietud e interés por explicar este tipo de fenómenos llegó al mundo árabe en el siglo VIII a través de La Casa de la Sabiduría, en Bagdad, Iraq, donde se realizaron las primeras traducciones de los escritos griegos. El primer personaje importante de esa época fue al-Kindi, a quien las explicaciones de Aristóteles de que el aire cambia de color al condensarse le parecieron sin mucho fundamento. Las observaciones de al-Kindi lo llevaban a que el aire es transparente y que para que tenga color, deberá contener algún tipo de partículas que no fueran transparentes. Para al-Kindi estas partículas eran

- a) polvo terrestre      b) gotitas de agua
- c) humo                  d) cristallitos de sal

2.-Doscientos años después de al-Kindi vivió en Egipto quien para muchos fue el primer científico del mundo. Nació en Basra, Iraq. Sus obras fueron traducidas al latín y eran conocidas en Europa en la edad media, en donde se le conocía como Alhazen. Su libro Óptica ha sido considerado, al lado del Principia Matemática de Filosofía Natural de Newton, como uno de los libros más influyentes en la historia de la física. Se le considera pionero del método científico y, como tal, autor de la idea más influyente en la historia de la ciencia en los últimos mil años. Entre sus logros se incluyen el principio de Fermat de tiempo mínimo para la luz y el principio de inercia de Galileo o primera ley de Newton. Prometió al Califa que podía hacer una presa para controlar el río Nilo, pero al visitar el área se dio cuenta que no podría cumplir su promesa y, para evitar que lo mataran (así se estilaba en ese tiempo y lugar), se hizo pasar por loco. Al morir el Califa recuperó “milagrosamente” la razón. Ese periodo de “demencia” duró más de 10 años, tiempo en que escribió su obra principal Óptica. Era partidario de que la atmósfera no era infinita, sino que debía tener un espesor finito. Sus observaciones sobre la interacción entre luz y aire lo llevaron a concluir que el aire retiene una pequeña parte de la luz. Esto hace que el aire se vuelva a su vez una fuente de luz, remitiendo en todas direcciones esa pequeña parte que se guarda. Su opinión era que no se requiere de ningún tipo de partícula en el aire para que se produzca este efecto. El verdadero nombre de este personaje era

- a)al-Kindi      b)Ibn al-Haytham  
c)IbnMuadh    d)al-Biruni

3.-Abu Abd Allah Muhammad ibn Muadh Al-Jayyani, o simplemente Ibn Muadh, nació en el año 989 en Córdoba, España. Su nombre y apellidos no son típicamente españoles como los que se usan actualmente, porque nació en el periodo de varios siglos en que ese país estuvo ocupado por los árabes.

Para muchos, Ibn Muadh es el gran científico olvidado, pues sus contribuciones no han sido suficientemente reconocidas en la historia de la ciencia, como lo son la invención de la trigonometría esférica y la demostración de importantes teoremas al respecto. Ibn Muadh estimó, hace mil años, el espesor de la atmósfera mediante una combinación muy ingeniosa de observaciones y geometría, en el más puro estilo de los antiguos griegos y, al mismo tiempo, en el más moderno estilo de la ciencia actual. Estimó primero el ángulo que hacen los rayos del Sol con respecto a la línea del horizonte en el momento en que se hace completamente de noche. Para eso estimó la duración del crepúsculo vespertino y la comparó con la duración de un día completo. El crepúsculo vespertino es la parte del día que va desde que se oculta el Sol en el horizonte hasta que se hace completamente de noche, cuando la sombra de la Tierra termina por desaparecer en el horizonte. Su estimación de dicho ángulo corresponde perfectamente a las mediciones actuales. El ángulo en grados es de

- a)4.5                      b)9.0  
c)13.5                    d)18

4.-En nomenclatura o notación moderna, el razonamiento de Ibn Muadh conduce a la fórmula  $h=R(1-\cos(A/2))/\cos(A/2)$ , donde h es el espesor de la atmósfera, R es el radio de la Tierra y A es el ángulo mencionado en la pregunta anterior. Recuerden que los antiguos griegos ya habían estimado el radio de la Tierra y que dicho valor era muy cercano al que tenemos nosotros. Los árabes de ese tiempo conocían los logros de los antiguos griegos porque hacia el siglo VIII habían localizado y traducido muchas de sus obras matemáticas y de otras disciplinas, incluyendo los compendios de Aristóteles. En lo que se conoce como la época de oro del mundo árabe, del siglo VIII al XIII, se continuaron y superaron muchos de los logros de los griegos, en universidades y bibliotecas distribuidas a lo largo y ancho del imperio. Europa vivía lo que se

conoce como la Edad Media y existía nulo o casi nulo interés por la ciencia, excepto en España que, como se mencionó anteriormente, en ese tiempo formaba parte del imperio árabe. Utilizando un valor de R de 6,370 km, la fórmula de Ibn Muadh lleva a que el espesor de la atmósfera es de

- a)20 km            b)40 km
- c)80 km            d)160 km

5.-Leonardo da Vinci, pintor, ingeniero, inventor, escultor y hombre de ciencia, vivió en Italia alrededor del año 1500. Conocía los trabajos de Aristóteles y de los científicos árabes sobre el color del cielo, así como de algunos de sus propios contemporáneos, y no podía sino quedar confundido por las diferentes opiniones y teorías al respecto. Siendo él mismo uno de los descubridores de la perspectiva, con la que se le da profundidad a dibujos y pinturas, su interés no era pura curiosidad, pues le interesaba poder hacer lo mismo pero a base de colores, como se puede apreciar en gran parte de sus cuadros. Como buen representante del renacimiento europeo, ponía en duda todas las opiniones y se dedicaba a observar por sí mismo y a probar diferentes hipótesis. Experimentaba con luz reflejada en humo proveniente de leña seca y húmeda, y comparaba con diferentes fondos, oscuros y claros. Subía a los Alpes y veía cómo el cielo de azul se convertía en negro, y veía hacia el horizonte y lo encontraba más azul. Sus observaciones y experimentos lo llevaron a concluir que el color azul del cielo se debía a la presencia en el aire de

- a)polvo terrestre            b)gotitas de agua
- c)humo                        d)cristalitos de sal

6.-Doscientos años después, aparece en Inglaterra un libro llamado Óptica, esta vez por Isaac Newton. En el libro se describen muchos descubrimientos hechos por el autor sobre la reflexión y refracción de la luz, así como la demostración de que la luz blanca está compuesta de los diferentes colores del espectro que todos conocemos. Para aplicar sus descubrimientos a la atmósfera, en particular al color azul del cielo, Newton supuso que pequeñas partículas por reflexión podían descomponer la luz blanca en sus diferentes colores, y que de alguna manera las cosas se acomodaban para que viéramos solamente la parte azul. Las partículas que Newton suponía era

- a)polvo terrestre            b)gotitas de agua
- c)humo                        d)cristalitos de sal

7.-Aunque la teoría de Newton sobre el color azul del cielo fue bastante criticada, su prestigio en otras áreas de la ciencia era tan grande, que pocos se atrevían a hacerlo abiertamente y a proponer teorías alternativas. Uno que lo hizo fue Rudolf Clausius, de Berlín, Alemania. Clausius demostró, 150 años después de la propuesta de Newton, que de ser cierta su teoría el Sol debería de verse 100 veces más grande. Obviamente algo estaba mal en la explicación de Newton. Clausius modificó la teoría de Newton para salvarla. Lo que hizo fue re calcular los efectos de las mismas partículas que Newton, pero huecas. Las partículas que Clausius modificó eran de

- a)polvo terrestre            b)gotitas de agua
- c)humo                        d)cristalitos de sal

8.-Unos años después, en 1868, el físico irlandés John Tyndall se propuso hacer un cielo artificial en un tubo de vidrio. Lo más simple hubiera sido cerrar el tubo y trabajar con el aire tal como es, o simplemente trabajar con el aire, sin tubo, como en la primera pregunta.

Ya sabemos que en este caso no pasa nada, no hay ni crepúsculo ni cielo azul ni nada. Veremos más adelante que en realidad sí existen estos fenómenos en volúmenes pequeños de aire, pero es muy, muy difícil detectarlos. De hecho, si fuera posible detectar estos efectos en pequeños volúmenes, no hubieran sido enigmas por tanto tiempo. Lo que hizo Tyndall fue incidir luz blanca en vapores de varios ácidos y sustancias, observando que si en el tubo había gotitas microscópicas se producía el azul. Tyndall explicaba que la luz azul se producía porque la luz blanca incidente interactuaba con las gotitas mediante una de las cuatro propiedades de la luz conocidas hasta entonces. ¿Cuál de ellas escogió?

- a)refracción    b)reflexión
- c)difracción    d)dispersión

9.-Tyndall escogió la propiedad equivocada, pero no por tonto, sino porque todavía no se había descubierto la propiedad que necesitaba. Unos años después, Lord Rayleigh, quien todavía no era Lord, trabajando en la Universidad de Cambridge, Inglaterra, se propuso desenmarañar los resultados experimentales de Tyndall. La clave para Lord Rayleigh estaba en que todas las sustancias probadas por Tyndall producían luz azul, y que solamente lo hacían cuando las gotitas eran extremadamente pequeñas, y el efecto desaparecía cuando las gotitas se hacían más grandes. Obviamente la clave no era la sustancia sino el tamaño. Hizo unos cálculos comparando la longitud de onda de la luz azul con estimaciones del tamaño de las gotitas, y se dio cuenta que su diámetro era menor que la longitud de onda. Y ahí estaba el error de Tyndall, porque la propiedad que escogió sólo tiene sentido cuando los objetos son grande con respecto a la longitud de onda. Imaginó una nueva propiedad de la luz al interactuar con objetos pequeños, a la cual llamó esparcimiento, en el sentido de esparcirse o difundirse algo, en este caso la luz.

Esta nueva propiedad es parte de la ciencia moderna y explica perfectamente el color del cielo y muchas otras cosas, pero no como lo expresó Lord Rayleigh en su momento. Como muchos antes que él, excepto Alhazen, todos requerían partículas de algún tipo en el aire, como el humo en los experimentos de la primera pregunta. ¿Cuál era la partícula preferida de Lord Rayleigh?

- a)polvo terrestre    b)gotitas de agua
- c)humo    d)cristalitos de sal

10.-La teoría de esparcimiento de Rayleigh predice que la luz esparcida está polarizada a cierto ángulo con respecto a la luz incidente. Esto estaba muy bien porque Tyndall en sus experimentos había observado ese mismo ángulo. Ustedes pueden hacer sus propias observaciones al respecto con una botella de vidrio o de plástico con agua, a la que le agreguen unas gotas de leche. El agua se pone un poco turbia por las partículas en suspensión, las cuales en este caso serán las responsables del esparcimiento. Coloquen una lámpara encendida en el fondo de la botella y verán que la luz que primero se esparce es la azul, llegando al otro lado solamente la amarilla y roja. Con un plástico polarizado determinen la polarización de la luz azul. También lo pueden hacer viendo el cielo. El hecho de que los tres valores coinciden, el experimental, el teórico y el del cielo, sugieren que el experimento es una versión correcta de lo que pasa en el cielo, y que la teoría explica ambos casos, por lo que debe ser una buena teoría. El ángulo de polarización es de

- a)45 grados    b)90 grados
- c)180 grados    d)360 grados

11.-La teoría que no pasó la prueba de la polarización fue la de Newton, la cual predice un ángulo que no corresponde ni al del cielo ni al de los experimentos. Solamente algunos despistados y mal informados siguen pensando que Newton estaba en lo correcto. El ángulo que predice la teoría de Newton es de

- a)54 grados    b)64 grados
- c)74 grados    d)84 grados

12. En 1973 recibió el Premio Nobel de fisiología/medicina un científico alemán por haber hecho un descubrimiento fascinante en 1949. Sus primeras investigaciones datan de 1910, con trabajos donde demuestra que los peces pueden distinguir colores y brillo. Pasa después a estudiar a las abejas y tras décadas de observarlas y experimentar con ellas descifra la llamada danza de las abejas, mediante la cual las abejas que llegan a la colmena indican a sus compañeras la dirección y distancia a la que se encuentra la fuente de alimento. Experimentando con luz polarizada, también descubrió que las direcciones se indican con respecto al patrón de polarización del cielo a esa hora del día. Y no importa que esté parcialmente nublado, porque utilizan todo el patrón del cielo, por lo que sólo necesitan unos pocos claros donde se vea el cielo y reconocen el patrón completo. El nombre de este científico es

- a)Karl von Frisch    b)Karl von Weber
- c)Karl von Braun    d)Karl von Bonnel

13. En 1809 se descubrió que la luz del cielo está polarizada. Se estima que 40 % de la luz que vemos está polarizada. Esta es una cantidad relativamente grande, pues es casi la mitad del total. Por miles de años no nos dimos cuenta de que casi la mitad de la luz que vemos tiene propiedades especiales. Las abejas lo sabían pero nunca dijeron nada.

El hecho es que aunque nos lo hubieran dicho de alguna manera, nosotros no sabríamos de qué estaban hablando, porque nosotros no tenemos células especializadas para distinguir polarizaciones y ellas sí. El científico que descubrió que el cielo estaba polarizado construyó un aparato hecho de muchos vidrios inclinados para polarizar la luz, y descubrió lo que nosotros podemos comprobar con un simple plástico polarizado. El nombre de este científico es

- a)Francois Arago    b)John Tyndall
- c)Karl von Weber    d)Simon Laplace

14. La luz que no está polarizada puede polarizarse natural o artificialmente. Polarizar la luz significa escoger la que vibra en una dirección determinada. Esto es lo que hace los plásticos polarizados, rechazan una componente y dejan pasar la otra. Algunos procesos naturales son capaces de hacer lo mismo. Por ejemplo, cuando luz no polarizada incide sobre la superficie del agua, la parte que se refleja está polarizada horizontalmente y la que penetra lo está en otra dirección perpendicular. Por eso es que los plásticos polarizados les son muy útiles a los pescadores, pues eliminan los reflejos y permiten ver lo que está por debajo de la superficie: los peces. El ángulo de incidencia al cual la luz está completamente polarizada en dos direcciones perpendiculares se le conoce como ángulo de

- a)Arago    b)Tyndall
- c)Brewster    d)Descartes

15. Los espejos polarizan la luz por

- a)reflexión    b)refracción
- c)esparcimiento    d)no la polarizan



16. Los patrones de polarización del cielo son bastante regulares y simples. Cambian en forma regular según avanza el día. El patrón al amanecer es el mismo que al anochecer pero rotado y trasladado a la posición correspondiente del Sol. Uno puede extrapolar y reconstruir fácilmente todo el patrón con ver solamente una parte del mismo. Por eso es que las abejas pueden utilizarlo aún en días parcialmente nublados. La polarización de la luz del cielo es

- a) tangencial a círculos alrededor del Sol
- b) perpendicular a círculos alrededor del Sol
- c) tangencial a elipses alrededor del Sol
- d) perpendicular a elipses alrededor del Sol

17. Si en Tijuana el máximo de polarización del cielo se encuentra exactamente sobre nuestras cabezas, en Matamoros

- a) el máximo está más hacia el este
- b) el máximo está sobre sus cabezas
- c) es de noche
- d) el máximo está hacia el sur

18. El rayo verde es el título de una novela de Julio Verne, en la que los personajes buscan oportunidades de ver el rayo verde, pero siempre se ven frustrados por la presencia de nubes, barcos u otros obstáculos en el momento crítico. Este fenómeno se debe principalmente a la forma diferente en que los colores se refractan en la atmósfera. Como se sabe, por el experimento de Newton con el prisma, el color azul se refracta mucho más que el rojo. Esto implica que desde nuestro punto de vista el Sol al atardecer es más rojo en su parte inferior y más azul en su parte superior, aunque generalmente no lo notemos. El efecto aumenta cuando la atmósfera es más refractiva, lo cual sucede cuando hay mayor gradiente vertical de densidad del aire. En condiciones óptimas los colores se separan lo suficiente para ser observados a simple vista, y aparece el rayo verde al final de la puesta del Sol.

Sin embargo, según lo que sabemos el azul se refracta más que el verde, por lo que el rayo debería ser azul, pero no lo es. ¿A dónde se fue el azul? El color azul

- a) se refracta tanto que se pierde
- b) se refleja hacia atrás
- c) se esparce y no llega
- d) se difracta y se pierde

19. Como se mencionó anteriormente, Lord Rayleigh pensaba que su teoría necesitaba algún tipo de partícula además de las moléculas del aire, y él mismo propuso su favorita. Uno supondría que siendo él quien propuso la nueva propiedad de la luz, debería saber qué partículas estaba simulando con sus matemáticas. Pero no, no lo sabía. La razón es que su teoría de esparcimiento es indiferente al tipo de partícula. Recordemos que se propuso simular los resultados de Tyndall, los cuales le indicaban que el fenómeno de la luz azul dependía solamente del tamaño de las gotitas de los vapores. Su resultado final fue que la intensidad de la luz que esparce una partícula pequeña, más pequeña que la longitud de onda de la luz, aumenta al disminuir la longitud de onda. O sea, que una partícula pequeña esparcirá más luz azul que roja, simplemente por tener menor longitud de onda. En términos más precisos, la dependencia que encontró se expresa como  $1/\lambda^4$  ( $\lambda$  = longitud de onda). Calcular cuántas veces más se esparce la luz azul ( $\lambda = 400\text{nm}$ ) que la roja  $\lambda = 700\text{nm}$ .

- a) 700/400
- b) 10
- c) 2
- d) 70

20. Las nubes están formadas por gotitas de agua -no de vapor de agua, como generalmente se cree- de alrededor de 20 micro-m (20,000 nm) de diámetro, o sea que son más o menos 30 veces más grandes que la longitud de onda de la luz roja y más veces que la de la azul. Cuando la luz incide sobre partículas de este tamaño también se produce el fenómeno de esparcimiento. O sea que la luz, independientemente desde qué

dirección proceda, al interactuar con las gotitas de agua éstas la esparcen en todas direcciones, al igual que en el caso del esparcimiento de Rayleigh. La diferencia, sin embargo, es que en este caso la cantidad de luz esparcida casi no depende de la longitud de onda. Esto implica que si la luz incidente es blanca, la luz esparcida también es blanca. Y así tenemos que las nubes, que en realidad están hechas de agua transparente, se ven como cúmulos de algodón. El modelo matemático de este tipo de esparcimiento fue desarrollado por un científico alemán de apellido

- a)Goethe      b)von Brawn    c)Mie
- d)Kosch

21. Cuando el Sol está sobre nuestras cabezas la luz atraviesa la atmósfera más o menos verticalmente, siendo afectada solamente por un espesor de aire aproximadamente igual al espesor de la atmósfera. Sin embargo, cuando el Sol se pone en el horizonte, la luz tiene que viajar a través de un espesor mucho mayor de aire. Esta diferencia es responsable de fenómenos como el de los atardeceres rojos. ¿Cuántas veces es mayor la cantidad de aire en los atardeceres que al mediodía?

- a)10    b)15    c)25    d)35

22. ¿Cómo es que el cielo se pone rojo hacia el horizonte cuando se pone el Sol? Esto es porque el color rojo es el que

- a)menos se refracta    b)menos se dispersa
- c)menos se esparce    d)menos se diluye

23. Cuando alrededor del año 1900 se hicieron las primeras estimaciones del tamaño de átomos y moléculas y de las distancia entre ellos, particularmente en gases, se calculó que en una longitud de onda de la luz cabían alrededor de 100 moléculas de aire.

Estos números eran devastadores para el modelo de esparcimiento de Rayleigh, porque si caben tantas moléculas en una longitud de onda, implica que para nosotros que estamos lejos, lo que hace la mitad positiva de la onda se debe cancelar con lo que hace la parte negativa. El efecto neto a grandes distancias se cancela, y adiós el cielo azul: la teoría no sirve. Y sin embargo el efecto existe, y la teoría parecía muy buena. ¿Qué hacemos? ¿La desechamos como se desechó la de Newton, o la mejoramos introduciendo algo que se nos olvidó? La cuestión es imaginar y encontrar lo que se nos olvidó. Entre 1908 y 1910 Einstein y Smoluchowski salvaron la teoría de Rayleigh basándose en que

- a)sólo hay una molécula por longitud de onda    b) en el aire existen fluctuaciones de densidad que rompen la simetría
- c)la longitud de onda del azul es en realidad mucho menor
- d)no son las moléculas de aire las que esparcen la luz sino cristalitas de sal

24.El experimento del crepúsculo artificial con la linterna y el humo sugiere que se necesita algún tipo de partícula en el aire para que se produzca el esparcimiento de la luz. Todos los interesados en el problema sugerían un tipo de partícula además del aire, excepto Alhazen, hace mil años, para quien el aire mismo retenía una parte de la luz y la volvía a emitir en todas direcciones. Hasta el mismo Lord Rayleigh sostenía que se requerían partículas extrañas al aire, y que si en realidad era suficiente con el aire mismo, nunca se iba a poder probar en el laboratorio con muestras pequeñas de aire. Sin embargo, en 1918 su propio hijo demostró experimentalmente con aire puro que sí existe esparcimiento de la luz y además con los aspectos de polarización y de colores que predecía la teoría de su padre. Así se cierra la historia de este tema, aunque todavía es creencia común que son partículas de polvo u otro material las que hacen que el cielo se ponga rojo al atardecer.

Cuando hay muchas partículas extrañas el efecto aumenta, pero no son necesarias. Alhazen tenía razón. El hijo de Lord Rayleigh no se apellidaba Rayleigh, porque tenía el apellido original de su padre, quien recibió el título nobiliario de Lord Rayleigh por herencia de su abuelo, quién lo recibió por haber peleado contra Napoleón a principios de siglo XIX. El apellido original de Lord Rayleigh era

- a) Kelvin            b) Strutt
- c) Thomson        d) Rutherford

25. El último enigma sobre el color azul de cielo se resolvió hacia 1950 por Edward Olson Hulburt. En la hora del crepúsculo el cielo sigue siendo azul sobre nuestras cabezas, pero según el esparcimiento de Rayleigh ya no debería ser azul sino rojo, o por lo menos amarillo, porque el azul ya se esparció antes de llegar a nosotros, como sucede hacia el horizonte. Hubo que tomar mediciones en globos aerostáticos y cohetes para resolver esta cuestión, así como recordar experimentos hechos en 1887 en Francia sobre el ozono. En ese tiempo ya se había descubierto el ozono y se sabía que absorbe los rayos ultravioleta, y también que la atmósfera, en alguna parte, contiene ozono. También se sabía que el ozono filtra la luz visible, aunque en menor grado que la ultravioleta - como mil veces menos. El ozono deja pasar sólo el azul y filtra los demás colores por un proceso químico de disociación de moléculas. En el día lo que predomina es el azul del esparcimiento de Rayleigh, pero en el crepúsculo domina este otro efecto de filtrado, porque a esa hora se están iluminando sólo las altas capas de la atmósfera, en donde se encuentra precisamente el ozono. O sea que el cielo sigue siendo azul, pero por un proceso químico, no físico. Casi nadie nota la diferencia cuando el cielo pasa de un proceso a otro, porque esa luz, para que llegue a nosotros, como de hecho llega, termina por esparcirse según el mecanismo de Rayleigh. El proceso de absorción responsable por el efecto de filtrado se llama

- a) absorción de Arago
- b) absorción de Chappuis
- c) absorción de Hulburt
- d) absorción de Lorentz