

UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
ESCUELA DE ODONTOLOGÍA
CÁTEDRA DE OPERATORIA DENTAL

“Evaluación del efecto de Fluorescencia en Resinas Compuestas”



Trabajo de Investigación
Requisito para optar al
Título de Cirujano-Dentista

Alumna:
Andrea Poblete Pérez

Docente guía:
Dr. Rodrigo Rubio Aguilar

Docente colaborador:
Prof. Víctor Vargas
Facultad de Ciencias
Universidad de Chile

*A mi madre,
por su incondicional amor,
apoyo y amistad*

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, por que gracias a su sabio consejo salí de Santiago y terminé mis estudios donde mismo los empecé, en Valparaíso, y por que a pesar de la distancia ese lazo que nos une sigue tan fuerte como para sentir que siempre estuvo ahí para instarme a seguir y recogerme en todas mis caídas, dándome toda la ayuda y el apoyo que necesité para cumplir mi sueño.

A mis tatas, por acogerme y brindarme la calidez eterna de su cariño y por haberme guiado de la mano con sus consejos y sabiduría a través de todo este proceso.

A Carlo y a Sebastián, por hacerme sentir que la semana puede resumirse en el fin de la misma y por escucharme al otro lado del teléfono, a pesar del sueño, mis largas horas de estudio cada vez que lo necesité.

A toda mi familia, por esperarme siempre con un abrazo y una sonrisa y por vivir junto a mí cada momento difícil y disfrutar siempre con mis logros.

A todos mis amigos, por que a pesar de todo los sigo sintiendo cerca. A Trini, Romina, Enzo, Francisco, Sergio y Coni por regalarme su inmenso cariño y amistad. A Karina, Carla y Tania por su sincero apoyo y amistad incondicional. A Animari, Rodrigo, Pierangelo y Helí, por que gracias a ellos puedo recordar estos seis años como los mejores de mi vida.

A mis primos, Pame y Jorge por estar ahí cada vez que los necesité.

Al Doctor Rodrigo Rubio, por su constante incentivo y motivación para dar lo mejor de mí, habiéndose transformado en un pilar fundamental durante este proceso.

Quisiera agradecer especialmente a Claudio Olmos, representante de ventas de Tecnoimport, por su colaboración con productos Ultradent; a Jaime Martínez, representante de ventas de VOCO por aportar con sus productos; a Alberto Díaz, representante de ventas de Surdent, por colaborar con productos Kerr; a Alejandro Manhood y Sinergia, por haber aportado con productos Coltène; a Verónica Polanco y Dental Guzmán por aportar con productos Ivoclar-Vivadent y Discus; a Mónica Undurraga, por su colaboración con productos 3M-ESPE y a Dentsply por haber colaborado en este estudio con sus productos.

A Trini, Romina, Enzo, Pedro, Carolina, Pablo, Catherine, Fabiola y Tania por su desinteresada colaboración y por aportar también con su simpatía y buen humor.

Al Prof. Víctor Vargas por su invaluable y desinteresada ayuda en todo momento.

A Aplik S.A., por su análisis estadístico y por su buena disposición a responder mis dudas en todo momento.



ÍNDICE

Introducción.....	1
Marco Teórico.....	2
Comportamiento óptico de la luz.....	2
Naturaleza de la luz.....	2
Fenómenos ópticos.....	5
I. Reflexión.....	5
II. Refracción.....	7
III. Dispersión.....	10
IV. Transmisión.....	12
V. Absorción.....	15
VI. Difracción.....	16
VII. Color.....	17
Propiedades del Color.....	17
Espectro del Color.....	20
El ojo humano.....	21
Sistemas de Color.....	24
Melodía Cromática del Diente.....	26
VIII. Interferencia.....	28
IX. Iridiscencia.....	28
X. Opalescencia.....	30
XI. Emisión de la Luz.....	31
Fluorescencia.....	34
Fluoróforos.....	36
Fluorescencia y minerales.....	36
Tierras raras o elementos de transición interna.....	37
Luz Ultravioleta.....	38
Lámparas de luz ultravioleta.....	39
Fluorescencia y Odontología.....	42
Hipótesis y Objetivos.....	45
Materiales y Métodos.....	46
Resultados.....	50
Discusión.....	62
Conclusiones.....	65
Sugerencias.....	66

Resumen.....	67
Referencias bibliográficas.....	68
Anexos.....	72

- Anexo I. Análisis estadístico
- Anexo II. Fotografías Fluorescencia

INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha sido de vital importancia el mejoramiento de las características ópticas de las restauraciones de resina compuesta de fotocurado, especialmente en lo que corresponde al sector anterior. Dentro de estas características podemos destacar una ampliación en la gama de colores y su diferenciación de acuerdo al tejido dentario que se requiere reemplazar. Hoy contamos con tonos especiales para opacar defectos notorios como cambios marcados de color, tonos de dentina, esmalte y translúcidos. Se le ha dado gran importancia a las características de brillo y opalescencia de las restauraciones dentales estéticas y, tomando en cuenta principalmente a pacientes jóvenes que requieren reconstrucción en el sector anterior, la **fluorescencia** de las resinas compuestas se ha convertido en una nueva meta a lograr para los fabricantes de estos materiales biomiméticos.

La fluorescencia es un fenómeno que ocurre al estar el diente o la restauración expuestos a la luz ultravioleta, bajo la cual emite una luz que se traduce en un color diferente al ser observado con luz blanca. La luz ultravioleta proviene principalmente de la radiación solar, pero también está disponible en forma artificial, pudiendo encontrarse en tubos o ampollas, iluminando lugares como discotecas o parques de diversiones, los que son principalmente frecuentados por gente joven.

De esta forma se hace necesario a la hora de restaurar un diente, sobre todo en el sector anterior de la boca de pacientes jóvenes, conocer el comportamiento fluorescente del material restaurador (el que idealmente debiera ser igual al de los dientes naturales), para que nuestro objetivo de imitar lo más fielmente a la naturaleza al momento de reemplazar tejido dentario perdido sea cumplido.



MARCO TEÓRICO

COMPORTAMIENTO ÓPTICO DE LA LUZ

La luz es la forma de energía radiante, que se nos manifiesta por medio de la visión. Se propaga en los cuerpos y en el vacío, en todas direcciones. Desde la antigüedad se conocían algunos fenómenos ópticos elementales, tales como la propagación rectilínea de la luz, su reflexión y su refracción.

En 1905, Einstein conjeturó que toda luz está constituida por corpúsculos (llamados cuantos de luz o fotones) cuya energía es proporcional a la frecuencia de la onda luminosa. Hacia 1930, los trabajos de Dirac, Heisenberg, Jordan y Pauli, permitieron establecer la teoría mecánico-cuántica de la radiación luminosa que armoniza la teoría corpuscular de Newton con el carácter ondulatorio establecido por los físicos del siglo XIX (Diccionario Enciclopédico Planeta, 1985).

Naturaleza de la luz

Una de las ramas más antiguas de la física es la óptica, ciencia de la luz, que comienza cuando el hombre trata de explicar el fenómeno de la visión considerándolo como facultad anímica que le permite relacionarse con el mundo exterior (Ruiz, 1999).

Una cosa que los antiguos entendieron bien es que existe una diferencia entre los objetos que emiten luz y los que no. Cuando se observa una hoja en un bosque, es gracias a que tres objetos están haciendo su trabajo: la hoja, el ojo del observador y el sol (Crowell, 1999).

Dejando de lado las ideas más antiguas sobre la naturaleza de la luz, los máximos protagonistas de esta historia son Isaac Newton y Cristian Huygens. Ambos científicos fueron contemporáneos y llegaron a conocerse en 1689. Un año más tarde aparece la obra de Huygens, mientras que Newton publica su obra en 1704. En sus obras aparecen las dos teorías clásicas *ondulatoria* y *corpuscular* sobre la naturaleza de la luz (Ruiz, 1999).

Teoría corpuscular

Esta teoría se debe a Newton (1642-1726). La luz está compuesta por diminutas partículas materiales emitidas a gran velocidad en línea recta por cuerpos luminosos. La dirección de propagación de estas partículas recibe el nombre de rayo luminoso.

La teoría de Newton se fundamenta en estos puntos:

- **Propagación rectilínea.** La luz se propaga en línea recta porque los corpúsculos que la forman se mueven a gran velocidad.
- **Reflexión.** Se sabe que la luz al chocar contra un espejo se refleja. Newton explicaba este fenómeno diciendo que las partículas luminosas son perfectamente elásticas y por tanto la reflexión cumple las leyes del choque elástico.

Según esta teoría la luz se propagaría con mayor velocidad en medios más densos. Este es uno de los puntos débiles de la teoría corpuscular (Ruiz, 1999).

Teoría ondulatoria

Fue idea del físico holandés C. Huygens. La luz se propaga mediante ondas mecánicas emitidas por un foco luminoso. La luz para propagarse necesitaba un medio material de gran elasticidad, impalpable, que todo lo llena, incluyendo el vacío, puesto que la luz también se propaga en él. A este medio se le llamó éter.

En 1801 el inglés T. Young dio un gran impulso a la teoría ondulatoria explicando el fenómeno de las interferencias y midiendo las longitudes de onda correspondientes a los distintos colores del espectro.

La teoría corpuscular era inadecuada para explicar el hecho de que dos rayos luminosos, al incidir en un punto pudieran originar oscuridad (Ruiz, 1999).

Naturaleza dual de la luz

A finales del siglo XIX se sabía ya que la velocidad de la luz en el agua era menor que la velocidad de la luz en el aire, contrariamente a las hipótesis de la teoría corpuscular de Newton. En 1864 Maxwell obtuvo una serie de ecuaciones fundamentales del electromagnetismo y predijo la existencia de ondas electromagnéticas. Maxwell supuso que la luz representaba una pequeña porción del espectro de ondas electromagnéticas. Hertz confirmó experimentalmente la existencia de estas ondas (Ruiz, 1999).

El estudio de otros fenómenos como la radiación del cuerpo negro, el efecto fotoeléctrico y los espectros atómicos puso de manifiesto la impotencia de la teoría ondulatoria para explicarlos. En 1905, basándose en la teoría cuántica de Planck, Einstein explicó el efecto fotoeléctrico por medio de corpúsculos de luz que él llamó fotones. Bohr en 1912 explicó el espectro de emisión del átomo de hidrógeno, utilizando

los fotones, y Compton en 1922 el efecto que lleva su nombre apoyándose en la teoría corpuscular de la luz.

Apareció un grave estado de incomodidad al encontrar que la luz se comporta como onda electromagnética en los fenómenos de propagación, interferencias y difracción y como corpúsculo en la interacción con la materia.

No hay por qué aferrarse a la idea de incompatibilidad entre las ondas y los corpúsculos, se trata de dos aspectos diferentes de la misma cuestión que no sólo no se excluyen, sino que se complementan (Ruiz, 1999).

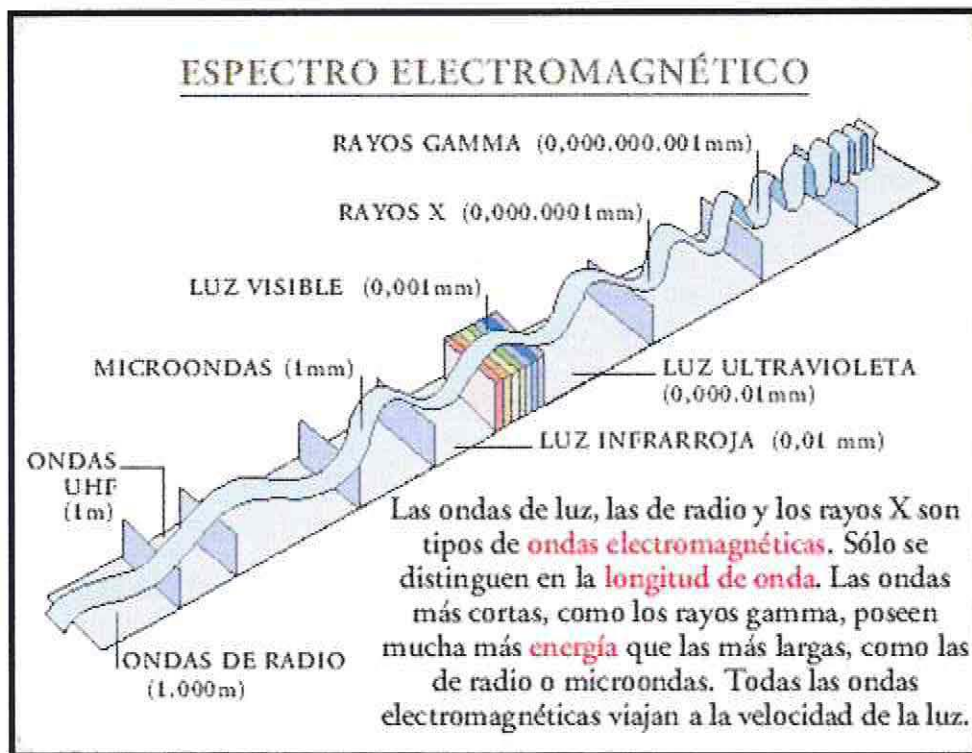


Figura 1

Onda: es una perturbación en el ambiente, el cual es generalmente de un tipo elástico, por el que se transmite con cierta frecuencia, amplitud y longitud de onda. Más explícitamente, la luz se comporta como una onda electromagnética, por lo tanto la luz es una perturbación de carácter electromagnética.

Una onda se caracteriza por 3 magnitudes: Período, frecuencia y longitud de onda.

Período (T): Es el tiempo que tarda una onda para recorrer la distancia de una longitud de onda. Se expresa en segundos.

Longitud de onda (λ): Es la distancia recorrida por la onda entre dos puntos que están en concordancia con la fase de la onda. La unidad es el metro.

Frecuencia (f): Es el inverso del período. Su unidad es el hertzio (Wu y cols., 2000).

Fenómenos ópticos

La óptica se ocupa del estudio de la luz, de sus características y de sus manifestaciones. La reflexión y la refracción por un lado, y las interferencias y la difracción por otro, son algunos de los fenómenos ópticos fundamentales. Los primeros pueden estudiarse siguiendo la marcha de los rayos luminosos. Los segundos se interpretan recurriendo a la descripción en forma de onda. El conocimiento de las leyes de la óptica permite comprender cómo y por qué se forman las imágenes, que constituyen para el hombre la representación más valiosa de su mundo exterior (Ruiz, 1999).

I. Reflexión

Reflexión es la capacidad de una superficie de desviar los rayos lumínicos que inciden sobre ella. El ángulo del rayo reflejado es igual al ángulo del rayo incidente, siempre y cuando la superficie sea lisa (Steenbecker, 1998).

Reflexión Especular: Este tipo de reflexión tiene lugar al incidir la luz sobre una superficie perfectamente pulimentada. En este caso la luz cambia de dirección siguiendo un camino que viene determinado por las Leyes de Snell para la reflexión (Castro, 1999).

Reflexión Semiespecular: Ocurre cuando la luz incide sobre una superficie lisa mate. La luz es reflejada en ángulos ligeramente diferentes pero en la misma dirección general, dando lugar a una reflexión intermedia que comprende un porcentaje de reflexión especular y otro de reflexión difusa (Castro, 1999).

Reflexión Difusa: Cualquier superficie puede ser considerada como formada por infinidad de microsuperficies pulimentadas con distinta inclinación. La luz que llega a cada una de éstas superficies será reflejada siguiendo las leyes de Snell (Castro, 1999).

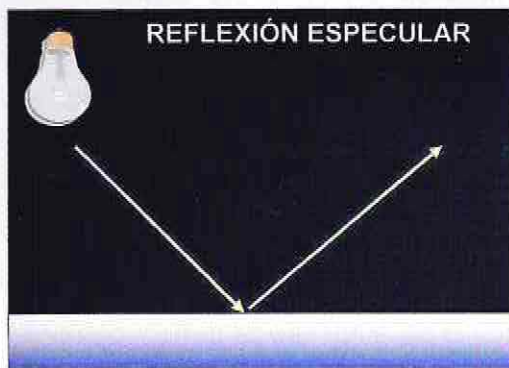


Figura 2

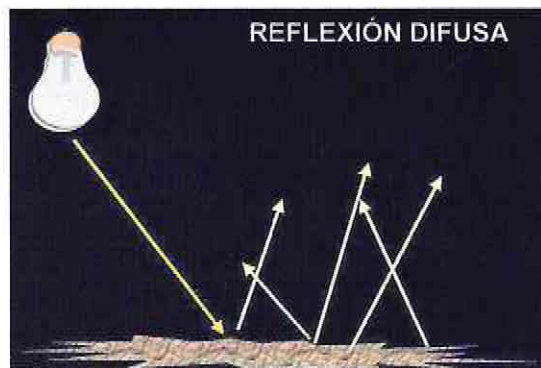


Figura 3

Leyes de la Reflexión

1ª Ley.- Cada rayo de la onda incidente y el correspondiente rayo de la onda reflejada forman un plano perpendicular al plano de separación de los medios.

2ª Ley.- El ángulo que forma el rayo incidente con la recta normal a la frontera (ángulo de incidencia) es igual al ángulo de esta normal con el rayo reflejado (ángulo de reflexión) (Ruiz, 1999).

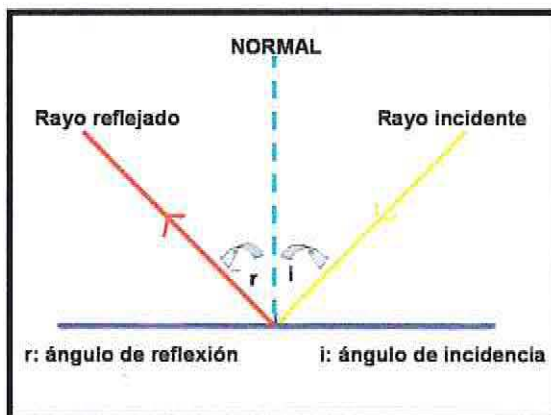


Figura 4. Leyes fundamentales de la reflexión.



Si la longitud de onda de la luz es muy pequeña (alrededor de 500 nm), la mayoría de la reflexión es difusa. Vista microscópicamente toda reflexión es regular. La apariencia de reflexión difusa se debe a los distintos ángulos en los que la luz se dirige cuando incide en una superficie rugosa. La reflexión de cada haz luminoso por separado es regular (o sea, es reflejado en el mismo ángulo con el que incide en la superficie). Una superficie suave y lisa como la de un composite bien pulido muestra ambas reflexiones, difusa y regular, las proporciones relativas dependen del ángulo de la luz incidente. Pero una superficie rugosa, como la de un diente con placa bacteriana, muestra solo reflexión difusa. No tiene una superficie brillante (Merriam-Webster, 1995).

La reflexión varía con el tipo de material. El metal pulido refleja la mayoría de la luz que incide sobre él, absorbe sólo un poco y transmite prácticamente nada (Merriam-Webster, 1995).

Lo que normalmente consideramos como reflexión involucra absorción selectiva, reflexión selectiva y refracción de la luz que penetra parcialmente la superficie (Merriam-Webster, 1995).

La reflexión difusa es gracias a la cual podemos ver los objetos no luminosos. La reflexión especular sólo nos permite ver imágenes de objetos diferentes a los que hacen el reflejo (Crowell, 1999).

Además, según las superficies podemos considerar dos tipos de reflexión:

1. Acromática: Se reflejan por igual todas las longitudes de onda. Siendo:
 - 1.a Negras.- El porcentaje de reflexión es cero.
 - 1.b Grises.- El porcentaje de reflexión es 50.
 - 1.c Blancas.- El porcentaje de reflexión es 100.
2. Cromática: No se reflejan por igual todas las longitudes de onda, con lo que habrá un predominio de una determinada longitud de onda, dando como resultado una radiación cromática (Castro, 1999).

II. Refracción

El fenómeno físico fundamental que trabaja en el ojo es que cuando la luz cruza el límite entre dos medios (como el aire y el humor del ojo), parte de su energía es reflejada, pero parte de ella pasa al nuevo medio. Por supuesto que el rayo reflejado va en una dirección diferente a la del rayo original, de acuerdo con las leyes de la reflexión. El rayo transmitido también cambia un poco su dirección. Este fenómeno de cambios de dirección se denomina refracción (Crowell, 1999).

Es la variación de la dirección de una onda cuando pasa de un medio a otro. Este fenómeno ocurre con todas las ondas, no sólo con las lumínicas (Steenbecker, 1998; Crowell, 1999).

La anatomía del ojo es bastante compleja, pero en esencia es bastante similar a cualquier otro instrumento óptico basado en la refracción. Los rayos cambian su trayectoria cuando traspasan la superficie frontal del ojo. Los rayos que ingresan más distantes del eje axial, se desvían más, con el resultado de la formación de una imagen

en la retina. Los rayos sólo se refractan una vez dentro del humor, y nunca emergen de nuevo, a diferencia de los aparatos ópticos construidos por el hombre, donde los rayos vuelven a salir (Crowell, 1999).

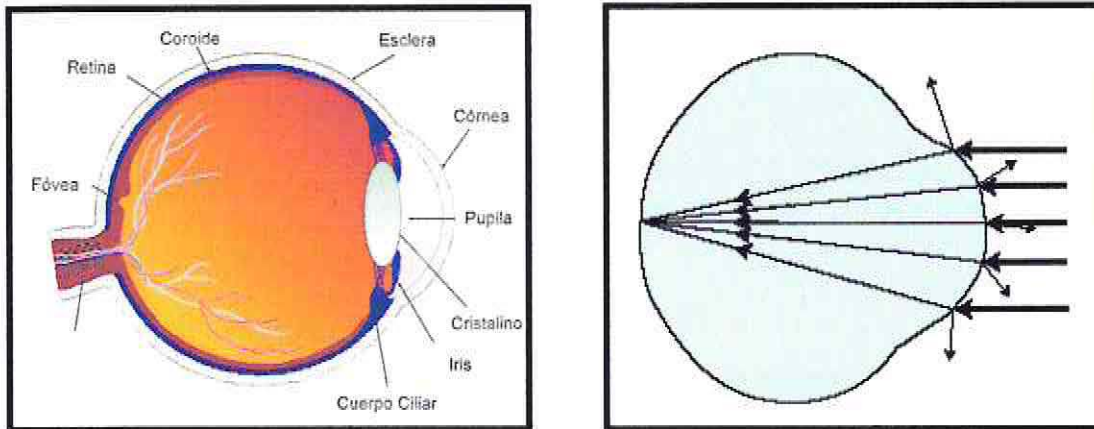


Figura 5. Un diagrama óptico simplificado del ojo. Los rayos de luz cambian su trayectoria cuando atraviesan el ojo.

Cuando la luz pasa de un medio de propagación a otro, sufre un cambio de velocidad al que acompaña, si no entra perpendicularmente, un cambio de dirección en su trayectoria. Estos cambios de trayectoria se rigen, al igual que ocurría con la reflexión, por unas leyes determinadas; las leyes de Snell para la refracción (Castro, 1999).

Leyes de la Refracción:

1ª Ley.- El rayo Incidente, la Normal y el rayo Reflejado están en el mismo plano.

2ª Ley.- Los senos de los ángulos de incidencia y de refracción son proporcionales a las velocidades de propagación de la luz en los respectivos medios.

Esto quiere decir que la trayectoria de la luz sufre un cambio en su dirección cuando cruza la superficie de separación de dos medios diferentes de distinta densidad, como consecuencia de la diferente velocidad de propagación en cada uno de estos medios (Castro, 1999).

Índice de Refracción: Se llama índice de refracción de un medio a la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la que tiene en un medio concreto, por ejemplo en el aire o en el agua. Se expresa de la siguiente forma:

$$\text{sen } i = n = \frac{V1}{V2} \text{ de donde } n \cdot \text{sen } i = n \cdot \text{sen } r$$

Puesto que el vacío es el medio menos denso y donde la luz se propaga más rápidamente, el índice de refracción no puede ser menor de 1 y pocas veces mayor de 2 (Castro, 1999).

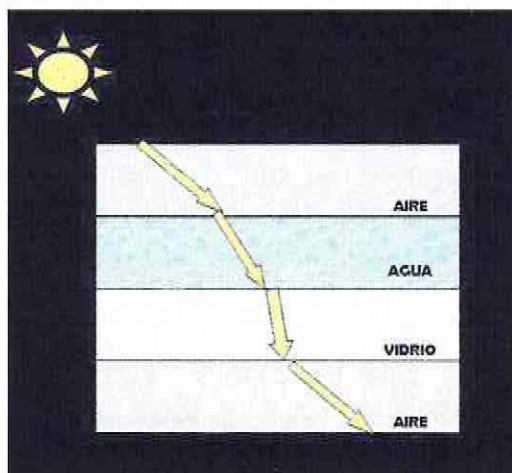


Figura 6. Rayo refractado que atraviesa por tres medios diferentes

El índice de refracción es una propiedad característica de la materia y se utiliza para la identificación de los materiales. Una de las principales aplicaciones de la refracción es el control del índice de refracción de la matriz y la fase dispersa en materiales como el composite y las porcelanas dentales, que deben tener la misma translucidez que el tejido dental. Cuando los índices de refracción coinciden totalmente, el sólido es transparente, mientras que si existen diferencias importantes, el material presenta un aspecto opaco (Craig, 1998).

III. Dispersión

La dispersión es la separación de la luz en sus longitudes de onda componentes (Merriam-Webster, 1995).

La mayor parte de la luz que vemos cuando miramos a cualquier objeto es luz dispersa (luz que llega a nuestros ojos de manera indirecta). El fenómeno de dispersión es causante de varios efectos naturales bien conocidos como: cielos azules, atardeceres rojizos, el color blanco (o gris) de las nubes, y visibilidad pobre en días de niebla. La dispersión es el resultado de la interacción de la luz con inhomogeneidades en materiales sólidos, líquidos o gaseosos. La entidad actual que causa la dispersión, llamada el centro de dispersión, puede ser tan pequeña como lo es una gran molécula (con una inhomogeneidad inherente) o grupos de moléculas pequeñas dispuestos de manera no uniforme (Arias y cols, 1999).

En 1971, el científico Inglés, Lord Rayleigh explicó la dispersión de la luz. La dispersión de partículas más pequeñas que una longitud de onda es ahora llamada la dispersión Rayleigh (Wu y cols, 2000).

El aire está lleno de miles de moléculas de nitrógeno y oxígeno. Estas moléculas están diseminadas aleatoriamente. Los fotones de luz pueden cambiar estas moléculas en una oscilación. Cuando esto sucede, las moléculas absorberán y emitirán fotones. Los fotones emitidos son dispersados de una manera aleatoria por la colocación aleatoria de las moléculas mismas (Wu y cols, 2000).

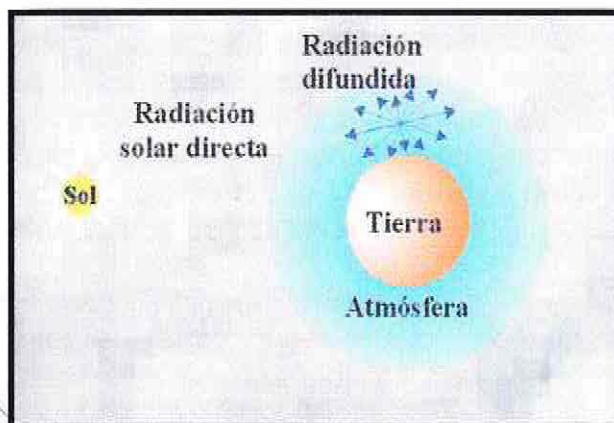


Figura 7. Dispersión de la luz solar por la atmósfera

Uno de los fenómenos de la luz natural es su descomposición en todos los colores del arco iris, desde el rojo hasta el violeta, cuando se refracta a través de algún material de vidrio, este fenómeno recibe el nombre de dispersión y es debido a que la velocidad de la luz en un medio cualquiera varía con la longitud de onda (Ruiz, 1999).

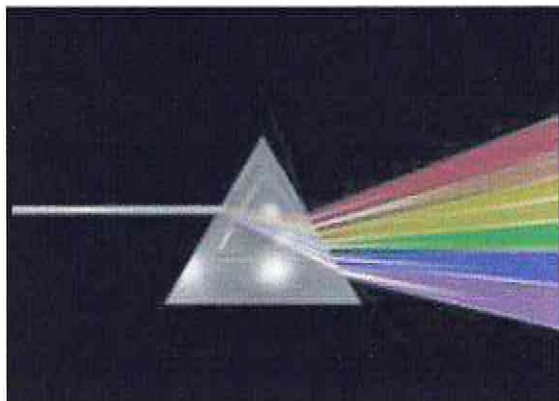


Figura 8. Descomposición de la luz blanca

La luz, que está más cerca de la parte electromagnética del espectro electromagnético, se dispersará más abiertamente que la luz que está cerca de la parte infrarroja del espectro electromagnético. Esto es porque las moléculas de nitrógeno y oxígeno tienen frecuencias naturales que son usadas en la zona ultravioleta. Mientras más cercana sea la frecuencia a la frecuencia natural del objeto, la amplitud de oscilación será más larga. Como la frecuencia de la luz se aproxima a la frecuencia ultravioleta (esto significa colores como el azul o el violeta), la amplitud de oscilación será más grande, y los fotones serán dispersados más ampliamente (Wu y cols, 2000).

La dispersión es la proporción mediante la cual el índice de refracción de un haz de luz varía dentro de un cuerpo traslúcido (como el vidrio esmerilado o el esmalte dental), por lo tanto, no sigue patrones rectos y la luz, al dispersarse dentro de él, se hace difusa (Steenbecker, 1998).

Los materiales estéticos utilizados en odontología (como la porcelana y el composite) y la estructura dental humana son materiales turbios o que dispersan intensamente la luz. En un material turbio la intensidad de la luz incidente disminuye considerablemente al atravesar la muestra (Craig, 1998).

El coeficiente de dispersión varía dependiendo de la longitud de onda de la luz incidente y de la naturaleza del estrato colorante, tal como puede verse para diversos tonos de composite. Los composites que tienen coeficientes de dispersión más elevados son más opacos (Craig, 1998).

Escatering

Es un tipo de dispersión donde existe una desviación aleatoria de los rayos de luz por partículas finas. Cuando la luz del sol entra a través de una abertura, el escatering por las partículas finas en el aire hace a la luz visible. La neblina es el resultado del escatering de la luz por la niebla o por partículas de humo (Merriam-Webster, 1995).

La reflexión, difracción e interferencia juegan un rol en el complejo fenómeno del escatering. Si las partículas afectadas por el escatering son de un tamaño uniforme y mucho más pequeñas que la longitud de onda de la luz, puede ocurrir un escatering selectivo y el material aparecerá coloreado. Las longitudes de onda más cortas tendrán un escatering mucho mayor que las longitudes de onda largas. En general la luz afectada por el escatering aparecerá azulada, mientras que la luz remanente transmitida directamente carecerá de los rayos azules que han sufrido un escatering y éstos aparecerán azules o naranjos. Muchas tintas azules naturales se deben al escatering selectivo más que a los pigmentos azules. El azul del cielo y los océanos se debe a este tipo de dispersión. Los ojos azules son el resultado del escatering de la luz en el iris cuando está ausente un pigmento oscuro. El escatering de las partículas más grandes no es selectiva y produce el blanco. La blancura de las plumas de un pájaro, de la nieve y de las nubes se debe al escatering por las partículas, las cuales, aunque pequeñas, son grandes comparadas con la longitud de onda de la luz (Merriam-Webster, 1995).

IV. Transmisión

Según las características de transmisión los cuerpos pueden ser:

a.- **Transparentes**: Son aquellos que transmiten los rayos incidentes según una estructura regular.

Pueden ser cromáticos si transmiten algunas longitudes de onda y absorben total o parcialmente otras. Si transmiten todas las longitudes de onda por igual, el medio tiene una transmisión acromática y se le considera incoloro.

Los cuerpos transparentes cromáticos transmiten longitudes de onda de su propio color y absorben los colores complementarios, por ejemplo los filtros (Castro, 1999).

b.- **Translúcidos**: Transmiten la luz incidente desordenando los rayos y dirigiéndolos en todas direcciones. Según su selección a las longitudes de onda pueden ser también cromáticos o incoloros (Castro, 1999).

La mayoría de los tejidos del organismo son parcialmente traslúcidos, en especial el esmalte de los dientes y los tejidos blandos que sustentan y rodean dichos dientes (Craig, 1998).

En odontología se utilizan algunos materiales traslúcidos como la porcelana, el composite y los plásticos dentales (Craig, 1998).

El esmalte y la dentina constituyen el diente natural. La luz reflejada y refractada (la última difunde dentro) resalta un área de alta translucidez entre el esmalte y la dentina, conocido por los ceramistas como "capa de vidrio" o "capa de alta difusión". Esta capa es visible en las secciones que están transiluminadas bajo el estereomicroscopio en la forma de una línea blanca/azul-cielo que puede ser identificada histológicamente como una alta concentración de proteínas de la matriz. Esta matriz, formada presumiblemente por enamelinas o amelogeninas, se degrada normalmente con el tiempo, si bien algunos dientes retienen características de alta refracción y difusión de la luz. En orden a desarrollar una correcta "reconstrucción anatómica", es un requisito reproducir los grosores y la translucidez del esmalte y la dentina (Vanini, 1996).



Figura 9. Translucidez de diferentes composites.
De izquierda a derecha: Filtek Supreme TY (3M ESPE),
Esthet X YE (Dentsply), Miris Enamel IR (Coltène).



c.- **Opacos:** Son los que no transmiten ninguna cantidad de la luz que les llega, así la luz que les llega es reflejada y/o absorbida únicamente. Los objetos opacos según su selectividad a la absorción o reflexión de la luz incidente pueden ser considerados como:

d.- **Blancos:** Cuando reflejan, con absorción nula, todas las radiaciones del espectro visible recibidas.

e.- **Negros:** Absorben todas las radiaciones recibidas, sin transmitir ni reflejar ninguna.

f.- **Grises:** Reflejan/absorben parcialmente, pero por igual todas las radiaciones incidentes.

g.- **Coloreados:** Si reflejan de forma diferente las radiaciones en función de su longitud de onda. Son reflejadas las longitudes de onda de su propio color y absorbidas todas las demás (Castro, 1999).

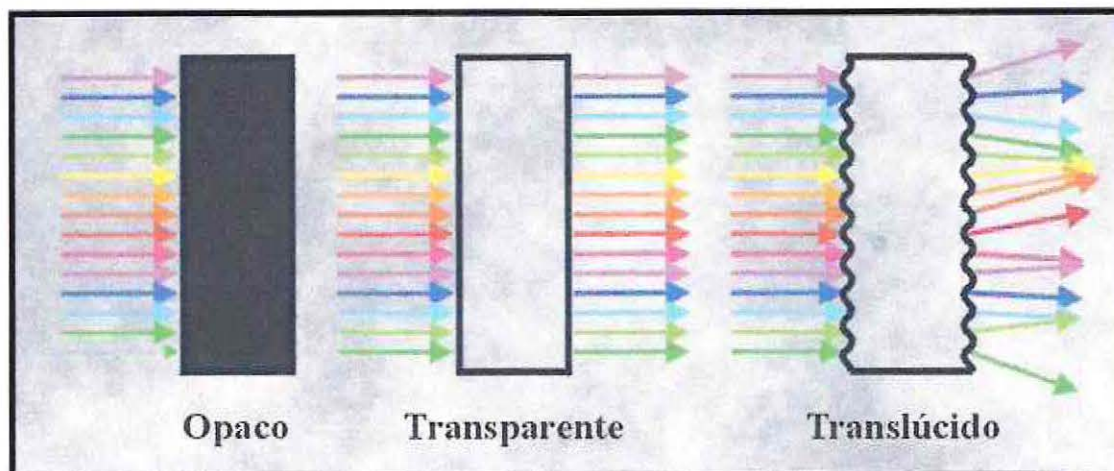


Figura 10. Comportamiento de los materiales ante la luz

Opacidad y transparencia son términos referidos a la capacidad de una sustancia de transmitir luz. Una pintura opaca es la que no transmite luz y puede usarse para cubrir o esconder lo que está bajo ella. Una pintura semiopaca transmite muy poca luz, pero es incapaz de ocultar colores oscuros y fuertes bajo ella, a menos que se aplique una inusualmente gruesa capa. Un material transparente transmite la luz libremente; cuando se aplica un aceite vidrioso transparente sobre otro color, se produce una mezcla limpia de dos tonos sin mucha pérdida de claridad. Una pintura semitransparente transmite mucha luz, pero no es clara. Cuando se posiciona una capa de aceite vidrioso semitransparente sobre otro color, se producirá un efecto pálido o nebuloso por la reflexión de la luz en la superficie. La semitransparencia y semiopacidad se conocen como translucidez. Los pigmentos se clasifican como opacos, semiopacos y transparentes (Merriam-Webster, 1995).



Figura 11. De izquierda a derecha: composite normal (*Tetric Ceram A3 - Ivoclar Vivadent*), composite translúcido (*Filtek Supreme TY-3M ESPE*), composite opaco (*Esthet X A2O - Dentsply*).

V. Absorción

Es la capacidad de los cuerpos opacos de no dejar pasar la luz por su interior (Steenbecker, 1998).

La luz que incide sobre una determinada superficie y que no es ni transmitida ni reflejada, resulta absorbida y transformada en calor en el interior del objeto (Castro, 1999).

La absorción de la luz como pase a través de la materia, resulta en una disminución de la intensidad (Merriam-Webster, 1995).

La absorción, como el escatering, puede ser general o selectiva. La absorción selectiva le da al mundo los colores que vemos. Los filtros de vidrio que absorben parte del espectro visible son usados en investigación y fotografía. Una curva de absorción de un filtro muestra la cantidad de luz absorbida a una longitud de onda particular. Una unidad de grosor de un medio absorbente, absorberá la misma fracción de luz de una emisión. Si el primer milímetro de grosor de un filtro absorbe la mitad de la luz, el segundo milímetro absorbe la otra mitad de luz remanente, o $\frac{1}{4}$ del total. El tercer milímetro absorbe la mitad del $\frac{1}{4}$, o sea, un octavo de la luz es transmitida a través de 3 milímetros de filtro (Merriam-Webster, 1995).

Existen superficies y objetos que absorben la mayor parte de las radiaciones luminosas que les llegan. Estos objetos se ven de color negro. Otros tipos de superficies y objetos absorben sólo una determinada gama de longitudes de onda, reflejando el resto (Korb y cols, 1996).

Esto sucede por ejemplo con los pigmentos que se utilizan en las técnicas de pintura. Por ejemplo un pigmento rojo absorbe longitudes de onda corta, pero refleja un determinado rango de longitudes de onda larga, cuyo peak se centra alrededor de los 680 nm, por lo que se percibe como rojo. Las células sensibles a la luz de la retina, los fotorreceptores, contienen pigmentos visuales que utilizan esta propiedad para generar cambios en su potencial de membrana. Distintos tipos de pigmentos a nivel de los fotorreceptores dan lugar a la visión en color propia de muchos animales (Korb y cols, 1996).

El coeficiente de absorción varía según la longitud de onda de la luz incidente y la naturaleza del estrato colorante. Los composites que tienen coeficientes de absorción más elevados son más opacos y de un color más intenso (Craig, 1998).

VI. Difracción

La difracción puede ser definida como el comportamiento de una onda cuando encuentra un obstáculo o una irregularidad en su medio. En general, la difracción provoca que la onda se desvíe alrededor del obstáculo y desarrolle patrones de ondas radiantes fuertes y débiles más allá del obstáculo (Crowell, 1999).

Es la descomposición de la luz cuando ésta se desplaza muy cerca de un borde opaco (Steenbecker, 1998).

Si hacemos pasar un haz luminoso por un orificio muy pequeño o por una rendija muy estrecha, y se recoge dicho haz sobre una pantalla, se observan anillos alternativamente brillantes y oscuros en el primer caso y bandas también alternativamente brillantes y oscuras en el segundo. Unos y otras se denominan, respectivamente, anillos y franjas de difracción, y son debidos a las interferencias entre las ondas secundarias que tienen su origen en cada uno de los puntos de la superficie de onda que pasa por el orificio o rendija (Castro, 1999).

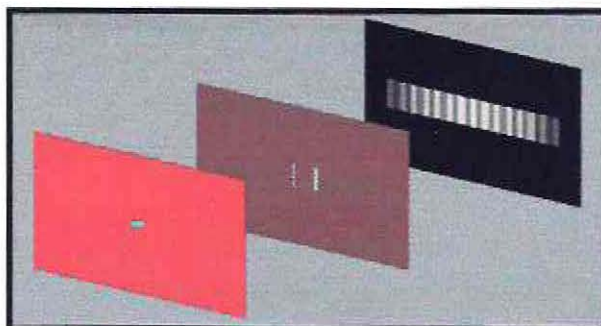


Figura 12. Una manera práctica para observar la difracción de la luz

Es decir, las ondas secundarias que se producen al pasar la luz por un orificio pequeño producen interferencias unas con otras, estas interferencias producen una diferencia de fase de un tren de ondas con respecto a otro anulándose, con lo cual no se percibe luz. En otros trenes de ondas esto no ocurre y sí vemos luz (Castro, 1999).

También ocurre que la trayectoria del rayo luminoso es desviada ligeramente cuando pasa cerca de un borde opaco. El grado de desviación es mayor para las ondas largas que para las cortas. Así cuando en un objetivo cerramos al máximo el diafragma provocamos que llegue al target o fotograma un mayor porcentaje de luz difractada, lo que afecta negativamente a la nitidez de la imagen (Castro, 1999).

VII. Color

Es el efecto producido en el ojo y sus nervios asociados por ondas de luz de diferentes longitudes o frecuencias. La luz transmitida por un objeto al ojo estimula los distintos conos de color de la retina, haciendo posible la percepción de distintos colores en el objeto. Ya que los colores que componen la luz del sol o la luz blanca tienen diferentes longitudes de onda, la velocidad a la que ellos viajan también difiere. El color es una propiedad que depende de la longitud de onda. Cuando la luz cae en un objeto, una parte de ella es absorbida y otra es reflejada. El color aparente de un objeto depende de la longitud de onda de la luz que es reflejada; por ejemplo un objeto rojo observado con luz de día, aparece rojo porque refleja solamente las ondas que producen luz roja. El color de un objeto transparente es determinado por la longitud de onda de la luz transmitida por él. Un cuerpo opaco que refleja todas las longitudes de onda aparece blanco, uno que absorbe todas las longitudes de onda aparece negro. Blanco y negro generalmente no se consideran colores primarios; se dice que el negro es el resultado de la ausencia de color y el blanco, la presencia de todos los colores mezclados juntos. Los colores cuyas emisiones de luz en distintas combinaciones pueden producir cualquiera de las sensaciones de color se denominan colores primarios o espectrales. El proceso de combinación de estos colores se dice que es "aditivo", por ejemplo, las sensaciones producidas por diferentes longitudes de onda de la luz que se unen (Merriam-Webster, 1999).

Propiedades del color

La descripción científica de color, o colorimetría, involucra la especificación de todas las propiedades relevantes de un color, tanto subjetiva como objetivamente. La descripción subjetiva da el tono, saturación y luminosidad o brillo de un color (Merriam-Webster, 1999).

Un sistema de color subjetivo permite comparar muestras de colores clasificadas de acuerdo a estas tres propiedades. En un sistema objetivo para la descripción del color, las propiedades correspondientes son la longitud de onda dominante, pureza y luminosidad. Mucha de la investigación objetiva en color ha sido llevada a cabo en

cooperación con la *Commission Internationale de L'Éclairage* (CIE), la cual ha dado estándares para estas mediciones (Merriam-Webster, 1999).

Según una de las leyes de Grassmann, el ojo sólo puede distinguir diferencias entre tres únicos parámetros de color. Dichos parámetros son la longitud de onda dominante, la reflectancia lumínica y la pureza de excitación (Craig, 1998).

Tono: Es el matiz del color, es decir el color en sí mismo, supone su cualidad cromática. El tono se refiere a lo que comúnmente se denomina color, por ejemplo, rojo, verde, azul, naranja, etcétera. Está relacionado con la longitud de onda de su radiación. La longitud de onda dominante de un color es la longitud de onda de una luz monocromática que, al mezclarse en proporciones adecuadas con un color acromático (gris), da lugar al color percibido. La luz de longitud de onda más corta (350 nm) es de color violeta, y la luz de longitud de onda más larga (700 nm) es roja. Entre esas dos longitudes de onda se encuentran las correspondientes a las luces azul, verde, amarilla y naranja. A este atributo de la percepción cromática se le denomina tono (IAV, 1999; Merriam-Webster, 1995; Craig, 1998).

Valor: Tiene que ver con la intensidad o el nivel de energía. Es la luminosidad de un color (la capacidad de reflejar el blanco), es decir, el brillo. Alude a la claridad u oscuridad de un tono. Es una condición variable, que puede alterar fundamentalmente la apariencia de un color. La luminosidad puede variar añadiendo negro o blanco a un tono. El brillo de una fuente de luz o la luminosidad de un objeto opaco es medido con una escala que va desde oscuro hasta brillante, para una fuente de luz, o desde negro hasta blanco, para un objeto opaco (o desde negro a sin color para un objeto transparente). En algunos sistemas el brillo es llamado valor. La reflectancia lumínica de un color permite clasificar un objeto como miembro de una serie de objetos acromáticos que van del negro al blanco para los objetos que difunden luz y del negro a la claridad y ausencia de color absolutas para los objetos que transmiten luz. Al negro estándar se le asigna una reflectancia lumínica de 0, mientras que al blanco estándar se le asigna una reflectancia de 100. Este atributo de la percepción cromática representa un valor en el sistema visual de la medición del color (IAV, 1999; Merriam-Webster, 1995; Craig, 1998).

Saturación: Está relacionada con la pureza cromática o falta de dilución con el blanco. Constituye la pureza del color respecto al gris, y depende de la cantidad de blanco presente. Cuanto más saturado está un color, más puro es y menos mezcla de gris posee. La saturación se refiere a la riqueza del tono al compararlo con un gris del mismo brillo. En algunos sistemas de color, la saturación también se conoce como croma. La pureza de excitación o saturación de un color indica el grado de diferenciación respecto de la percepción del color acromático que más se le asemeje. Para valorar la pureza de excitación se emplea una puntuación de 0 a 1. A este atributo de la percepción cromática se le denomina también croma (IAV, 1999; Merriam-Webster, 1995; Craig, 1998).

Los valores pueden estar totalmente ausentes en la dimensión del color, pueden ser totalmente acromáticos. Por supuesto, existen cuando el color está presente en mayor o menor grado, por ejemplo, los blancos cromáticos (blancos con pequeñas trazas de color en sus cuerpos), en tintas (mezclas de mayores o menores cantidades de colores puros con el blanco), en tonalidades (mezclas de mayores o menores cantidades de colores con el negro), como negros cromáticos (negros con menores rastros de color en su confección), y en la gran variedad de grises acromáticos (grises claros, medios u oscuros, conteniendo mucha o poca energía de color). Los colores en su estado puro están en la escala de valor desde claros (aproximándose a la claridad extrema del blanco, como lo hace el amarillo) a oscuros (aproximándose a la condición de negro como lo hace el violeta). Esto introduce el factor de intensidad. Los colores puros, ya sea claro, medio u oscuro por naturaleza, existen en completa intensidad, saturación o croma (Merriam-Webster, 1995).

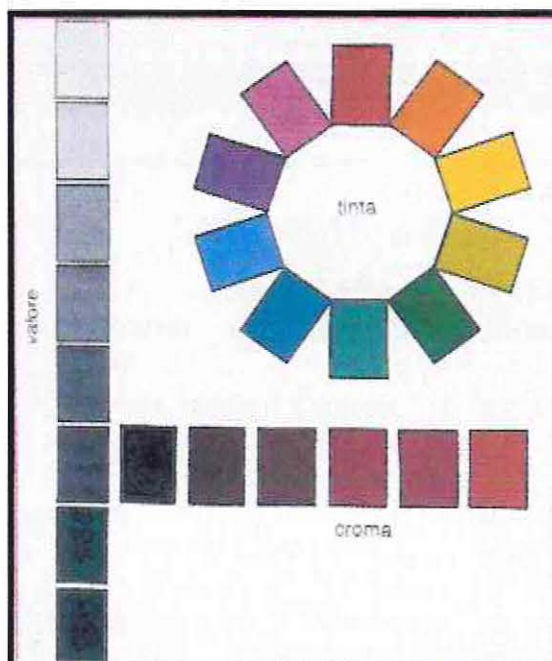


Figura 13. Tridimensionalidad del color: tinte, valor y croma

Espectro del color

El espectro electromagnético se refiere a un "mapa" de los diferentes tipos de energía de radiación y sus correspondientes longitudes de onda. Hay usualmente seis subdivisiones (ondas de radio, infrarroja, visible, ultravioleta, rayos X y rayos gamma) del espectro electromagnético (Wu y cols, 2000).

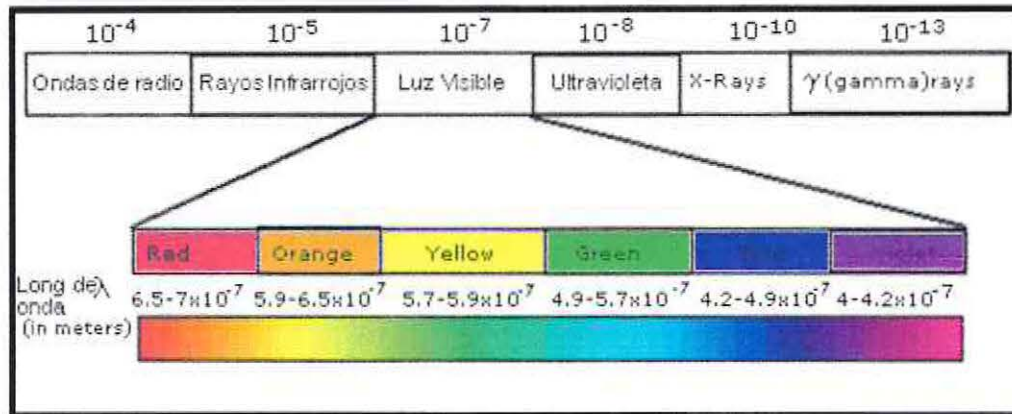


Figura 14

Como se puede observar, la parte visible del espectro es realmente muy pequeña en relación con los otros tipos de energía. De izquierda a derecha, el espectro muestra un incremento de energía. Este incremento de energía se ve en un incremento en la frecuencia. Y la frecuencia está en relación inversa con la longitud de onda (Wu y cols, 2000).

Las ondas de luz visible son una estrecha banda en el conocido espectro de la energía radiante. Este espectro va desde las invisibles y muy cortas ondas de radio, a través de las ondas infrarrojas de calor, a lo largo de las longitudes de onda visibles del color, ondas ultravioletas invisibles ultra cortas y la infinidad de ondas cortas de los rayos cósmicos. Dentro del espectro visible, las ondas luminosas por si mismas varían desde 700 milimicrones (billonésimo de 1 metro) a 400 milimicrones en longitud. Cuando una emisión de luz blanca es dispersada por un prisma y separado en sus longitudes de onda componentes, se ve inmediatamente que cada una de esas longitudes de onda estimula una diferente respuesta de color en el ojo humano (Merriam-Webster, 1995).

La luz que pasa por un prisma o por gotitas de agua se distribuye en diferentes longitudes de onda, componentes de la luz. Cada una es percibida como un color. El espectro visible es el arcoiris, y tiene siete colores: rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, índigo y violeta. Estos colores del espectro visible son también llamados colores elementales. La luz roja, teniendo la longitud de onda más larga, viaja más rápidamente

a través del prisma que la luz azul, la cual tiene una longitud de onda más corta (Merriam-Webster, 1995).

Los colores que componen la luz blanca visible se muestran en gran detalle en un espectrograma de luz visible. Los colores principales que el ojo puede discriminar en este gama es el rojo, amarillo, verde, azul y violeta. El blanco es la total adición de color. Es percibido cuando una superficie refleja todos los colores igualmente. El negro es la total sustracción de todos los colores. Se percibe cuando una superficie absorbe todos los colores igualmente. El blanco y el negro son excepciones en la naturaleza. La regla es la absorción parcial y, en consecuencia, sustracción de una banda de color del espectro y la reflexión o transmisión del resto. La mezcla de los colores del espectro reflejados o transmitidos es el color de un objeto (Merriam-Webster, 1995).




El ojo humano

El ojo humano es un complicado órgano que nos permite ver. Para entenderlo, debemos primero entender la biología del ojo. La pupila es una abertura que permite a la luz pasar al interior del ojo. Está controlada por el iris, que es un músculo que se contrae para hacer la pupila más pequeña y se relaja para hacer la pupila más ancha. El tamaño de la pupila está relacionado con qué tanta luz haya en un ambiente en particular. Si se permanece fuera y el sol está muy brillante, entonces la pupila se volverá más pequeña por esta situación. El iris está cubierto por la córnea. El lente del ojo está colocado tras el iris. El lente enfoca la luz en la retina, que actúa como pantalla. Los párpados y las pestañas protegen los ojos deteniendo las partículas pequeñas que caigan dentro del ojo. El propósito de pestañar es humedecer la córnea. Si la córnea no se mantiene húmeda se volvería opaca. La visión es más aguda en el área de la retina conocida como fóvea centralis (Wu y cols, 2000).

La retina tiene básicamente dos tipos de células sensitivas a la luz, los conos y los bastones. Los bastones son células que permiten ver en la oscuridad y están concentradas en los lados de la retina, funcionan aún con baja intensidad, pero no ven color. Los conos perciben color y están concentrados en el centro de la retina, pero requieren de un nivel alto de iluminación para funcionar. Estas células tienen un umbral de intensidad requerido para la visión del color y también muestran una curva de reacción relacionada con la longitud de onda de la incidencia de la luz (Wu y cols, 2000; Phillips, 1998).



Dependiendo de qué ámbito, podemos encontrar tres juegos de colores primarios:

1. Los artistas y diseñadores parten de un juego formado por el rojo, el amarillo y el azul. Mezclando pigmentos de éstos colores pueden obtenerse todos los demás tonos. 
2. El segundo juego de primarios es el del rojo, verde y el azul, conocidos como primarios aditivos. Son los primarios de la luz y se utilizan en el campo de la ciencia o en la formación de imágenes de monitores. Si se mezclan en distintos tantos por ciento, forman otros colores y si lo hacen en cantidades iguales producen la luz blanca. 
3. El tercer juego se compone de magenta, amarillo y cyan. Se tratan de los primarios sustractivos y son los empleados por los impresores. En imprenta, la separación de colores se realiza utilizando filtros para restar luz de los primarios aditivos, con lo que se obtienen los colores de impresión por proceso sustractivo.  (IAV, 1999).

El ojo es más sensible a la luz en la región del verde-amarillo (longitud de onda de 500 nm) y menos sensible en el extremo opuesto, esto es, rojo o azul (Phillips, 1998)

Debido a que la respuesta neural implica la visión del color, la estimulación constante por un solo color puede causar fatiga del color y disminuir la respuesta del ojo. Las señales de la retina son procesadas por el cerebro para producir percepción psicofisiológica del color (Phillips, 1998).

Los conos son especialmente sensibles al rojo, azul y verde. Los factores que impiden la verdadera percepción del color por lo general incluyen niveles de luz bajos o altos, fatiga de los receptores del color, memoria y antecedentes culturales (Phillips, 1998).

El espectro visible para el ojo humano es aquel que va desde los 380 nm de longitud de onda para el color violeta hasta los 780 nm para el color rojo. Fuera de estos límites, el ojo no percibe ninguna clase de radiación (Laszlo, 1999).

La sensibilidad del ojo a las distintas longitudes de onda de la luz del mediodía soleado, suponiendo a todas las radiaciones luminosas de igual energía, se representa mediante una curva denominada "curva de sensibilidad del ojo" o "curva VI" (Laszlo, 1999).



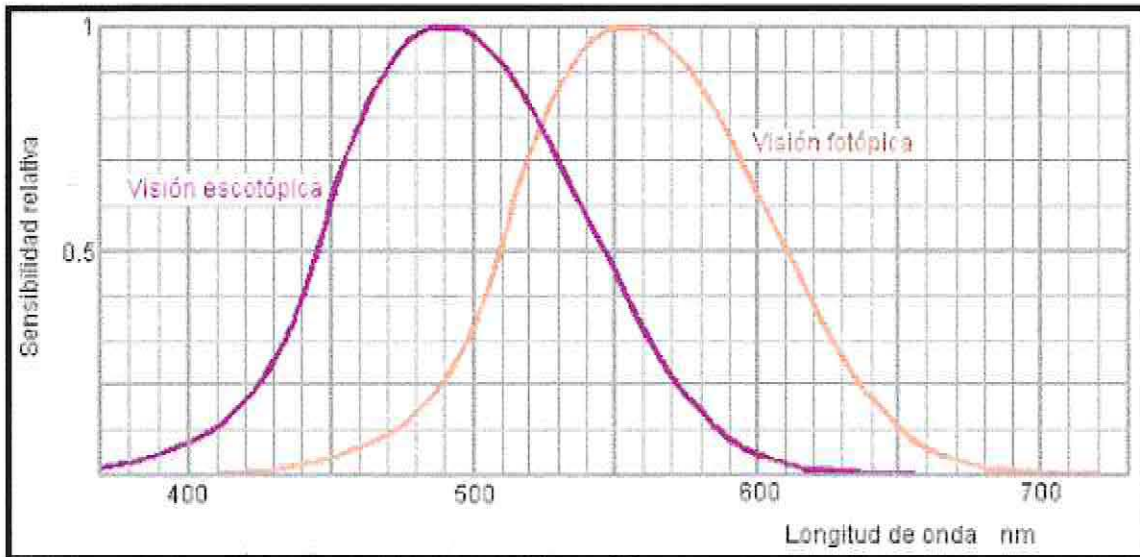


Figura 15

El ojo tiene su mayor sensibilidad en la longitud de onda de 555 nm que corresponde al color amarillo verdoso y la mínima a los colores rojo y violeta. Esta situación es la que se presenta a la luz del día ó con buena iluminación y se denomina "visión fotópica" (actúan ambos sensores de la retina: los conos, fundamentalmente sensibles al color y los bastones, sensibles a la luz) (Laszlo, 1999).

En el crepúsculo y la noche, ("visión escotópica") se produce el denominado *efecto Purkinje*, que consiste en el desplazamiento de la curva VI hacia las longitudes de onda más bajas, quedando sensibilidad máxima en la longitud de onda de 507 nm. Esto significa que, aunque no hay visión de color, (no trabajan los conos) el ojo se hace relativamente muy sensible a la energía en el extremo azul espectro y casi ciego al rojo; es decir que, durante el Efecto Purkinje, de dos haces de luz de igual intensidad, uno azul y otro rojo, el azul se verá mucho más brillante que el rojo (Laszlo, 1999).

Se verá el fenómeno llamado *efecto Purkinje* por el cual dicha curva de sensibilidad sufre un desplazamiento desde su punto de visión óptimo hacia las longitudes de onda más cortas cuando los niveles de iluminación son muy bajos (Laszlo, 1999).

Sistemas de Color

Existen al menos tres sistemas de color: el sistema Chevreul, el sistema Rood y el sistema Munsell (Merriam-Webster, 1995).

Chevreul dibujó su sistema en un estudio de color, poco después de su visita al Real Taller de Tapicería en París. Como la mayoría de los teoristas del color, Chevreul se convirtió en un experto, y aconsejó a los artistas en materias tocantes a la armonía. Sus principios de armonía fueron principalmente de dos tipos: *Armonía de los colores análogos*, esto es, armonía de delicadas variaciones del mismo tono (colores monocromáticos) y armonía de los tonos vecinos (es decir, naranja-rojo y rojo), ecualizados en términos de valor y fuerza; y *Armonía del contraste*, el cual incluye: armonía de dos tonos contrastantes ecualizados en el valor, armonía de dos tonos vecinos modificados en tonos de distintas alturas de valores y armonía de tonos complementarios. Entonces Chevreul explicó cómo esto puede ser aplicado a la pintura, a la vestimenta, a los interiores, y mucho más (Merriam-Webster, 1995).

Como artista, Rood conoció el trabajo de Turner y Ruskin. Como impresionista, consideró a Turner como el colorista-pintor más meritorio de cuidadoso estudio. Como científico, revisó acuciosamente las teorías de Newton, Young, Goethe, Chevreul, von Helmholtz y Maxwell. Además, tuvo a su disposición los instrumentos ópticos más recientes para estudiar las propiedades aditivas y sustractivas de las luces coloreadas, colores y sus complementarios, colores reflejados o transmitidos (pigmentos de colores), el efecto de diferentes luces en los pigmentos, la combinación en la retina, etcétera. Su técnica de fotometría de parpadeo para comparar el brillo de los colores fue considerada una contribución importante a la ciencia del color. Fue capaz de explicar un número de conceptos errados acerca del color y la visión de éste y, entre otras cosas, propuso un alineamiento de tonos complementarios distintos a los de Chevreul, Charles Blanc y David Sutter (Merriam-Webster, 1995).

Albert H. Munsell (1858-1918), nació en Boston y estudió pintura en Europa en la época del impresionismo. Su interés en el color y en los sistemas de color comenzó temprano. Su Atlas del sistema de color Munsell fue publicado en 1915, algún tiempo después de empezar a trabajar en modelos de color tridimensionales. Se ha comprobado que es el mejor método estándar de especificación del color de superficies y, de esta forma, es de gran valor para los químicos y fabricantes de pinturas (Merriam-Webster, 1995).

En el sistema de color de Munsell varios cientos de rectángulos de colores son dispuestos de acuerdo a las tres dimensiones o atributos del color: tono (longitud de onda dominante o identidad cromática), valor (factor de claridad-oscuridad) y croma (fuerza relativa, pureza o saturación) (Merriam-Webster, 1995).

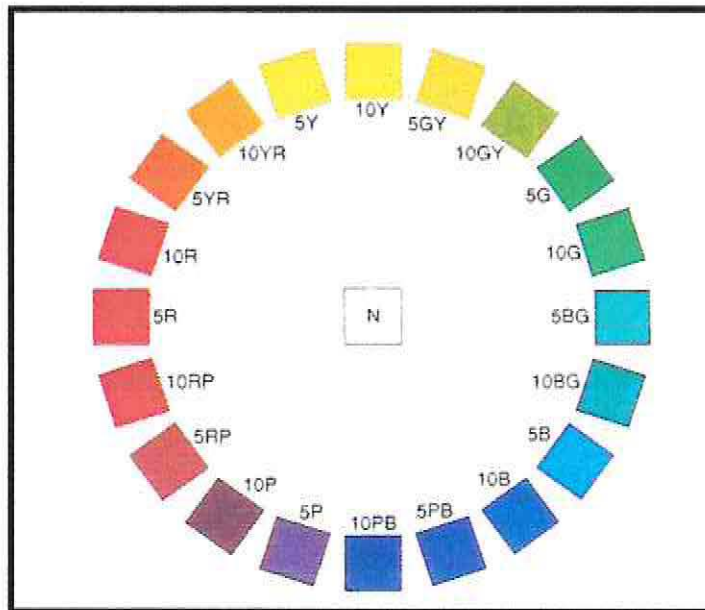


Figura 16. Cada uno de los 10 tintes codificados por Munsell y a su vez subdivididos en 10 grados de color

Hay 10 diferentes tintas en el sistema Munsell (rojo, amarillo, verde, azul, púrpura y los que están entre ellos). Cada tinte tiene una gradiente de 1 a 10, siendo la mitad una gradiente de 5. Así que 5R representa un color rojo que no es ni fuerte ni suave (Wu y cols, 2000).

Para una más amplia diferenciación de colores, se da un valor a un color. Este valor describe el grado de blancura o negrura que posee el color (0 es negro, 10 es blanco, ninguno de los cuales pueden ser superpuestos). Un color rosado, que es rojo suave, sería representado por 5R8. 5R representa la medida de la tinta, y el 8 luego, muestra que el color rojo tiene un alto grado de brillo (Wu y cols, 2000).

La última parte del sistema Munsell está relacionado con la fuerza del color. La fuerza de un color es conocida como pureza. La pureza está representada por un número de 0 a 16. El número 0 representa sin ninguna pureza, y es el color gris. El número de pureza está escrito bajo la línea horizontal del número. El problema con la pureza es que los pasos de la pureza varían según los colores (porque ciertos colores son simplemente más fuertes que otros) (Wu y cols, 2000).

Estos números (valor y pureza) son entonces usados para determinar el del color. Poder el es producto del número de valor y el número de pureza. Un poder más alto significa que el color tiene un efecto más grande. Así que el rojo más poderoso es 5R414, que tiene un poder igual a 56 (Wu y cols, 2000).

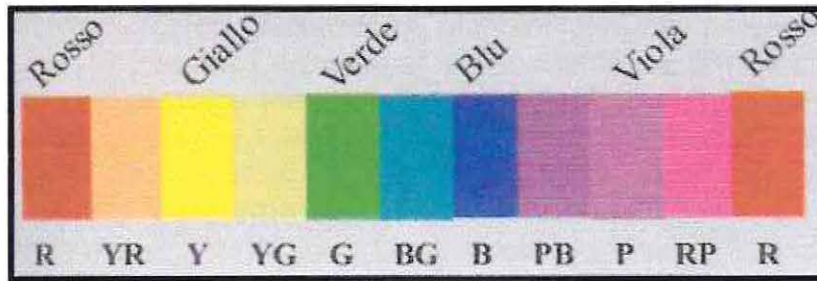


Figura 17. Los colores del espectro solar y los colores intermedios que de éste derivan definen el nombre del tinte según el Sistema Munsell

El color analizado se compara con una amplia muestra de referencias de colores. En primer lugar se determina el valor (luminosidad) eligiendo una referencia que tenga prácticamente la misma luminosidad u oscuridad que dicho color. El valor va desde el blanco (10/) al negro (0/). A continuación se determina el croma buscando referencias que se aproximen al valor medido, pero que tengan una mayor saturación de color. El croma va desde la ausencia de color o gris (/0) hasta un color muy saturado (/18). Por último se determina el tinte del color equiparándolo con referencias de color del valor y croma anteriormente determinados (Craig, 1998).

Melodía cromática del diente

El color de un diente natural está determinado por la correlación del esmalte y la dentina con la luz durante los procesos de refracción de las ondas de luz y de reflexión. Incluso un efecto cromático de una restauración está influenciado por los fenómenos de absorción y reflexión que ocurren entre los rayos incidentales y el material restaurador (Vanini, 1996).

El "mapa cromático" de un diente, expuesto a la luz reflejada y a las longitudes de onda que causan los fenómenos de opalescencia y fluorescencia, determinan la "composición cromática" o la "melodía cromática" del diente: "Tono o tinte básico" y sus cromas relacionados, representado por ondas largas (rojos, cafés y amarillos), sofisticadas opalescencias incisales, interpretadas por ondas cortas (blancos, azules claros y grises), y delicadas fluorescencias con un efecto iridiscente que determina la tridimensionalidad del color del diente, como es percibido por el ojo (Vanini, 1996).

Los dientes y otros objetos pueden separarse en matices o sombras más claras (de valor más alto) y matices más oscuros (de valor más bajo). Para que ocurra difusión y refracción de la luz en un objeto, como el diente o una corona dental, o reflejo luminoso, valor es la claridad u oscuridad de un color, que puede ser medida independientemente del tono (Phillips, 1998).

El color de un diente puede ser identificado por su "tono básico", el cual es determinado por el "valor" promedio derivado de la suma de cromas contenidos y distribuidos sobre

la superficie dentaria completa. Basados en la intensidad, hay presentes varios cromas de un "tono básico" en regiones específicas de un diente los tercios cervical, medios e incisal. Estas regiones comprenden el "mapa cromático" del diente (donde las diferentes expresiones cromáticas del "tono básico" van a ser identificadas y localizadas, basados en su intensidad). El tono básico se origina a partir de la baja translucidez y la alta saturación colorimétrica del cuerpo dentinario interno (Vanini, 1996).

El "mapa cromático" también incluye las regiones translúcidas del diente, las cuales se originan desde los aspectos de esmalte que están libres de dentina subyacente. Por lo tanto, el "mapa cromático" tiene diferentes expresiones en los variados niveles anatómicos. Los mayores cromas están en el tercio cervical, área que mantiene el mayor grado de saturación, debido a la presencia de un esmalte más delgado y, por lo tanto, un color dentinario más visible. Los cromas tienen una ligera disminución en el tercio medio (Vanini, 1996).

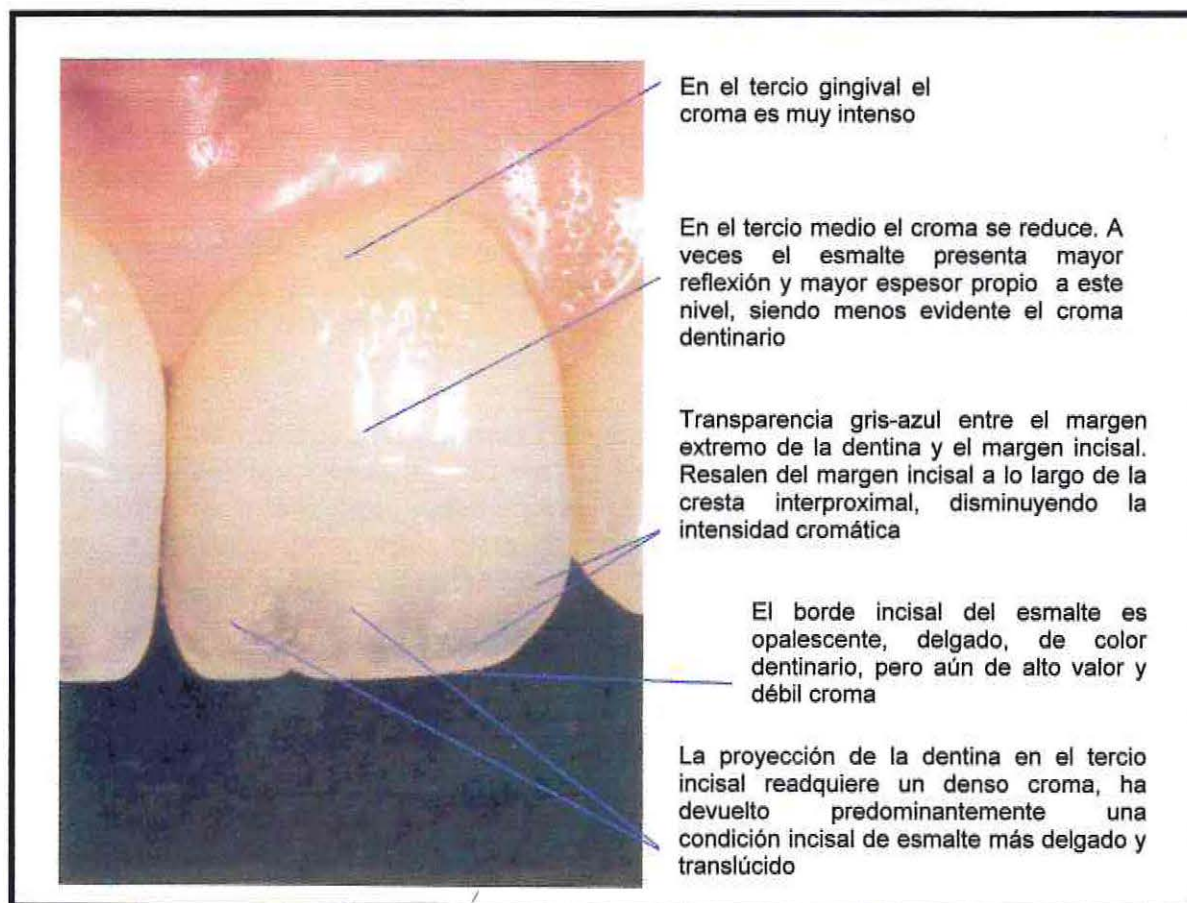


Figura 18

VIII. Interferencia

El efecto mutuo al encontrarse dos emisiones de luz o dos series de pulsaciones de sonido, generalmente de dos ondas o vibraciones de cualquier tipo se denomina interferencia (Babook, 2003).

Es el efecto que ocurre cuando dos ondas de diferente frecuencia se superponen. Esto ocurre a menudo cuando el rayo luminoso de una sola fuente viaja a través de distintas sendas al mismo punto. Si, en el punto de encuentro, las dos ondas están en fase (vibrando al unísono, y la cresta de una coincide con la cresta de la otra), se combinarán para formar una nueva onda de la misma frecuencia. La amplitud de la nueva onda es la suma de las amplitudes de las ondas originales. El proceso de formación de esta nueva onda se denomina *interferencia constructiva* (Merriam-Webster, 1995).

Si las dos ondas coinciden fuera de fase (la cresta de una coincide con la depresión de la otra) el resultado es una onda cuya amplitud es la diferencia de las amplitudes originales. Este proceso se denomina *interferencia destructiva*. Si las ondas originales tienen iguales amplitudes, pueden destruirse completamente, eliminándose la onda. La interferencia constructiva resulta en un punto brillante, la destructiva en un punto oscuro (Merriam-Webster, 1995).

Las interferencias parciales, constructivas o destructivas, resultan siempre y cuando las ondas tengan una fase intermedia en relación. La interferencia de las ondas no crea ni destruye la energía luminosa, pero sí la redistribuye simplemente (Merriam-Webster, 1995).

Los colores interferidos son los más puros y brillantes colores conocidos por el hombre. No pueden ser igualados a ninguno de los colores de pigmentos más brillantes en profundidad e intensidad. Además, el juego de brillo y cambio de tonalidad que acompaña a cualquier cambio de ángulo de luz o posición del observador, le da a estos colores una magia y belleza incomparables con ningún otro (Babook, 2003).

IX. Iridiscencia

Es un efecto de color causado por la difracción de la luz más que por pigmentación; un juego de colores variados, brillantes del arcoiris o del espectro, llamados colores de la difracción. La iridiscencia ocurre cuando la luz es difractada desde una capa delgada que yace entre dos medios de diferentes índices refractivos (por ejemplo: aire y agua), como en una burbuja de jabón (Merriam-Webster, 1995).

Los colores iridiscentes, los cuales cambian de apariencia con el ángulo de la visión y la dirección de la iluminación, se deben a la interferencia. El delicado tono de una burbuja

de jabón y de películas de aceite, el pálido tinte de una madreperla y los colores brillantes de la cola de un pavo, son todos colores iridiscentes (Merriam-Webster, 1995).



Figura 19

Una burbuja de jabón aparece iridiscente bajo luz blanca cuando el grosor de la burbuja es del orden de la longitud de onda de la luz. Esto ocurre porque las ondas de luz reflejadas por delante y por detrás de la superficie de la burbuja viajan diferentes distancias (Merriam-Webster, 1995).

Una diferencia en la fase puede causar interferencia destructiva de alguna longitud de onda en particular, y el tono o color asociado a esa longitud de onda estará ausente en la luz reflejada. Si el tono perdido es rojo, la luz reflejada aparece verde-azul, el complemento del rojo. Si el grosor de la película o la dirección de la iluminación cambian, ocurre la interferencia a una longitud de onda diferente y la luz reflejada cambia de color (Merriam-Webster, 1995).

La iridiscencia es frecuente en el topacio y en muchos cuarzos (García del Amo y cols, 1996 (2)).

La iridiscencia es la exhibición de los colores del arcoiris en una superficie. Usualmente, resulta de la interferencia cuando la luz compuesta por longitudes de onda diferentes es reflejada desde las capas superficiales de sustancias orgánicas e inorgánicas, por ejemplo minerales (Columbia University Press, 2002).

La iridiscencia, o la interferencia de las películas delgadas de Newton, simula el efecto de la luz en superficies con un cubreobjetos transparente para microscopía. Este efecto es controlado por el estado iridiscente específico dentro de un estado final (Watt, 1992).

Este parámetro modifica el color superficial como una función del ángulo entre la fuente de luz y la superficie. Ya que el efecto funciona en conjunción con la posición y el ángulo de las fuentes de luz a la superficie no se comporta de la misma manera que un patrón de pigmento (Watt, 1992).

La iridiscencia provoca que un mineral muestre un juego de colores en una superficie aparentemente monocromática. La iridiscencia es muchas veces el resultado del lustre perlado, viéndose alrededor un área donde ocurre la presión, mostrando una imagen similar a aquella del aceite fresco subiendo a la superficie de un camino al comienzo de una lluvia. La iridiscencia es también el resultado del suave deslustre de unos pocos minerales con brillo metálico, como la calcopirita y la hematita (Friedman, 1997).

X. Opalescencia

Opalescencia se llama a cierta turbidez característica, pero no exclusiva, de los ópalos. Corresponde a una iridiscencia nebulosa que se parece al juego de colores de un ópalo; una lechosidad translúcida con un fuerte tono rojo de base (García del Amo y cols, 1996 (2) y Merriam-Webster, 1995).

La presentan muchas piedras que contienen inclusiones dispersas. Además del ópalo, el cuarzo lechoso, la calcedonia y otros minerales (García del Amo y cols, 1996 (2)).

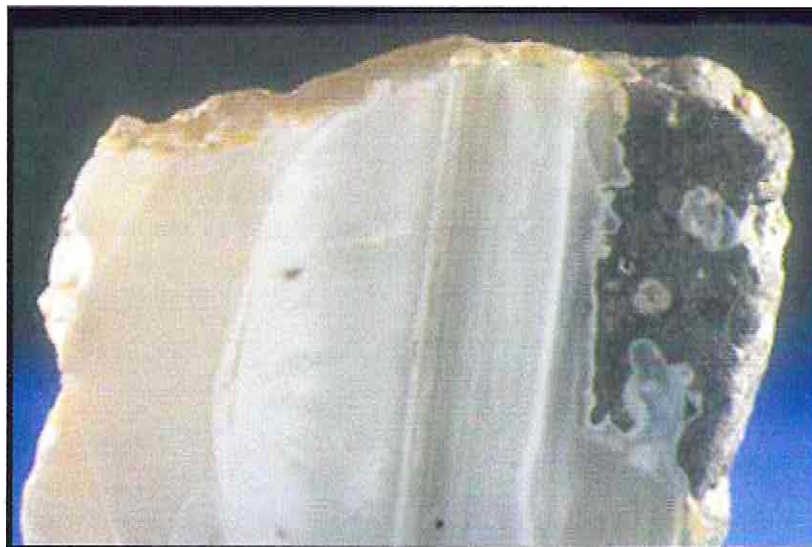


Figura 20

En el tercio incisal de un diente no tocado, los cromas del "tono básico" son gradualmente reemplazados por las opalescencias creadas por la translucidez del esmalte incisal e interproximal (Vanini, 1996).

El esmalte de un diente natural importa para el fenómeno de la opalescencia, una de sus características de translucidez resalta los componentes de onda corta del espectro de la luz que lo impacta, creando los tonos de azul y gris ligeros que se convierten en visibles a nivel del halo incisal. Por lo tanto, la opalescencia debe ser considerada cuando se determina el color dentario (Vanini, 1996).

Activado por luz, el cuerpo interno de dentina y la capa externa de esmalte crean los fenómenos de opalescencia y fluorescencia (Vanini, 1996).

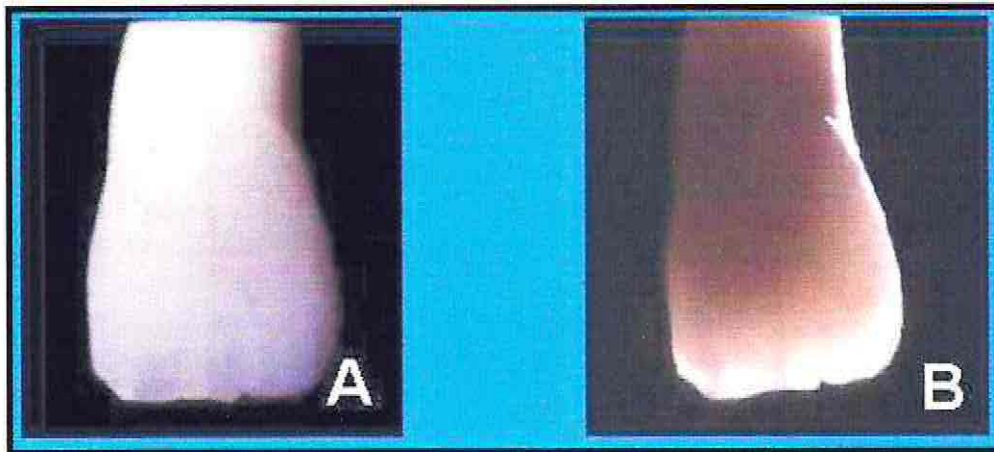


Figura 21. Efecto opalescente del esmalte. (A) Aspecto blanco-azulado de la luz reflejada. (B) Coloración anaranjada provocada por la luz transmitida

La capacidad del esmalte de reflejar preferentemente las ondas azules y permitir la transmisión de las ondas naranjas de la luz visible le provoca sus propiedades opalescentes. Cuando las masas de composite son suficientemente translúcidas y modernas también exhiben efectos de opalescencia, los cuales son esenciales para reproducir las reflexiones azules típicas del tercio incisal. Este efecto es predominante en pacientes jóvenes (Dietschi, 2001).

XI. Emisión de la luz

Hay dos tipos de emisión de luz: Primarias y secundarias (Castro, 1999).

Primarias: Emiten luz por sí mismas, debido a procesos de combustión, cambios de dirección y velocidad de las partículas cargadas, como los electrones e iones, cambios de temperatura de gases, etcétera (Castro, 1999).

Secundarias: Emiten la luz que reciben de una fuente primaria. Esta energía luminosa que emiten depende tanto de la que les llega como de sus características propias, como puede ser su poder de absorción o reflexión (Castro, 1999).

La energía radiante que recibimos del sol cubre una amplia gama de longitudes de onda de las cuales sólo una pequeña parte constituye el llamado espectro de la luz visible (García del Amo y cols, 1996).

La luz es una forma de energía y para crearla es necesario suministrar energía bajo otra forma. Existen, fundamentalmente, dos formas para que ello ocurra:

La **incandescencia** es el fenómeno de emisión de luz debida a la energía calórica. Un cuerpo, alcanzando cierta temperatura, emite una radiación luminosa que es, además, característica de cada sustancia. Es este el fenómeno observado cuando un metal es "calentado al rojo" y está a la base de utilizaciones industriales tan comunes como la bombilla en la que un filamento de wolframio, atravesado por corriente eléctrica, alcanza la incandescencia y emite una luz brillante. Las estrellas y el propio sol irradian luz por incandescencia (García del Amo y cols, 1996).

La **luminiscencia**, por el contrario, es una forma de "luz fría" en la que la emisión de radiación lumínica es provocada en condiciones de temperatura normal o baja (García del Amo y cols, 1996).

Luminiscencia

La luminiscencia es la emisión de luz por medios diferentes a la combustión y por eso ocurre a temperaturas más bajas que las requeridas por la combustión. Un ejemplo de luminiscencia es la luz, o brillo, emitido por el dial de un reloj luminoso. La luminiscencia contrasta con la incandescencia, en que esta es la producción de luz por materiales calentados (Henríquez, 1997).

El fenómeno de luminiscencia generalmente ocurre sólo en la presencia de una cierta cantidad de una especie de activador (como el hierro en el caso de las sales de magnesio del mar Saltau) lo que provoca que el magnesio interactúe mecánicamente para dar un estado de magnesio excitado que de otra forma sería inaccesible. Los extintores como el hierro y el cobre también pueden destruir la luminiscencia. Una fuente final de luminiscencia pueden ser defectos en materiales como los diamantes (Blasse y Grabmaier, 1995).

La luminiscencia es un término general que describe cualquier proceso en el cual la energía es emitida por un material a una longitud de onda diferente a la cual la luz es absorbida. Este es un amplio término que incluye fluorescencia, fosforescencia y triboluminiscencia (Blasse y Grabmaier, 1995).

Cuando ciertos materiales absorben varios tipos de energía, una parte de la energía se emite como luz. Este proceso tiene dos pasos:

1. La energía incidente hace que los electrones de los átomos del material absorbente se exciten y salten de las órbitas internas de los átomos a las órbitas exteriores.
2. Cuando los electrones "caen" de nuevo a su estado original, emiten un fotón de luz (Henríquez, 1997).

El intervalo entre los dos pasos puede ser corto (menos que 0,0001 s) o largo (muchas horas). Si el intervalo es corto, el proceso se llama **fluorescencia**; si el intervalo es largo, el proceso se llama **fosforescencia**. En ambos casos, la luz producida es casi siempre de menos energía, es decir, de longitud de onda más larga, que la luz excitante (Henríquez, 1997).

La fluorescencia y la fosforescencia son causadas por los átomos golpeados por la luz. En la colisión, la energía es transferida desde la luz a los electrones de los átomos. Esta energía puede ser reemitida como luz o disipada como calor. Si la luz emitida es de la misma frecuencia que la luz incidente, el efecto es un tipo de scattering. En muchos casos, sin embargo, la luz emitida es de una frecuencia diferente (usualmente menor) a la de la luz incidente, y es característica del átomo que la emitió (Merriam-Webster, 1995).

La reemisión inmediata de la energía luminosa absorbida como luz de un distinto color se llama **fluorescencia** (el color de la fluorescencia depende de la naturaleza del mineral) (Merriam-Webster, 1995).

Algunos materiales continúan emitiendo luz por un tiempo después de que ha terminado la radiación incidente. Esto es la **fosforescencia**, generalmente una propiedad de los cristales o de largas moléculas orgánicas. La fosforescencia depende a menudo de la presencia de diminutas cantidades de impurezas o imperfecciones en el cristal, que provee de trampas para los electrones excitados. Estos electrones han recibido energía extra de la radiación incidente. Los electrones se quedan en las trampas hasta que se sueltan por las vibraciones de calor de los átomos en el cristal. La luz fosforescente es emitida al regresar a su posición normal. Las sustancias sólidas que producen luz de esta manera se llaman fósforos (Merriam-Webster, 1995).

Fluorescencia

En 1565, el español Nicolás Monarde escribió acerca del extraordinario color azul intenso de un extracto acuoso de la madera llamada "lignum nephriticum". Esa misma solución fue estudiada 90 años más tarde por Athanasius Kircher en Alemania, Francisco Grimaldi en Italia y Robert Boyle e Isaac Newton en Inglaterra (Henríquez, 1997).

Ellos reportaban que cuando la solución era iluminada con luz blanca aparecía una luz reflejada azul intensa, mientras que la luz transmitida era amarilla. Nadie identificó entonces esa luz azul intensa como emisión luminiscente hasta 1852, en que el físico inglés George Stokes usando filtros y prismas demostró que la luz incidente de una región espectral era absorbida y transformada por la solución en una luz emitida en una región espectral diferente, de mayor longitud de onda. Demostró, con ayuda de este efecto, que el cuarzo es atravesado por las radiaciones ultravioletas, mientras que el vidrio ordinario no lo es (Henríquez, 1997).

Esta emisión luminiscente desaparecía aparentemente de forma instantánea cuando se apagaba la luz incidente, tal como hacían los espatos minerales. Stokes acuñó el nombre de *fluorescencia* derivado de fluor-spar (espatos, en inglés), al igual que la palabra opalescencia se había derivado del nombre de un mineral (Henríquez, 1997).

El poeta y científico alemán Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832), gran apasionado de las Ciencias Naturales, fue el primero en notar que la *luz ultravioleta* podía provocar fluorescencia en los minerales. Posteriormente los físicos franceses Antoine y Edmond Becquerel estudiaron el efecto de diferentes longitudes de onda sobre numerosos materiales fluorescentes. Este último empleó placas fotográficas para medir el espectro de la luz ultravioleta. Pusieron en evidencia que la fluorescencia de color rojo observable en la Calcita era debida a la presencia de manganeso poniendo en evidencia, por primera vez, el papel de los activadores en este fenómeno (García del Amo y cols, 1996).

En materiales fluorescentes el estado excitado tiene el mismo giro que en el estado neutro. Si A^* es un estado excitado de una sustancia A , entonces la fluorescencia consiste en la emisión de un fotón

$$A^* = A + h\phi$$

Donde h es la constante de Planck y ϕ es la frecuencia del fotón (Harvey, 1957).

El fenómeno de fluorescencia muestra un número de características generales:

- a. *Movimiento de Stokes*: a excepción de los átomos en fase de vapor, se observa invariablemente un movimiento a una longitud de onda más baja (ejemplo: una pérdida de energía) de la emisión en relación a la absorción. Este fenómeno fue observado por Stokes en 1852 en Cambridge, usando el aparato que se ilustra en la figura 22. Una fuente de excitación ultravioleta provista por la luz del sol y un filtro de vidrio azul. Se previno que la luz de excitación alcanzara el detector usando un filtro amarillo de una copa de vino. La fluorescencia de la Quinina ocurre cerca de los 450 nm y es, de esta forma, fácilmente visible (Lakowicz, 1986).

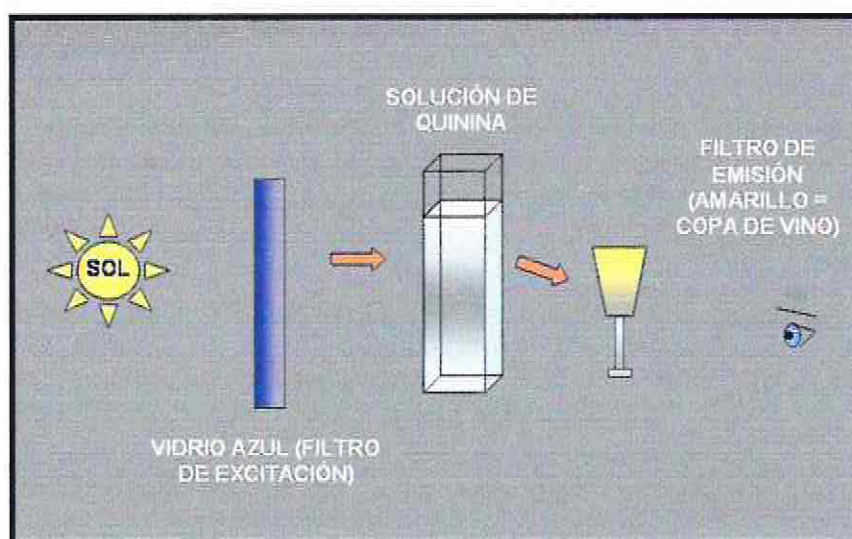


Figura 22

- b. *Invariación del espectro de emisión con la longitud de onda de excitación*: Generalmente se observa el mismo espectro de emisión de fluorescencia independiente de la longitud de onda de excitación (Lakowicz, 1986)
- c. *Regla de la imagen en espejo*: Generalmente el espectro de emisión de fluorescencia aparece como una imagen en el espejo del espectro de absorción (Lakowicz, 1986).

Los datos de los espectros de fluorescencia generalmente son presentados como un espectro de emisión. Un espectro de emisión de fluorescencia es un gráfico de la intensidad de la fluorescencia versus la longitud de onda (en nanómetros) o números de onda (en cm^{-1}) (Lakowicz, 1986).

Fluoróforos

Existe una gran variedad de moléculas biológicas que contienen en forma natural fluoróforos intrínsecos:

- a. Proteínas: El triptofano es el aminoácido más altamente fluorescente en las proteínas. La tirosina es altamente fluorescente en solución, pero su emisión es generalmente débil en las proteínas.
- b. Ácidos Nucleicos: Los nucleótidos y los ácidos nucleicos generalmente no son fluorescentes. Sin embargo, existen algunas excepciones.
- c. Cofactores: El NADH es altamente fluorescente, mientras que el NAD⁺ no lo es.
- d. Riboflavina y FAD: la riboflavina, FMN y el FAD absorben luz en el rango visible y emiten alrededor de los 515 nm (Lakowicz, 1986).

Fluorescencia y minerales

Los minerales varían en su capacidad de absorción de la luz ultravioleta a una determinada longitud de onda. Así algunos solo fluorescen para rayos ultravioleta de longitud de onda corta (254 nm), otros para longitudes largas (350-370 nm) y otros indistintamente para unas y otras (García del Amo y cols, 1996).

La fluorescencia es una propiedad bastante imprevisible pues, mientras algunas muestras de un mineral la presentan, otras aparentemente semejantes e incluso provenientes de una misma localidad de origen no. Así, sólo ciertas **fluoritas** (de las que deriva el nombre de esta propiedad) son fluorescentes, *debiéndose el fenómeno a la presencia de materia orgánica o a la presencia de tierras raras*. Una fluorescencia de color azul - violáceo es debida a la presencia de europio siendo visible bajo ultravioleta de onda larga (García del Amo y cols, 1996).

La fluorescencia observada en algunos minerales, en su mayoría es causada por cantidades minúsculas de otros minerales llamados "activadores". El activador es a veces plomo, uranio o manganeso. Hay también "extintores" de la fluorescencia. Si están presentes, a menudo en minúsculas cantidades, el mineral no despedirá luz fluorescente. El hierro es un extintor conocido, no obstante, algunas rocas que contienen hierro despiden luz fluorescente (Schneider, 2003).

La mayoría de los minerales no son fluorescentes cuando son puros, debiendo sus propiedades a la presencia de impurezas o activadores. Diferentes activadores pueden conferir a un mismo mineral diferentes colores y las cantidades y tipos de activadores varían de un mineral a otro (García del Amo y cols, 1996).

La calcita es frecuentemente fluorescente presentando diversas tonalidades en función de los activadores presentes. El plomo y el manganeso están en el origen de los colores rojos o rosas, el ión uranilo confiere colores verdes (García del Amo y cols, 1996).

Aquellos minerales que presentan fluorescencia en estado puro son denominados "**autoactivados**". Son bastante pocos, destacando la scheelita, la powellita y algunos minerales del uranio. Se supone que también lo son la benitoita, la cerusita, la anglesita y quizás otros minerales de plomo (García del Amo y cols, 1996).

La scheelita, principal mena del wolframio, es generalmente detectada por su fluorescencia con colores azul cielo. Cuando posee pequeñas cantidades de molibdeno su color se modifica pasando a blanco o amarillo (García del Amo y cols, 1996).

Algunos minerales secundarios del uranio, tales como la autunita, presentan una fluorescencia con brillantes colores verde - amarillentos. Es provocada por el ión uranilo cuya propiedad fluorescente es tal que simples trazas del mismo provocan la misma en minerales tales como la adamita, la apofilita, el aragonito, la calcita, el cuarzo o el ópalo (García del Amo y cols, 1996).

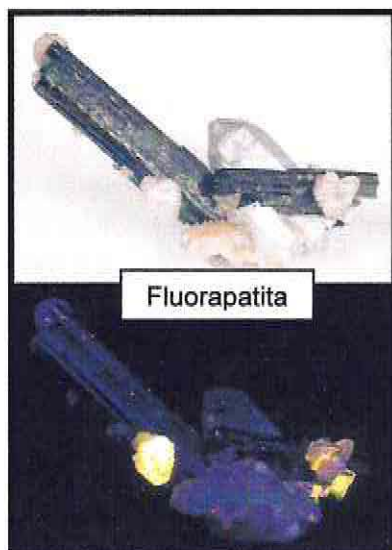


Figura 23



Figura 24

Tierras raras o elementos de transición interna

Los treinta elementos denominados tierras raras constituyen las series de los lantánidos y actínidos (Jiménez, 1996).

Lantánidos: Lantano, cerio, praseodimio, neodimio, prometio, samario, europio, gadolinio, terbio, disprosio, holmio, erbio, tulio, iterbio, lutecio. Son elementos cuya proporción en la corteza terrestre es del orden del 0,02% en peso (el prometio es artificial). Debido a que la mayoría de las propiedades son parecidas y se encuentran en los mismos minerales son difíciles de separar. Se utilizan como catalizadores en el craqueo del petróleo, como material luminoso en los televisores en color, lámparas de mercurio, etcétera (Jiménez, 1996).

Actínidos: Actinio, torio, protactinio, uranio, neptunio, plutonio, americio, curio, berkelio, californio, einsteinio, fermio, mendelevio, nobelio, lawrencio. Son raros, excepto torio y uranio. Sólo se encuentran en la naturaleza actinio, torio, protactinio, uranio, neptunio, plutonio y americio en los minerales de uranio como miembros de las series de desintegración. El torio, además, se encuentra junto a los lantánidos en las arenas monacíticas (Jiménez, 1996).

Luz Ultravioleta

Se le llama radiación solar a la energía emitida por el sol en la forma de ondas electromagnéticas dentro del intervalo espectral que abarca desde los rayos gamma, rayos x, radiación ultravioleta, radiación de espectro visible, radiación infrarroja, ondas de radio, hasta las ondas de radar (Valdés, 1999).

La radiación solar ultravioleta representa un 9% de la energía solar total que llega a la tierra (Valdés, 1999).

Sus longitudes de onda ocupan la banda que se encuentra después del color violeta de luz visible y antes del comienzo de la banda de rayos X y se subdividen con fines prácticos en 3 grupos (Gnoato, 2001; Valdés, 1999):

UV C (onda corta), comprende longitudes de onda desde los 100 hasta los 280 nm. Es muy difícil que llegue a la superficie de la Tierra, ya que interactúa en la capa atmosférica llamada estratósfera (entre los 12 y 35 Km. de altura), formando y destruyendo ozono, de modo que su presencia en la tierra es casi nula (Valdés, 1999).

UV B (onda media) es el rango de los 280 a los 315 nm, lo cual sí se puede observar en la superficie terrestre. De hecho este tipo de radiación es importante para la buena salud del ser humano, ya que la exposición a este tipo de energía permite la síntesis de la vitamina D (Valdés, 1999).

UV A (onda larga) va de los 315 a los 400 nm y es la parte espectral del ultravioleta más cercano al espectro visible (Valdés, 1999).

Lámparas de luz ultravioleta

Las lámparas de "luz negra" se pueden encontrar en muchos lugares y se usan con fines diferentes. Con ellas se puede ver brillar en la oscuridad muchos objetos, mientras que la propia lámpara sólo emana una tenue luz de color púrpura. Estos artefactos están por todo nuestro alrededor, en clubes nocturnos, museos de ciencia, parques de diversiones y dormitorios de adolescentes entre otros lugares (Harris, 2000).

Estas lámparas funcionan de manera semejante a las lámparas fluorescentes. En éstas la luz se produce al hacer fluir la electricidad a través de un gas inerte y una pequeña cantidad de mercurio. Esto produce luz en el espectro ultravioleta, invisible al ojo humano, y para producir luz se usa un tipo de sustancias llamadas fósforos que cubren el interior de la lámpara. Al absorber la luz ultravioleta estos fósforos emiten luz visible. Como esta luz ultravioleta no puede ser detectada por el ojo humano se le llama "luz negra" (Harris, 2000).

Las lámparas de luz negra funcionan con el mismo principio. Los fósforos que cubren su interior absorben la luz ultravioleta de las ondas llamadas UV-B y UV-C, que son perjudiciales. Al absorberlas, en lugar de emitir luz blanca emiten UV-A, que es más benigna. En el caso de los bombillos de luz negra se utilizan filtros para absorber la luz del filamento incandescente, pero que dejan pasar la luz UV-A. Además de este tipo de luz ultravioleta también pasa un poco de luz púrpura (Harris, 2000).

El diseño de la luz negra convencional es como una lámpara fluorescente, con un par de importantes modificaciones. Las lámparas fluorescentes generan luz al pasar la electricidad a través de un tubo lleno de un gas inerte y una pequeña cantidad de mercurio. Cuando se energiza, los átomos de mercurio emiten energía en forma de fotones de luz. Estos átomos emiten algunos fotones de luz visible, pero la mayoría de ellos emiten fotones en el rango de longitud de onda ultravioleta. Las ondas de luz ultravioleta son muy cortas para que las podamos ver – son completamente invisibles – así es que las lámparas fluorescentes deben convertir esta energía en luz visible. Esto lo logran con un revestimiento de fósforo alrededor de la parte externa del tubo (Harris, 2000).

Los fósforos son sustancias que emiten luz – o fluorescen – cuando son expuestos a la luz. Cuando un fotón golpea a un átomo de fósforo, uno de los electrones del fósforo salta a un nivel más alto de energía, provocando una vibración en el átomo y creando calor. Cuando el electrón vuelve a su nivel normal, libera energía en la forma de otro fotón. Este fotón tiene menos energía que el fotón original, ya que algo de energía se perdió como calor. En las lámparas fluorescentes, la luz emitida está dentro del espectro visible – el fósforo emite luz blanca que sí podemos ver (Harris, 2000).

La luz negra funciona bajo el mismo principio. Actualmente existen dos tipos diferentes de luz negra, pero funcionan básicamente de la misma forma:

a. Un tubo de luz negra es básicamente una lámpara fluorescente con un tipo diferente de fósforo de revestimiento. Este revestimiento absorbe las dañinas ondas cortas UV-B y UV-C y emite luz UV-A (de la misma manera básica en que el fósforo de la lámpara fluorescente absorbe luz UV y emite luz visible). El vidrio negro del tubo bloquea a la mayor parte de la luz visible, así es que al final sólo pasa a través de él la benigna luz de onda larga UV-A y alguna luz visible azul y violeta (Harris, 2000).

b. Una ampolleta de luz negra incandescente es similar a una ampolleta normal de luz casera, pero utiliza filtros de luz que absorben la luz del filamento encendido. Este filtro absorbe todo, excepto la luz infrarroja y la luz UV-A (y un poco de luz visible) (Harris, 2000).



Figura 25. Algunas presentaciones de luz UV

En ambos diseños de lámpara, la luz UV emitida reacciona con distintos fósforos externos, exactamente de la misma manera que la luz UV dentro de una lámpara fluorescente reacciona con el revestimiento de fósforo. El fósforo externo resplandece tanto tiempo como la luz UV que lo ilumina (Harris, 2000).

La luz UV es irradiada por tubos de cuarzo que contienen vapor de mercurio (emisor). Cuando se induce una corriente eléctrica en los polos, se genera un arco voltaico que ioniza a los átomos de este metal (Hg), en donde los electrones incrementan su energía hasta que son convertidos en fotones de luz UV (Díaz y Serrano, 1999).

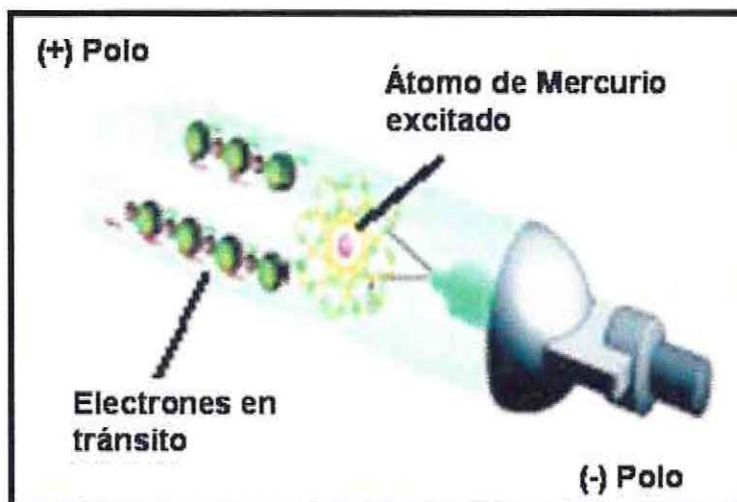


Figura 26. Generación de luz UV

Algunos usos de la luz UV:

- Bronceado
- Eliminar gérmenes
- Identificación de piedras, gemas y minerales
- Identificar daños y reparar cristalería de colección
- Producción de ozono para desinfectar aguas minerales
- Identificar estampillas y billetes falsificados
- Identificar huellas digitales, semen y otros fluidos corporales en investigaciones forenses
- Decoración: discotecas, salas de fiestas, teatros, vitrinas, etcétera.
- Industria: control de fabricación en la industria metalúrgica y textil
- Alimentación: detección de productos en mal estado, por fluorescencia de los microorganismos
- Medicina: operación de cataratas, dermatosis, etcétera

(Griesser, 1999; Harris, 2000)

Fluorescencia y odontología

La fluorescencia es la energía lumínica que emite un material cuando un rayo de luz incide sobre el mismo. Normalmente, la luz emitida tiene una longitud de onda mayor que la radiación incidente. Generalmente la luz azul o ultravioleta produce una luz fluorescente que pertenece al espectro visible. La mayoría de las sustancias fluorescentes emiten una luz que presenta la forma de una curva amplia y muy definida, cuya anchura y altura dependen de la sustancia fluorescente (Craig, 1998).

Los dientes humanos sanos emiten luz fluorescente cuando son excitados por una radiación ultravioleta (365 nm); dicha fluorescencia es policromática y alcanza su máxima intensidad en la región azul (450 nm) del espectro. Algunos materiales para restauraciones anteriores y porcelanas dentales contienen agentes fluorescentes (tierras raras, excepto el uranio) para poder reproducir el aspecto natural de la estructura dental (Craig, 1998).

La fluorescencia natural de los tejidos dentarios fue reconocida tempranamente como crítica para desarrollo de estéticas altamente cerámicas, y es ahora considerado un importante asunto para las restauraciones de composite. Actualmente esta propiedad es fundamental para darle a la restauración alguna vitalidad y contribuye a darle un valor correcto (Dietschi, 2001).

La fluorescencia de las cerámicas que no contienen *tierras raras* disminuye cuando aumenta la saturación del color (Monsenego y cols, 1993).

Mientras que la opalescencia es un fenómeno óptico inherente al esmalte dental, la fluorescencia es una característica de la dentina. La fluorescencia es la capacidad que algunas sustancias poseen de absorber la energía de una luz no visible y emitirla dentro del rango de longitud de onda de luz visible. De esta forma, cuando los rayos ultravioleta son emitidos sobre los dientes, se emite una linda luz fluorescente blanco azulada. Este fenómeno se torna más aparente cuando los dientes son vistos bajo luz ultravioleta de aparatos esterilizantes o en discotecas. Mientras tanto, no se puede olvidar que la mayor fuente de luz ultravioleta es la luz solar y que la percepción cromática de la fluorescencia está fuertemente influenciada por esta iluminación. Debido a la alta fluorescencia de la dentina en dientes jóvenes, estos presentan elevados grados de luminosidad (Dos Santos y cols, 2001).

La estructura de los dientes naturales absorbe longitudes de onda demasiado cortas para ser visible al ojo humano. Estas longitudes de onda entre 300 y 400 nm se mencionan como radiación cercana a la ultravioleta. La luz natural del sol, ciertas lámparas para fotografía, algunos tipos de lámparas de vapor y la luz ultravioleta usada como decorativa son fuentes que contienen cantidades sustanciales de radiación cercana a la ultravioleta. La energía que absorben los dientes se convierte en luz de amplia longitud de onda, en cuyo caso los dientes en realidad representan una fuente de luz. Este fenómeno se llama fluorescencia. La emisión de luz de color azul-blanco

oscila entre 400 y 450 nm. La fluorescencia tiene una contribución definitiva a la brillantez y al aspecto vital del diente humano. Una persona con coronas de cerámica o restauraciones compuestas que carece de un agente fluorescente ***aparece como si le faltaran dientes cuando es vista bajo luz negra, como la usada en un club nocturno***. Por lo tanto, el investigador que desarrolla materiales de restauración del color del diente, y el odontólogo y el técnico de laboratorio que los fabrican deben hacer coincidir el color bajo fuentes de luz que contengan suficientes componentes cercanos a la luz ultravioleta (Phillips, 1998).

Los dientes artificiales lucen similares a los dientes naturales bajo luz blanca, pero bajo la luz negra (365nm, 254 nm) muestran características diferentes a las de los dientes naturales. Estas características sirven para identificar restauraciones por ejemplo de porcelana dental (Yoshida y Takei, 1993).

Cuando un material no fluorescente es utilizado tiende a tener una apariencia más gris y puede aparecer como un hoyo negro cuando se ve bajo iluminación ultravioleta, tales como las luces utilizadas en los clubes nocturnos (Dietschi, 2001).

La luz es responsable del color y brillo de los dientes naturales, y los efectos ópticos de opalescencia y fluorescencia que la luz imprime en las estructuras del diente natural, son un requisito muy importante en los materiales cerámicos. La luz fluorescente está presente en la luz del día, pero no la vemos, porque con la emisión de luz blanca es cuando se sensibilizan las sustancias fluorescentes (Adolfi, 2002).

Debido a sus componentes orgánicos, la dentina presenta el fenómeno de fluorescencia, el cual ocurre cuando un cuerpo absorbe energía luminosa y luego la emite dentro del espectro visible. Para que la fluorescencia ocurra, la emisión debe tener lugar dentro de los 10^{-8} segundos de activación. En la naturaleza el fenómeno es creado por la luz ultravioleta (UV) de los rayos del sol, por ejemplo, en ondas cortas, invisibles al ojo humano. Luego de penetrar el esmalte y alcanzar la dentina, los rayos UV excitan la fotosensibilidad de la dentina. Los dientes naturales expuestos a la luz UV exhiben una fluorescencia con un espectro de emisión en el rango del blanco intenso al azul claro (Vanini, 1996).

La excitación es seguida por el retorno al estado fundamental con la emisión subsecuente de luz. Esta emisión no está limitada a la capa superficial; emana desde el aspecto interno del material y crea un resultado estético que recuerda cercanamente la apariencia del diente natural. La dentina exhibe un más alto grado de autofluorescencia que el esmalte. Aumentar el grado de mineralización reduce la fluorescencia. Una cantidad de estudios han demostrado que cuando la dentina está desmineralizada, aumenta la autofluorescencia. Por lo tanto, el esmalte, que es un tejido altamente mineralizado, exhibe un bajo grado de autofluorescencia cuando es comparado con la dentina (Vanini, 1996).

Matsumoto y cols en el año 2001 observaron que la dentina tiene una fluorescencia azul, con un peak en 440 ± 10 nm y un ancho de aproximadamente 100 nm, además

que los aumentos de la intensidad de fluorescencia dependen de la edad y la temperatura, independientemente del tipo de diente o el sexo del individuo (Matsumoto y cols, 2001).

El esmalte presenta un espectro de fluorescencia con la forma de una banda ancha, con un máximo de 450 nm (característico de un tono verde – azul) y un lento descenso hasta los 680 nm. La fluorescencia del esmalte no depende del color del diente; la dentina tiene un espectro de distribución similar al del esmalte, pero tres veces más lleno (Monsenego y cols, 1990).

En los años recientes ha habido un gran aumento en el número de restauraciones del mismo color del diente. Una demanda aumentada del público por restauraciones más estéticas causa un problema potencial para los dentistas forenses, que deben encontrar las obturaciones con dificultad para identificar y poder completar los odontogramas post mortem. Esto tiene implicancias en la precisión de las identificaciones dentales, particularmente en situaciones donde existe un tiempo limitado para la identificación post mortem, por ejemplo en incidentes masivos. En estos casos los odontólogos forenses detectan en una proporción significativamente más alta las superficies restauradas con composite usando un dispositivo que mide la fluorescencia cuantitativa inducida por luz (Pretty y cols, 2002).

La fluorescencia cuantitativa inducida por luz es una técnica empleada actualmente para detectar pequeños cambios en el contenido mineral del esmalte (Pretty y cols, 2002).

En la salud oral, las lesiones cariosas representan un gran problema a cualquier edad. Un diagnóstico temprano es necesario para prevenirlas y controlarlas. Entre los nuevos métodos para la detección de caries, la técnica de **Fluorescencia Láser** podría tener uno de los mejores comportamientos clínicos. Esta técnica es fácil de manejar y los estudios experimentales han mostrado que los resultados son predecibles, de alta susceptibilidad y alta sensibilidad. La detección de la pérdida de minerales del diente es la base del sistema de Fluorescencia Láser (Moncada y cols, 2002).

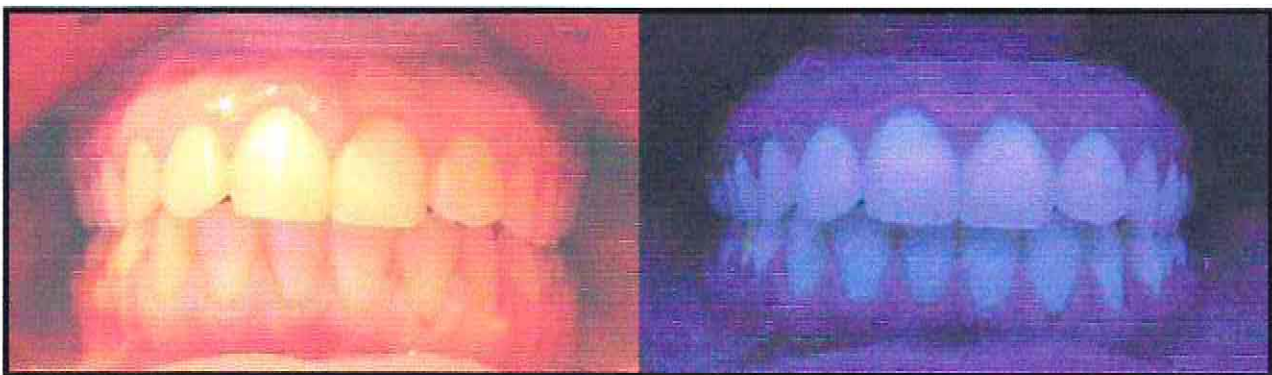


Figura 27: Fluorescencia de los dientes naturales. Paciente de 22 años observado con luz blanca y luz ultravioleta.



HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Hipótesis:

Las Resinas Compuestas comercializadas en Chile poseen una fluorescencia similar a la del diente al ser ambos expuestos a la luz Ultravioleta.

Objetivos:

1. Objetivo General:

- Evaluar *In Vitro* el efecto de fluorescencia en Resinas Compuestas comercializadas en Chile al compararlo con el mismo efecto en los dientes naturales de personas entre 20 y 25 años de edad.

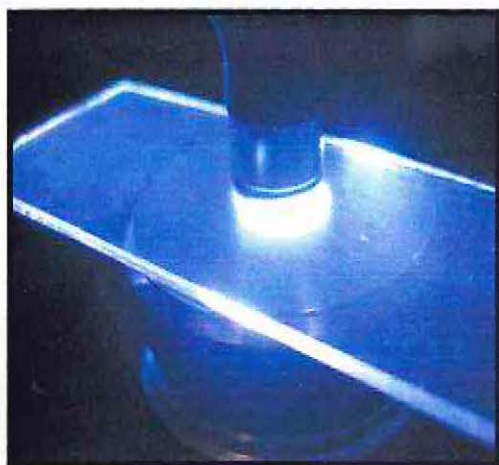
2. Objetivos Específicos:

- Conocer los fundamentos teóricos del efecto óptico de fluorescencia.
- Evaluar la fluorescencia de las Resinas Compuestas comercializadas en Chile.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el siguiente estudio se confeccionaron 57 muestras de composite de diferentes marcas y fabricantes, tomando en cuenta los composites vendidos en Chile.

Cada muestra fue confeccionada con un dispositivo diseñado especialmente para este fin según especificaciones de la ADA. Con este dispositivo se obtuvieron muestras de 8 mm de diámetro y 1 mm de grosor. Antes de polimerizar la resina compuesta se posicionaba una lámina de vidrio (portaobjetos para microscopía) para evitar la capa inhibida y lograr así una superficie del composite completamente pulida. Cada muestra fue polimerizada durante 60 segundos a través del vidrio con una lámpara de fotocurado *Optilux (Demetron)*, cuya potencia quedó registrada en 470 Mw/cm^2 y fue chequeada cada 10 muestras confeccionadas.



Figuras 28, 29, 30 y 31

Tabla I. Resinas compuestas a evaluar

MARCA COMERCIAL	COLOR	FABRICANTE
FILTEK Z250	A3	3M-ESPE
FILTEK Z100	A3	3M-ESPE
FILTEK P60	A3	3M-ESPE
FILTEK A110	A3D	3M-ESPE
FILTEK SUPREME	A2E	3M-ESPE
FILTEK SUPREME	B2B	3M-ESPE
FILTEK SUPREME	B3D	3M-ESPE
FILTEK SUPREME	TY	3M-ESPE
SYNERGY COMPACT	A3,5/B3	COLTENE
SYNERGY COMPACT	A2/B2	COLTENE
SYNERGY DUO SHADE	A2/B2	COLTENE
MIRIS ENAMEL	IR	COLTENE
MIRIS ENAMEL	NR	COLTENE
MIRIS ENAMEL	WR	COLTENE
MIRIS DENTIN	S1	COLTENE
MIRIS DENTIN	S2	COLTENE
MIRIS DENTIN	S3	COLTENE
MIRIS DENTIN	S4	COLTENE
ESTHET X	A2	DENTSPLY
ESTHET X	A20	DENTSPLY
ESTHET X	A3	DENTSPLY
ESTHET X	UNIV	DENTSPLY
ESTHET X	YE	DENTSPLY
ESTHET X	A3,5	DENTSPLY
TPH SPECTRUM	A3	DENTSPLY
MATRIX	IB	DISCUS
TERIC CERAM	T	IVOCLAR-VIVADENT
TERIC CERAM	A3,5D	IVOCLAR-VIVADENT
TERIC CERAM	A3	IVOCLAR-VIVADENT
HELIOMOLAR HB	A3	IVOCLAR-VIVADENT
HELIOMOLAR	A3	IVOCLAR-VIVADENT
HELIOMOLAR FLOW	A3	IVOCLAR-VIVADENT
TETRIC FLOW	A3	IVOCLAR-VIVADENT
IN TEN S	A3,5	IVOCLAR-VIVADENT
TE ECONOM	A2	IVOCLAR-VIVADENT
POINT 4	A3	KERR
POINT 4	T1	KERR
GLACIER ENAMEL	A3	SDI
WAVE	A3	SDI
ICE	A2	SDI
ROK	A3	SDI
VITAESCENCE	A2	ULTRADENT
VITAESCENCE	A3	ULTRADENT
VITAESCENCE	PF	ULTRADENT
VITAESCENCE	TM	ULTRADENT
AMELOGEN UNIVERSAL	A2	ULTRADENT
AMELOGEN UNIVERSAL	A3	ULTRADENT
AMELOGEN UNIVERSAL	PF-A	ULTRADENT
AMELOGEN UNIVERSAL	TY-A	ULTRADENT
PERMA FLO	A2	ULTRADENT
PERMA FLO	A3	ULTRADENT
PERMA FLO	IE	ULTRADENT
DEN FIL	A3	VERICOM
ADMIRA	A3	VOCO
ADMIRA FLOW	A3	VOCO
ARABESK TOP	A3	VOCO
ARABESK TOP	UO	VOCO

Si bien este estudio abarca principalmente la estética en resinas compuestas usadas en dientes anteriores, se consideraron también composites indicados por el fabricante como de uso en dientes posteriores, ya que en ciertos casos clínicos es necesaria una mayor resistencia del material en los dientes anteriores.

Para el análisis se utilizó un instrumento de medición facilitado por el profesor Víctor Vargas, Magíster en Ciencias y académico de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile. Este instrumento es un Espectrofluorímetro marca ISS PC1, originalmente utilizado para medir espectros de fluorescencia sólo en soluciones. Sin embargo, el profesor Víctor Vargas diseñó un dispositivo para adaptar el instrumento de manera que también pudiese medir la fluorescencia en sustancias sólidas, quedando de la siguiente manera:



Figura 32

La fuente de luz provee de la misma al instrumento. Este haz de luz proviene de una lámpara de arco de Xenón a alta presión. El monocromador ajustará la luz a la longitud de onda deseada, y con ranuras calibradas se escogerá el tamaño del haz de luz incidente, dirigiéndolo de una mejor forma hacia la muestra.

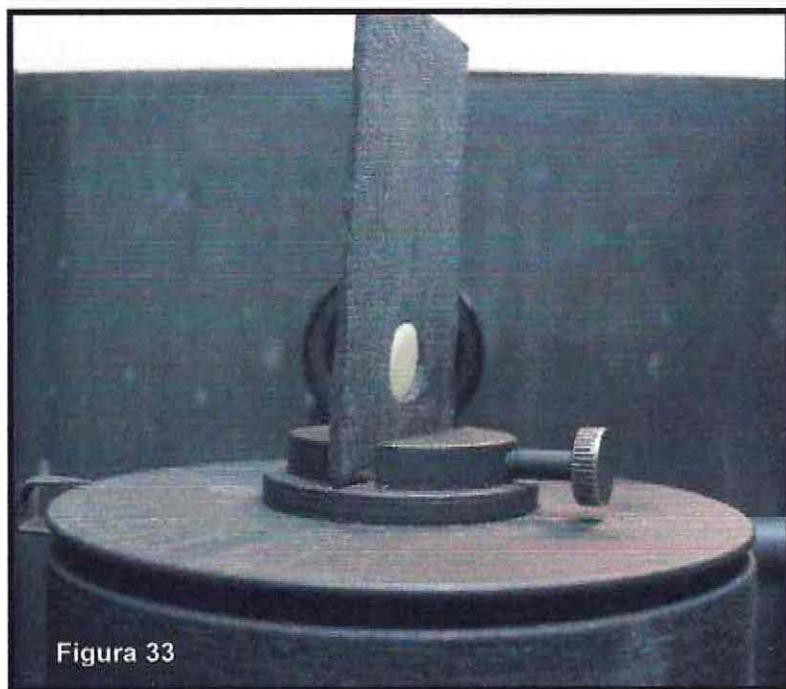


Figura 33

La muestra se ubica en un portamuestra confeccionado en acrílico negro opaco, dejando en un lugar específico un orificio circular de 8 mm de diámetro para ubicar la muestra.

El portamuestra es ubicado en una ranura y fijado con un tornillo. Luego se ajusta la angulación de la muestra con respecto a la luz incidente, el cual quedó determinado en 25° .

Ubicada la muestra y ajustada la angulación se cierra la tapa, quedando hermética a la entrada de

luz para no crear interferencias ni lecturas erróneas.

En el computador se ajusta la longitud de onda de excitación y el rango de longitud de onda de emisión que queremos observar. En este caso para cada muestra se determinó una longitud de onda de excitación de 360 nm, correspondiente a luz ultravioleta y el rango de emisión quedó establecido desde los 380 nm hasta los 550 nm de longitud de onda.

Ajustados estos datos comienza el conteo de fotones emitidos por las muestras, quedando registrado en el computador con la forma de un gráfico, donde el eje X corresponde a la longitud de onda en nm y el eje Y a la intensidad.

Se probó la fiabilidad del instrumento midiendo varias veces cada muestra, obteniendo exactamente los mismos datos. Así, se determinó que sólo era necesaria una medición por cada muestra.

El grupo control se obtuvo del conteo de fotones de 20 dientes naturales. Estos 20 dientes corresponden a terceros molares sanos extraídos de pacientes entre 20 y 25 años. Los dientes fueron conservados en suero salino glucosado desde la exodoncia hasta la medición, momento en el cual fueron secados con papel absorbente y ubicados en el portamuestra, de tal forma que una cara proximal de la corona de cada molar (mesial o distal, indistintamente) se veía a través del agujero de 8 mm de diámetro mencionado anteriormente.

RESULTADOS

Las mediciones realizadas con el instrumento entregan como resultado una curva de emisión en función de la longitud de onda de la luz. Para cada diente patrón y resina se obtiene una curva diferente.

Luego de obtener todas las curvas para los dientes, se obtuvo una curva de emisión promedio de los dientes, esto es, para cada valor de longitud de onda distinto se obtiene el promedio de emisión de los dientes para dicha longitud de onda.

La curva de emisión promedio pasa luego a ser la curva patrón, contra la cual se comparan el resto de las curvas, tanto las de los dientes como las de las resinas.

Usando el software computacional Origin 7 se analizó cada gráfico obtenido en el estudio con el Espectrofluorímetro ISS PC1 y al integrar se obtuvieron cuatro datos: área bajo la curva, peak, ancho y altura. Los últimos tres datos son insuficientes por sí solos para establecer una conclusión, por lo que se usó el dato de área bajo la curva ("Área").

Además de la lectura pura obtenida con el Espectrofluorímetro se graficó cada muestra factorizando los resultados de intensidad con la curva e sensibilidad del ojo humano (p. 23), integrándose cada gráfico. Así se obtuvieron los datos de "Área ojo", peak, ancho y altura, desechando los últimos tres.

Ambas áreas (Área y Área ojo) son números absolutos, sin unidad, producto de la integración de cada gráfico usando el cálculo diferencial del software Origin 7.

Usando el mismo software se obtuvieron dos nuevos datos que corresponden al área de la intersección entre la curva de cada muestra de composite y cada diente (con y sin factorizar con la curva de sensibilidad del ojo humano) con la curva del promedio de los 20 dientes que constituyen el grupo control (con y sin factorizar con la curva de sensibilidad del ojo humano). Estas áreas tampoco tienen unidad, son números absolutos.

Finalmente se tienen cuatro valores:

- Emisión total: Corresponde al área bajo la curva de emisión ("Área").
- Área de intersección con el patrón: Corresponde al área que queda entre la curva de emisión medida y la curva de emisión del patrón. Este dato representa la diferencia total de emisión entre el patrón y la medición ("Área intersección").
- Emisión ponderada por el ojo: Corresponde, al igual que la emisión total, al área bajo la curva de emisión, pero esta vez ponderada por la curva de sensibilidad del ojo humano. Se abrevia "Área ojo".

- Área de intersección con el patrón ponderada por el ojo: Corresponde al dato de "*Área intersección*", pero ponderada por la curva de sensibilidad del ojo humano ("*Área intersección ojo*").

De las variables descritas, dos de ellas, "*Área*" y "*Área ojo*" se mueven alrededor del promedio, pueden ser mayores o menores que éste. Mientras más lejana al valor del patrón se encuentre, tanto superior como inferior, más distinta es la curva de emisión a la curva patrón.

Notemos que en el caso de estas variables, el que tengan un valor igual al valor entregado para el patrón no significa que la curva de emisión sea idéntica a la curva del patrón, ya que la emisión puede estar distribuida en otro rango de frecuencia que en el caso del patrón. Es por esto que esta variable sólo entrega un valor aproximado de cercanía con el patrón.

Las otras dos variables, "*Área intersección*" y "*Área intersección ojo*", tienen valores desde cero, lo que significa que son idénticas al patrón, creciendo positivamente. Mientras mayor es esta variable, más lejos está la curva de emisión de la curva patrón.

Estas variables difieren en las anteriores en que sí indican una cercanía real al patrón, por lo que deben tener un mejor comportamiento al utilizarlas como parámetro de comparación.

De esta forma los resultados son los siguientes:

Tabla II. Resultados dientes:

MUESTRA	ÁREA	ÁREA INTERSECCIÓN	ÁREA OJO	ÁREA INTERSECCIÓN OJO
DIENTE 1	14.426	4.497	5.816	3.104
DIENTE 2	16.239	2.684	6.958	1.962
DIENTE 3	17.711	1.532	9.742	1.382
DIENTE 4	23.107	4.184	12.004	3.084
DIENTE 5	14.698	4.225	6.615	2.305
DIENTE 6	11.947	6.976	5.568	3.352
DIENTE 7	11.260	7.663	4.994	3.926
DIENTE 8	29.627	10.704	14.057	5.137
DIENTE 9	30.540	11.617	15.305	6.385
DIENTE 10	19.704	0.983	8.807	0.617
DIENTE 11	15.942	2.981	7.896	1.024
DIENTE 12	25.473	6.550	10.500	1.580
DIENTE 13	14.186	4.737	6.976	1.944
DIENTE 14	11.143	7.780	4.746	4.174
DIENTE 15	33.359	14.436	17.132	8.212
DIENTE 16	22.259	3.336	10.410	1.490
DIENTE 17	16.949	2.274	7.367	2.078
DIENTE 18	12.847	6.655	6.140	2.905
DIENTE 19	24.076	5.153	11.193	2.273
DIENTE 20	12.965	6.062	6.167	3.157
PROMEDIO	18.923	0.000	8.920	0.000

Tabla III. Estadísticas Dientes:

DESCRIPCIÓN	ÁREA	ÁREA INTERSECCIÓN	ÁREA OJO	ÁREA INTERSECCIÓN OJO
Promedio	18.92	5.75	8.92	3.01
Desviación Estándar	6.80	3.47	3.56	1.87
Mediana	16.59	4.95	7.63	2.61
Máximo	11.14	0.98	4.75	0.62
Mínimo	33.36	14.44	17.13	8.21
Percentil 10%	11.88	-	5.51	-
Percentil 90%	29.72	10.80	14.18	5.26

Resultados composites:

Tabla IV. Fabricante: **3M-ESPE**

NOMBRE	ÁREA	ÁREA INTERSECCIÓN	ÁREA OJO	ÁREA INTERSECCIÓN OJO	GRÁFICO
FILTEK A110 A3D	4,34	14,58	1,44	7,49	
FILTEK P60 A3	4,39	14,53	2,12	6,80	
FILTEK Z100 A3	3,76	15,17	1,98	6,94	
FILTEK Z250 A3	4,92	14,00	2,42	6,50	
FILTEK SUPREME A2E	3,68	15,24	1,83	7,08	
FILTEK SUPREME B2B	2,39	16,53	1,20	7,72	
FILTEK SUPREME B3D	4,87	14,06	2,52	6,40	
FILTEK SUPREME TY	2,31	16,61	0,75	8,17	

En el gráfico, la línea rosada corresponde al espectro de fluorescencia del promedio de los dientes naturales v la línea azul al espectro de fluorescencia del composite respectivo.

Tabla V. Estadísticas 3M-ESPE

NOMBRE	PERCENTIL ÁREA INTERSECCIÓN	PERCENTIL ÁREA INTERSECCIÓN OJO
FILTEK A110 A3D	0,0%	2,1%
FILTEK P60 A3	0,0%	4,1%
FILTEK Z100 A3	0,0%	3,7%
FILTEK Z250 A3	0,8%	4,9%
FILTEK SUPREME A2E	0,0%	3,2%
FILTEK SUPREME B2B	0,0%	1,4%
FILTEK SUPREME B3D	0,7%	5,2%
FILTEK SUPREME TY	0,0%	0,1%

Tabla VI. Fabricante: **Coltène**

NOMBRE	ÁREA	ÁREA INTERSECCIÓN	ÁREA OJO	ÁREA INTERSECCIÓN OJO	GRÁFICO
MIRIS ENAMEL IR	13,94	5,03	8,32	0,64	
MIRIS ENAMEL NR	10,21	8,78	5,88	3,04	
MIRIS ENAMEL WR	16,26	5,64	9,68	1,48	
MIRIS DENTIN S1	19,27	5,62	10,93	2,43	
MIRIS DENTIN S2	13,28	5,65	7,63	1,29	
MIRIS DENTIN S3	11,27	7,65	6,54	2,38	
MIRIS DENTIN S4	13,53	5,44	7,86	1,09	
SYNERGY DUO SHADE A2/B2	13,42	5,50	7,90	1,02	
SYNERGY COMPACT A2/B2	17,02	5,35	9,94	1,62	
SYNERGY COMPACT A3,5/B3	7,39	11,54	4,23	1,02	

En el gráfico, la línea rosada corresponde al espectro de fluorescencia del promedio de los dientes naturales v la línea azul al espectro de fluorescencia del composite respectivo

Tabla VII. Estadísticas Coltène

NOMBRE	PERCENTIL ÁREA INTERSECCIÓN	PERCENTIL ÁREA INTERSECCIÓN OJO
MIRIS ENAMEL IR	48,9%	99,7%
MIRIS ENAMEL NR	14,1%	43,5%
MIRIS ENAMEL WR	44,6%	86,8%
MIRIS DENTIN S1	44,7%	51,5%
MIRIS DENTIN S2	44,5%	90,8%
MIRIS DENTIN S3	21,2%	52,0%
MIRIS DENTIN S4	45,7%	93,8%
SYNERGY COMPACT A2/B2	46,2%	78,3%
SYNERGY COMPACT A3,5/B3	5,7%	12,9%
SYNERGY DUO SHADE A2/B2	45,3%	94,8%

Tabla VIII. Fabricante: Dentsply


NOMBRE	ÁREA	ÁREA INTERSECCIÓN	ÁREA OJO	ÁREA INTERSECCIÓN OJO	GRÁFICO
ESTHET X A2	12,69	6,24	7,34	1,58	
ESTHET X A20	8,12	10,80	4,08	4,85	
ESTHET X A3	9,39	9,53	5,34	3,58	
ESTHET X A3,5	9,26	9,67	5,30	3,62	
ESTHET X UNIVERSAL	16,20	4,23	9,18	0,87	
ESTHET X YE	8,29	10,64	4,61	4,31	
TPH SPECTRUM A3	3,79	15,12	2,06	6,86	

En el gráfico, la línea rosada corresponde al espectro de fluorescencia del promedio de los dientes naturales y la línea azul al espectro de fluorescencia del composite respectivo

Tabla IX. Estadísticas Dentsply

NOMBRE	PERCENTIL ÁREA INTERSECCIÓN	PERCENTIL ÁREA INTERSECCIÓN OJO
ESTHET X A2	40,2%	79,2%
ESTHET X A20	10,0%	12,1%
ESTHET X A3	12,6%	24,2%
ESTHET X A3,5	12,4%	23,9%
ESTHET X UNIVERSAL	63,1%	96,7%
ESTHET X YE	10,6%	15,0%
TPH SPECTRUM A3	0,0%	3,9%

Tabla X. Fabricante: Ivoclar - Vivadent

NOMBRE	ÁREA	ÁREA INTERSECCIÓN	ÁREA OJO	ÁREA INTERSECCIÓN OJO	GRÁFICO
HELIOMOLAR A3	10,95	7,97	5,67	3,29	
HELIOMOLAR FLOW A3	14,28	4,96	8,44	0,68	
HELIOMOLAR HB A3	24,90	11,04	14,69	6,10	
IN TEN S A3,5	7,24	11,68	4,21	4,71	
TE ECONOM A2	12,73	6,19	7,58	1,34	
TETRIC CERAM A3	13,14	5,79	8,03	0,89	
TETRIC CERAM A3,5D	15,15	6,08	9,39	1,33	
TETRIC CERAM T	11,74	7,18	6,44	2,48	
TETRIC FLOW A3	7,73	11,19	4,78	4,14	

En el gráfico, la línea rosada corresponde al espectro de fluorescencia del promedio de los dientes naturales y la línea azul al espectro de fluorescencia del composite respectivo



Tabla XI. Estadísticas Ivoclar – Vivadent

NOMBRE	PERCENTIL ÁREA INTERSECCIÓN	PERCENTIL ÁREA INTERSECCIÓN OJO
HELIOMOLAR A3	15,4%	27,9%
HELIOMOLAR FLOW A3	49,8%	99,2%
HELIOMOLAR HB A3	8,6%	6,5%
IN TEN S A3,5	5,1%	12,8%
TE ECONOM A2	40,7%	90,1%
TETRIC CERAM A3	43,7%	96,4%
TETRIC CERAM A3,5D	42,0%	90,3%
TETRIC CERAM T	24,7%	51,1%
TETRIC FLOW A3	7,7%	16,5%

Tabla XII. Fabricante: Kerr

NOMBRE	ÁREA	ÁREA INTERSECCIÓN	ÁREA OJO	ÁREA INTERSECCIÓN OJO	GRÁFICO
POINT 4 A3	17,32	8,68	5,59	3,75	
POINT 4 T1	23,85	8,07	8,19	1,76	

En el gráfico, la línea rosada corresponde al espectro de fluorescencia del promedio de los dientes naturales v la línea azul al espectro de fluorescencia del composite respectivo

Tabla XIII. Estadísticas Kerr

NOMBRE	PERCENTIL ÁREA INTERSECCIÓN	PERCENTIL ÁREA INTERSECCIÓN OJO
POINT 4 A3	14,2%	22,6%
POINT 4 T1	15,3%	76,3%

Tabla XIV. Fabricante: SDI

NOMBRE	ÁREA	ÁREA INTERSECCIÓN	ÁREA OJO	ÁREA INTERSECCIÓN OJO	GRÁFICO
GLACIER ENAMEL A3	1,85	17,07	0,67	8,23	
ICE A2	2,35	16,57	0,74	8,18	
ROK A3	6,11	12,81	2,07	6,85	
WAVE A2	1,82	17,11	0,73	8,19	

En el gráfico, la línea rosada corresponde al espectro de fluorescencia del promedio de los dientes naturales y la línea azul al espectro de fluorescencia del composite respectivo

Tabla XV. Estadísticas SDI

NOMBRE	PERCENTIL ÁREA INTERSECCIÓN	PERCENTIL ÁREA INTERSECCIÓN OJO
GLACIER ENAMEL A3	0,0%	0,0%
ICE A2	0,0%	0,1%
ROK A3	3,0%	3,9%
WAVE A3	0,0%	0,1%

Tabla XVI. Fabricante: **Ultradent**

NOMBRE	ÁREA	ÁREA INTERSECCIÓN	ÁREA OJO	ÁREA INTERSECCIÓN OJO	GRÁFICO
AMELOGEN UNIVERSAL A2	12,11	7,31	7,14	2,08	
AMELOGEN UNIVERSAL A3	12,76	6,97	7,63	1,79	
AMELOGEN UNIVERSAL PF-A	12,09	7,07	7,22	1,70	
AMELOGEN UNIVERSAL TY-A	7,09	11,83	4,38	4,54	
PERMA FLO A2	5,88	13,04	1,88	7,04	
PERMA FLO A3	9,73	9,19	3,75	5,17	
PERMA FLO IE	6,51	12,41	2,13	6,79	
VITALESCENCE A2	62,65	49,89	40,63	32,07	
VITALESCENCE A3	30,72	19,98	19,65	11,27	
VITALESCENCE PF	15,28	5,20	9,00	0,89	
VITALESCENCE TM	9,98	8,95	6,16	2,76	

En el gráfico, la línea rosada corresponde al espectro de fluorescencia del promedio de los dientes naturales v la línea azul al espectro de fluorescencia del composite respectivo

Tabla XVII. Estadísticas Ultradent

NOMBRE	PERCENTIL ÁREA INTERSECCIÓN	PERCENTIL ÁREA INTERSECCIÓN OJO
AMELOGEN UNIVERSAL A2	23,8%	63,2%
AMELOGEN UNIVERSAL A3	26,4%	76,0%
AMELOGEN UNIVERSAL PF-A	25,6%	77,2%
AMELOGEN UNIVERSAL TY-A	4,9%	13,8%
PERMA FLO A2	2,6%	3,4%
PERMA FLO A3	13,2%	10,4%
PERMA FLO IE	3,8%	4,1%
VITALESCENCE A2	0,0%	0,0%
VITALESCENCE A3	0,0%	0,0%
VITALESCENCE PF	47,1%	96,5%
VITALESCENCE TM	13,7%	48,6%

Tabla XVIII. Fabricantes: Vericom y Discus

NOMBRE	ÁREA	ÁREA INTERSECCIÓN	ÁREA OJO	ÁREA INTERSECCIÓN OJO	GRÁFICO
DEN FIL A3	7,49	11,43	2,47	6,46	
MATRIX IB	6,39	12,52	3,79	5,12	

En el gráfico, la línea rosada corresponde al espectro de fluorescencia del promedio de los dientes naturales y la línea azul al espectro de fluorescencia del composite respectivo

Tabla XIX. Estadísticas Vericom y Discus

NOMBRE	PERCENTIL ÁREA INTERSECCIÓN	PERCENTIL ÁREA INTERSECCIÓN OJO
DEN FIL A3	6,3%	5,1%
MATRIX IB	3,6%	10,6%

Tabla XX. Fabricante: **VOCO**

NOMBRE	ÁREA	ÁREA INTERSECCIÓN	ÁREA OJO	ÁREA INTERSECCIÓN OJO	GRÁFICO
ADMIRA A3	2,69	16,24	1,03	7,89	
ADMIRA FLOW A3	1,89	17,03	0,68	8,24	
ARABESK TOP A3	2,19	16,73	0,78	8,14	
ARABESK TOP UO	3,57	13,36	1,21	7,71	

En el gráfico, la línea rosada corresponde al espectro de fluorescencia del promedio de los dientes naturales y la línea azul al espectro de fluorescencia del composite respectivo

Tabla XXI. Estadísticas VOCO

NOMBRE	PERCENTIL ÁREA INTERSECCIÓN	PERCENTIL ÁREA INTERSECCIÓN OJO
ADMIRA A3	0,0%	0,9%
ADMIRA FLOW A3	0,0%	0,0%
ARABESK TOP A3	0,0%	0,2%
ARABESK TOP UO	2,0%	1,4%

DISCUSION

En los últimos años la estética dental se ha transformado en una rama muy importante de la odontología, debido a la gran demanda de pacientes que buscan una apariencia mejor.

A la hora de restaurar tejido dentario perdido (ya sea por caries o traumatismos) o de mejorar la apariencia de la superficie de los dientes, las resinas compuestas se han convertido en un excelente material, ya que logran una estética de alta calidad, respetan tejido dentario remanente y, a pesar de ser aún técnico-sensitivos, permiten acortar el tiempo de restauración por ser de aplicación directa.

Las propiedades ópticas de las resinas compuestas han mejorado notablemente, lográndose con ellas restauraciones imperceptibles al ojo no entrenado bajo luz blanca. Sin embargo, el comportamiento bajo luz ultravioleta puede diferir notoriamente del diente natural, afectando la estética de las personas expuestas a este tipo de luz, que corresponden principalmente a gente joven.

Los resultados obtenidos difieren de los estudios revisados principalmente en la unidad de medición, ya que este estudio consideró las áreas de los espectros de fluorescencia y no la longitud de onda de emisión máxima como se encontró en la bibliografía revisada (Matsumoto y cols, 2001; Monsenego y cols, 1990; Phillips, 1998). No se consideró el peak de longitud de onda como un buen parámetro, ya que la fluorescencia no es sólo longitud de onda de emisión. La intensidad también juega un rol muy importante, tanto así que se observó que dos resinas compuestas con el mismo peak de longitud de onda, con similar ancho, pero con una gran diferencia de intensidad se comportan de manera completamente diferente bajo luz ultravioleta.

Es interesante también considerar la factorización por la sensibilidad del ojo humano, ya que el espectrofluorímetro tiene una sensibilidad pareja a cualquier longitud de onda, a diferencia de nuestro órgano de la visión, el cual tiene su mayor sensibilidad en los 555 nm de longitud de onda. Esta observación no fue encontrada en la bibliografía revisada.

Con respecto a la fluorescencia de los dientes naturales lo encontrado en la bibliografía difiere con este estudio en que los autores revisados utilizan la longitud de onda máxima como dato indicador de fluorescencia, lo que no se hizo en este estudio por las razones explicadas anteriormente, por lo tanto no se pueden comparar los resultados obtenidos.

Por otro lado Craig, en 1998, Phillips, en 1998, Monsenego y cols, en 1990, y Matsumoto y cols, en 2001, midieron la fluorescencia del esmalte y la dentina por separado, a diferencia de este estudio donde el diente no fue seccionado, sino que se midió la fluorescencia de ambos tejidos juntos, considerándose más válido como parámetro para comparar el comportamiento de las resinas compuestas, ya que es la situación que se observa en la naturaleza.

De acuerdo al estudio realizado se aprecia que en el mercado chileno se venden resinas compuestas cuya fluorescencia es muy similar al diente natural y otras que difieren notoriamente, afectando de manera severa la estética de pacientes expuestos a la luz ultravioleta.

Dentro de una misma casa comercial se encontraron resinas compuestas con una fluorescencia muy diferente a la del diente natural, y otras con una fluorescencia muy similar. Las primeras correspondían a las generaciones más antiguas y las segundas a las nuevas propuestas de los fabricantes, lo que indica una mejora en la composición de las resinas lo que incide en el comportamiento del composite bajo luz ultravioleta. Este caso se da en los composites fabricados por Dentsply, donde TPH Spectrum muestra una fluorescencia diferente del diente, mientras que la de algunos tonos de Esthet X es muy parecida.

De la misma forma hay fabricantes donde todos sus composites, de generaciones anteriores y de última generación tienen un comportamiento fluorescente muy diferente al diente natural, lo que los hace descartables como alternativa restauradora de dientes anteriores en personas jóvenes que puedan verse expuestas a luz ultravioleta. Este es el caso de la casa VOCO, con sus composites Admira y Arabesk Top; 3M-ESPE, con Filtek A110, Filtek P60, Filtek Z100, Filtek Z250 y Filtek Supreme; SDI, con Glacier, Wave, Ice y Rok; Vericom con Den Fil, en todos los colores analizados.

Así también hay fabricantes como Ivoclar-Vivadent donde muchos de sus composites, de diferente viscosidad, cantidad de relleno o indicación de uso, tienen un comportamiento fluorescente muy similar al diente. Lo mismo ocurre con la casa Coltène, aunque el composite Brilliant no fue analizado en este estudio y por lo tanto se desconoce su comportamiento fluorescente.

En el caso de Ultradent hay una diferencia de comportamiento fluorescente entre sus composites fluidos (Perma Flo) y los de mayor consistencia (Amelogen Universal y Vitaescence). Los composite Perma Flo y Vitaescence (en los tonos A2 y A3) son muy diferentes al diente natural. Perma Flo por un lado se aleja del diente hacia el color violeta del espectro, mientras que Vitaescence, en sus tonos de cuerpo o dentina (A2 y A3) lo hace hacia el otro extremo, hacia el verde. Sin embargo se debe hacer la salvedad que en el caso de Vitaescence los tonos para bordes incisales y esmalte presentan una fluorescencia más parecida al diente natural. Amelogen Universal son, en general, similares al diente.

Al momento de estandarizar las muestras fue difícil en el punto del color de los composites, ya que no existe una carta de colores universal para las resinas compuestas. De esta manera será interesante realizar un estudio para medir la fluorescencia de los distintos tonos de composite de una misma marca, para ver si existen diferencias entre ellos.

Cuántos de nosotros, en más de alguna oportunidad de nuestra vida profesional, pecamos de exceso de entusiasmo ante una propuesta industrial y nos hicimos de un

sistema, producto, aparatología o material que, más temprano que tarde, debimos reconocer que se trataba de elementos de escasa utilidad, de poca facilidad de manejo o simplemente con resultados inferiores a los esperados, no completamente satisfactorios o directamente generadores de efectos perjudiciales.

Afortunadamente, sin embargo, son muchos más los casos en los que la biotecnología nos aporta soluciones prácticas y beneficiosas, máxime cuando esta se desarrolla a cargo de personas, investigadores y empresas o industrias, reconocidamente serias. Saber oportuna y convenientemente cuáles son las mejor calificadas, requiere de un muy amplio criterio en lo que dice en relación con las sensibilidades que acerca del tema de estética debe poseer un odontólogo que aspira a privilegiar responsablemente en su práctica habitual este complejo aspecto de la terapéutica y de las bases científicas más sólidas a las que se pueda aspirar (Aguirre y Flores, 2002).

Se hace necesario conocer por medio de futuras investigaciones qué componentes determinan el comportamiento fluorescente de una resina compuesta, así como sabemos que es la materia orgánica la que hace que un diente tenga un efecto fluorescente dado (Vanini, 1996), para que así se logren composites con propiedades ópticas iguales al diente bajo cualquier condición de luz.

La fluorescencia tiene una contribución definitiva a la brillantez y al aspecto vital del diente humano (Phillips, 1998), por lo que el material restaurador utilizado para reemplazar al tejido dentario una vez que éste se ha dañado o perdido, debe ser fluorescente como el diente, ya que la luz ultravioleta proviene naturalmente de la radiación solar, por lo que todos los pacientes, no importando edad, están expuestos a ella, influyendo la fluorescencia en el brillo de la restauración y en su mimetismo con el diente. Dentro de este punto sería interesante un estudio futuro acerca del comportamiento fluorescente de las resinas compuestas pero bajo luz solar intensa, como la del medio día de un día soleado.

Para el desarrollo de este estudio la principal dificultad fue encontrar un instrumento de medición apropiado en Chile, ya que los espectrofluorímetros disponibles para investigación sirven solamente para analizar fluorescencia de compuestos en solución.

Se observó que existen diferencias entre las mediciones obtenidas con el espectrofluorímetro y lo que veía el ojo humano, debido a la distinta sensibilidad que presenta este a diferentes longitudes de onda. De esto podría inferirse que el espectrofluorímetro entrega datos que posiblemente no tengan mayor relevancia clínica, a no ser que estos datos sean factorizados por la curva de sensibilidad del ojo humano.

También como dificultad podría considerarse la poca cantidad de estudios relacionados con fluorescencia de resinas compuestas.

CONCLUSIONES

Se consideraron más válidos los valores obtenidos al factorizar por la sensibilidad del ojo humano, ya que es el instrumento con el que cuenta todo odontólogo a la hora de analizar la estética de sus pacientes, por lo tanto las conclusiones de esta investigación *In Vitro* son hechas basándose en dichos valores.

Los composites: Miris Enamel IR (*Coltène*), Heliomolar Flow A3 (*Ivoclar - Vivadent*), Esthet X Universal (*Dentsply*), Vitaescence PF (*Ultradent*), Tetric Ceram A3 (*Ivoclar - Vivadent*), Synergy Duo Shade A2/B2 (*Coltène*), Miris Dentin S4 (*Coltène*), Miris Dentin S2 (*Coltène*), Tetric Ceram A3,5 (*Ivoclar - Vivadent*), Te Econom A2 (*Ivoclar - Vivadent*) y Miris Enamel WR (*Coltène*), tienen un comportamiento fluorescente similar a más del 80% de los dientes de personas entre 20 y 25 años de edad, por lo que se recomienda su uso en dientes anteriores de pacientes de dicho grupo etáreo.

Los composites: Esthet X A2 (*Dentsply*), Synergy Compact A2/B2 (*Coltène*), Amelogen Universal PF-A (*Ultradent*), Point 4 T1 (*Kerr*), Amelogen Universal A3 y Amelogen Universal A2 (*Ultradent*), tienen un comportamiento fluorescente similar al 60-80% de los dientes de personas entre 20 y 25 años de edad.

Los composites: Miris Dentin S3, Miris Dentin S1 (*Coltène*), Tetric Ceram T (*Ivoclar - Vivadent*), Vitaescence TM (*Ultradent*) y Miris Enamel NR (*Coltène*) tienen un comportamiento fluorescente similar al 40-60% de los dientes de personas entre 20 y 25 años de edad.

Los composites: Heliomolar A3 (*Ivoclar - Vivadent*), Esthet X A3, Esthet X A3,5 (*Dentsply*), Point 4 A3 (*Kerr*), Tetric Flow A3 (*Ivoclar - Vivadent*) y Esthet X YE (*Dentsply*) tienen un comportamiento fluorescente similar al 15 - 30% de los dientes de personas entre 20 y 25 años de edad.

Los composites: Amelogen Universal TY-A (*Ultradent*), Synergy Compact A3,5/B3 (*Coltène*), In Ten S A3,5 (*Ivoclar - Vivadent*), Esthet X A20 (*Dentsply*), Matrixx IB (*Discus*), Perma Flo A3 (*Ultradent*), Heliomolar HB A3 (*Ivoclar - Vivadent*), Filtek Supreme B3D (3M - ESPE), Den Fil A3 (*Vericom*), Filtek Z250 A3 (3M - ESPE), Perma Flo IE (*Ultradent*), Filtek P60 A3 (3M - ESPE), Rok A3 (*SDI*), TPH Spectrum A3 (*Dentsply*), Filtek Z100 A3 (3M - ESPE), Perma Flo A2 (*Ultradent*), Filtek Supreme A2E (3M - ESPE), Filtek A110 A3D (3M - ESPE), Arabesk Top UO (*VOCO*), Filtek Supreme B2B (3M - ESPE), Admira A3 (*VOCO*), Arabesk Top A3 (*VOCO*), Filtek Supreme TY (3M - ESPE), Ice A2 (*SDI*), Wave A3 (*SDI*), Admira Flow A3 (*VOCO*), Glacier Enamel A3 (*SDI*), Vitaescence A3 y Vitaescence A2 (*Ultradent*), tienen un comportamiento fluorescente similar a menos del 15% de los dientes de personas entre 20 y 25 años de edad, por lo que no se recomienda su uso para restaurar dientes anteriores de pacientes del mencionado grupo etáreo.

Finalmente, la hipótesis es desmentida.

SUGERENCIAS

Este trabajo de investigación puede servir de base para la realización de nuevos estudios.

Sería interesante estudiar la incidencia del color en la fluorescencia, tanto en los dientes como en los diferentes tonos de resinas compuestas. O averiguar qué papel juega el grosor de las capas de resina en la fluorescencia final de la restauración, o si puede mejorarse dicha fluorescencia final mezclando diferentes marcas de composites en una técnica estratificada.

Es necesario un acabado estudio de cuáles son los factores que influyen en la fluorescencia dental (edad, tipo de diente, etcétera) o qué compuesto dentro de la fórmula de un composite es el que hace que éste se comporte de tal o cual manera al ser excitado por luz ultravioleta.

También es importante analizar el comportamiento fluorescente de las resinas compuestas al ser excitadas por luz ultravioleta pero proveniente directamente del sol, para estudiar qué papel juega la fluorescencia en una restauración al ser vista con luz blanca.

Finalmente este estudio debiera realizarse *In Vivo*, investigando el comportamiento fluorescente de las resinas compuestas en boca.

RESUMEN

La fluorescencia consiste en la emisión de luz de un cuerpo luego de ser excitado por luz ultravioleta. La luz ultravioleta naturalmente proviene de la radiación solar, pero puede encontrarse en tubos y ampollas que iluminan lugares como discotecas y parques de diversiones, donde acuden principalmente personas jóvenes. Los dientes humanos son fluorescentes al ser expuestos a luz ultravioleta, y a la hora de ser restaurados el material elegido debiera tener un comportamiento fluorescente similar a ellos.

El presente estudio analizó *In Vitro* la fluorescencia de 57 resinas compuestas disponibles en Chile, las que fueron comparadas con la fluorescencia de dientes de pacientes entre 20 y 25 años.

Los resultados indican que las marcas: Miris Enamel IR y WR, Miris Dentin S2 y S4, Synergy Duo-Shade A2/B2 (*Coltène*); Heliomolar Flow A3, Tetric Ceram A3 y A3,5D, TeEconom A2 (*Ivoclar-Vivadent*); Esthet X Universal (*Dentsply*) y Vitaescence PF (*Ultradent*), son las de comportamiento fluorescente más similar al diente, mientras que las marcas: Amelogen Universal TY-A, Perma Flo IE, A2 y A3, Vitaescence A2 y A3 (*Ultradent*); Synergy Compact A3,5/B3 (*Coltène*); InTen S A3,5, Heliomolar HB A3 (*Ivoclar-Vivadent*); Esthet X A2O, TPH Spectrum A3 (*Dentsply*); Matrixx IB (*Discus*); Filtek A110 A3D, Filtek P60 A3, Filtek Supreme A2E, B2B, B3D y TY, Filtek Z100 A3, Filtek Z250 A3 (*3M-ESPE*); Den Fil A3 (*Vericom*); Glacier Enamel A3, Ice A2, Rok A3, Wave A3 (*SDI*); Admira A3, Admira Flow A3, Arabesk Top A3 y UO (*VOCO*), tienen una fluorescencia muy diferente a la del tejido dentario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adolfi, D. 2002. Odontología Estética, una respuesta sensorial. Revista de Tecnología Dental. 2: 191-198
- Aguirre, J.; Flores G. 2002. Odontología Estética, una respuesta sensorial. Revista de Tecnología Dental. 2: 142-146
- Arias, D; Colucci, M; Sirchia, R. Las Propiedades Ópticas de los aerogeles de Silicio. Lawrence Berkeley National Laboratory. 1999 [consultado 23/03/2003]. Disponible en:
<http://eande.lbl.gov/ECS/aerogels/saoptics.htm>
- Babook, P. The science of Iridescence. En: Webster's New 11th International Dictionary Unabridged Edition. Merriam-Webster. USA. 2003 [consultado 11/03/2003]. Disponible en:
<http://www.buginabox.com/scienofir.html>
- Blasse, G; Grabmaier, B.C. Luminescent materials. New York: Springer-Verlag, 1995
- Castro, M. Propagación de la Luz. 1999 [consultado 11/12/2002] Disponible en:
http://members.tripod.com/~Mauve_Ciel/propagacion.html
- Cattaruzza, M. Il Colore. En: Odontoiatria Conservativa Restauri Adesivi Diretti Fondamenti sul Colore e sue Applicazioni. Italia: Promoden, 2002; p.112-189
- Columbia University Press. The Columbia Encyclopedia 6th Edition. USA. 2002 [consultado 22/03/2003]. Disponible en:
<http://www.bartleby.com/65/ir/iridesce.html>
- Craig, G. Propiedades ópticas, térmicas y eléctricas. En: Materiales de Odontología Restauradora. España: Madrid: Harcourt - Brace, 1998; p.30-38
- Crowell, B. Optics. Light and matter [monografía en CD-ROM]. Versión 2.0. Fullerton, California, 1999.
- Díaz, F; Serrano, L. Desinfección de agua con luz Ultravioleta. Germ-Ex. 1999 [consultado 09/04/2003]. Disponible en:
<http://mx.geocities.com/ionopura/3-4-02diaz.pdf>
- Dietschi, D. (2001). Layering concepts in anterior composite restorations. J. Adhes. Dent.; 3:71-80

- Dos Santos, P; Conti, E; Fernando, U; Salete, M. Princípios Físicos e Ópticos da luz aplicados aos Dentes Naturais. Revista Dentística On Line [revista electrónica] 2001 Oct-Dic [consultado 21/03/2003]. Disponible en: <http://www.ufsm.br/dentisticaonline>
- Friedman, H. The Mineral and Gemstone Kingdom. Complete information guide to rocks, mineral and gemstones. 1997 [consultado 15/04/2003]. Disponible en: <http://www.minerals.net/glossary/terms/i/iridescn.htm>
- García del Amo, D; Calvo, B; Vladimirovich, E; Cueto, R; García, E. Luminiscencia. Universidad Politécnica de Madrid. 1996 [consultado 12/12/2002]. Disponible en: http://www.uned.es/cristamine/mineral/prop_fis/luminiscencia1.htm#LUMINISCENCIA
- García del Amo, D; Calvo, B; Vladimirovich, E; Cueto, R; García, E. Gemología. Universidad Politécnica de Madrid. 1996 [consultado 12/12/2002]. Disponible en: http://www.uned.es/cristamine/gemas/propiedades/ef_optic.htm
- García, J. El Proceso Visual y sus Características. 2000 [consultado 04/03/2003]. Disponible en: http://edison.upc.es/curs/llum/luz_vision/p_visual.html
- Gnoato, M. Esterilizadores Ultravioleta. 2001 [consultado 23/03/2003]. Disponible en: <http://www.elacuarista.com/secciones/filtrado7.htm>
- González, M. Dispersión de la luz. Facultad de Física Universidad de Sevilla. 2000 [consultado 22/11/2002]. Disponible en: <http://www.us.es/fisica/dispersionluz.htm>
- Griesser, D. Generating and Projecting Black Light. 1999 [consultado 19/04/2003]. Disponible en: http://wolfstone.halloweenhost.com/TechBase/bltgen_BlacklightGeneration.html
- Harris, T. How Black Lights Work. 2000 [consultado 19/04/2003]. Disponible en: <http://science.howstuffworks.com/light-black1.htm>
- Harvey, E.N. A history of luminescence. Philadelphia: American Philosophical Society, 1957.
- Henríquez, B. La luz sin llamas: breve historia de la luminiscencia. 1997 [consultado 12/12/2002]. Disponible en: <http://eyt.cubasolar.cu/energia/Energia14/HTML/articulo07.htm>

- IAV. Instituto de Artes Visuales Veracruz, México. Color: colores primarios. 1999 [consultado 23/11/2002]. Disponible en: <http://www.newsartesvisuales.com/funda/color3.htm>
- Jiménez, A. Tierras Raras o Elementos de Transición Interna. Universidad Autónoma de Madrid. 1996 [consultado 21/03/2003]. Disponible en: <http://www.adi.uam.es/docencia/elementos/spv21/sinmarcos/elementos/familias.html#tr>
- Korb, H; Fernández, E; Nelson, R. Web vision: la organización de la retina de los vertebrados. 1996 [consultado 04/03/2003]. Disponible en: <http://webvision.med.utah.edu/spanish/fisicaluz.html>
- Lakowicz, J. Introduction to Fluorescence. En: Principles of Fluorescence Spectroscopy. New York: Plenum Press, 1986; p.1-18
- Laszlo, C. Manual de Luminotecnia. 1999 [consultado 04/05/2003]. Disponible en: <http://ar.geocities.com/weblaeolica/manual.htm>
- Luz. Diccionario enciclopédico Planeta. España: Editorial Planeta, 1985; 6:3.032-3.033
- Matsumoto, H; Kitamura, S; Araki, T (2001). Applications of fluorescence microscopy to studies of dental hard tissue. Front Med Biol Eng. 10:269-84
- Merriam-Webster. Merriam-Webster's Collegiate Dictionary 10th Edition. Springfield, MA, USA. 1995 [consultado 22/03/2003]. Disponible en: <http://www.noteaccess.com>
- Moncada, G; Aránguiz, V; Sommariva, C (2002). Nuevos criterios y métodos para el diagnóstico de caries. Magazine International College of Dentists South American Section IV.10:10-15
- Monsenego, G; Burdairon, G; Porte, C; Naud, C (1990) Fluorescence of dental porcelain: material and methods. Cah Prothese. 70:79-85
- Monsenego, G; Burdairon, G; Clerjaud, B (1993) Fluorescence of dental porcelain. J Prosthet Dent.69: 106-13
- Phillips, I.W.; Ralph, W. Propiedades físicas de los materiales dentales. En: La ciencia de los materiales dentales de Skinner. México, D.F.: Interamericana, 1998;p.44

- Pretty, I.A; Smith, P.W; Edgar, W.M; Higham, S.M (2002). The use of quantitative light-induced fluorescence (QLF) to identify composite restorations in forensic examinations. *J Forensic Sci.* 47:831-6
- Ruiz, J. *Dispersión de la luz*. Instituto Julio Rey Pastor (Albacete) 1999 [consultado 18/11/2002]. Disponible en:
<http://acacia.pntic.mec.es/~jrui27/dispersion/arcoiris.html>
- Ruiz, J. *Reflexión de la luz: Ley de Snell*. Instituto Julio Rey Pastor (Albacete) 1999 [consultado 18/11/2002]. Disponible en:
<http://acacia.pntic.mec.es/~jrui27/light/refracciones.html>
- Ruiz, J. *Naturaleza de la luz*. Instituto Julio Rey Pastor (Albacete) 1999 [consultado 18/11/2002]. Disponible en:
<http://acacia.pntic.mec.es/~jrui27/interf/young.htm>
- Schneider, S. *Minerales Fluorescentes de N.J.* 2003 [consultado 21/03/2003]. Disponible en:
<http://www.mineraltown.com/Reports/3/3.php?idioma=1>
- Steenbecker, O. *Óptica, color y colorimetría en Odontología Restauradora Estética Directa*. Oct 1998
- Valdés, M. *La Radiación Solar*. Instituto de Geofísica Universidad Autónoma de México. May 1999 [consultado 22/03/2003]. Disponible en:
<http://www.igeofcu.unam.mx/divulgacion/geofisicosas/geofisicosas5.pdf>
- Vanini, L. (1996): Light and color in anterior composite restorations. *Practical Periodont & Aesthet Dent.* 8: 673-682
- Watt, A. *Fundamentals of three-dimensional computer graphics*. Addison Wesley. 1992 [consultado 15/04/2003]. Disponible en:
<http://astronomy.swin.edu.au/pbourke/geomformats/pov/pov31/pov309.htm>
- Wu, K; Loh, T; Salazar, C. *The Optics*. 2000 [consultado 11/03/2003]. Disponible en:
http://library.thinkquest.org/c003776/español/book/cl_preliminares.htm
- Yoshida, H; Takei, T (1993) Identification of artificial teeth by fluorescent examination with an emphasis on metal bond porcelains. *Nippon Hoigaku Zasshi.* 47: 310-4

ANEXOS



ANEXO I

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Informe estadístico: “Evaluación del efecto de Fluorescencia en Resinas Compuestas”

Informe escrito por Aplik S.A. para Andrea Poblete.

Este informe muestra el resultado de varias pruebas estadísticas a los datos obtenidos por la medición de fluorescencia en resinas compuestas y en dientes humanos.

1. Observaciones Iniciales

1.1. Relevancia de los resultados

La relevancia de los resultados presentados en este informe esta influida directamente por la validez de los datos entregados.

Los puntos más relevantes son los siguientes:

- Se asume que los datos entregados para obtener el patrón de fluorescencia de un diente normal corresponden a una muestra representativa para el estudio.
Es importante comprender que si la muestra no es representativa, el resultado de las comparaciones de las mediciones de las resinas compuestas con dicha muestra a su vez no es representativa.
- Los datos entregados para las resinas fueron correctamente obtenidos, utilizando procedimientos equivalentes a los empleados para obtener los datos de la muestra de dientes.

La investigadora debe encargarse de justificar ambos puntos.

1.2. Descripción de las mediciones

Las mediciones realizadas con el instrumento entregan como resultado una curva de emisión en función de la longitud de onda de la luz. Para cada diente patrón y resina se obtiene una curva diferente.

Luego de obtener todas las curvas para los dientes, se obtuvo una curva de emisión promedio de los dientes, esto es, para cada valor de longitud de onda distinto se obtiene el promedio de emisión de los dientes para dicha longitud de onda.

La curva de emisión promedio pasa luego a ser la curva patrón, contra la cual se comparan el resto de las curvas, tanto las de los dientes como las de las resinas.

Las curvas obtenidas fueron luego procesadas para obtener varios valores numéricos que facilitan su posterior análisis e interpretación, dando origen a cuatro

valores:

- Emisión total: Corresponde al área bajo la curva de emisión. Se abrevia *"Total"*.
- Diferencia total con el patrón: Corresponde al área que queda entre la curva de emisión medida y la curva de emisión del patrón. Este dato representa la diferencia total de emisión entre el patrón y la medición. Se abrevia *"Diferencia"*.
- Emisión ponderada por el ojo: Corresponde, al igual que la emisión total, al área bajo la curva de emisión, pero esta vez ponderada por la curva de sensibilidad del ojo humano. Se abrevia *"Total Ojo"*.
- Diferencia ponderada por el ojo: Corresponde al dato de "Diferencia total con el patrón", pero ponderada por la curva de sensibilidad del ojo humano. SE abrevia *"Diferencia Ojo"*.

De las variables descritas, dos de ellas, "Total" y "Total Ojo" se mueven alrededor del promedio, pueden ser mayores o menores que éste. Mientras más lejana al valor del patrón se encuentre, tanto superior como inferior, más distinta es la curva de emisión a la curva patrón.

Notemos que en el caso de estas variables, el que tengan un valor igual al valor entregado para el patrón no significa que la curva de emisión sea idéntica a la curva del patrón, ya que la emisión puede estar distribuida en otro rango de frecuencia que en el caso del patrón. Es por esto que esta variable sólo entrega un valor aproximado de cercanía con el patrón.

Las otras dos variables, "Diferencia" y "Diferencia Ojo", tienen valores desde cero, lo que significa que son idénticas al patrón, creciendo positivamente. Mientras mayor es esta variable, más lejos esta la curva de emisión de la curva patrón.

Estas variables difieren en las anteriores en que sí indican un cercanía real al patrón, por lo que deben tener un mejor comportamiento al utilizarlas como parámetro de comparación.

2. Muestra de dientes patrón

Este capítulo describe los análisis realizados sobre la muestra de dientes patrón, los que se utilizan luego para la comparación.

2.1. Datos entregados

La muestra patrón consiste en el resultado de la medición de fluorescencia en una población de 20 dientes. La siguiente tabla muestra estos datos.

Muestra	Total	Diferencia	Total Ojo	Diferencia Ojo
1	14.43	4.50	5.82	3.10
2	16.24	2.68	6.96	1.96
3	17.71	1.53	9.74	1.38
4	23.11	4.18	12.00	3.08
5	14.70	4.23	6.62	2.31
6	11.95	6.98	5.57	3.35
7	11.26	7.66	4.99	3.93
8	29.63	10.70	14.06	5.14
9	30.54	11.62	15.31	6.39
10	19.70	0.98	8.81	0.62
11	15.94	2.98	7.90	1.02
12	25.47	6.55	10.50	1.58
13	14.19	4.74	6.98	1.94
14	11.14	7.78	4.75	4.17
15	33.36	14.44	17.13	8.21
16	22.26	3.34	10.41	1.49
17	16.95	2.27	7.37	2.08
18	12.85	6.66	6.14	2.91
19	24.08	5.15	11.19	2.27
20	12.97	6.06	6.17	3.16

Tabla 1: Datos dientes.

2.2 Resultados estadísticos.

Varios datos estadísticos pueden obtenerse de la tabla anterior, los más relevantes para nuestro análisis se muestran en la tabla a continuación:

Descripción	Total	Diferencia	Total Ojo	Diferencia Ojo
Promedio	18.92	5.75	8.92	3.01
Desviación Estándar	6.80	3.47	3.56	1.87
Mediana	16.59	4.95	7.63	2.61
Máximo	11.14	0.98	4.75	0.62
Mínimo	33.36	14.44	17.13	8.21
Percentil 10%	11.88	-	5.51	-
Percentil 90%	29.72	10.80	14.18	5.26

Tabla 2: Estadísticas dientes.

Los percentiles de 10% se muestran sólo para las variables en las que es relevante, por tener un límite inferior.

De los datos entregados en la tabla, los más relevantes a nuestro análisis son los percentiles.

El percentil 10% para una variable indica el valor que debe tomarse, de dicha variable, para dividir a la población de tal manera que en un 10% de la población, la variable en cuestión toma un valor menor que el indicado, mientras que en el 90% restante tiene el valor de dicha variable mayor que el valor indicado.

Por otra parte, el percentil 90% para una variable indica que el valor dado divide a la población de tal manera que en un 90% de la población, la variable en cuestión toma un valor menor que el indicado, mientras que en el 10% restante tiene el valor de dicha variable mayor que el valor indicado.

De esta manera, podemos afirmar que, de la población de dientes examinados, el 80% de ellos presenta un a emisión total entre 11.88 y 29.72, mientras que un 90% de ellos tiene un valor de diferencia percibida por el ojo menor a 5.26.

En el siguiente capítulo se utilizará este criterio para determinar la cercanía de la emisión de una resina compuesta a la emisión promedio de los dientes.

3. Muestra de resinas compuestas

Este capítulo describe los análisis realizados sobre la muestra de resinas compuestas entregada, comparados con el patrón definido en el capítulo anterior.

3.1. Datos entregados

La muestra patrón consiste en el resultado de la medición de fluorescencia en una muestra de 57 diferentes resinas compuestas. La tabla 3, que se puede ver en la siguiente página muestra estos datos.

3.2. Análisis de los datos

Para analizar los datos obtenidos de las resinas compuestas se ha buscado, para cada uno de las variables estudiadas, cual es el rango dentro de la tabla de percentiles correspondiente a dicha variable en la población de dientes.

Esta búsqueda ha producido un valor al que llamamos "confianza" de ese dato. Esto se define en términos estadísticos como:

La "confianza" es la probabilidad de que, dada la distribución de valores de la variable en la población, un miembro de dicha población tenga un valor de la variable "peor" que el valor de la medición.

En la definición se ha utilizado el término "peor" para significar "más lejos del patrón", en la sección 2.2 se mostró que eso tiene distintos significados dependiendo de la variable analizada.

La definición entregada puede entenderse intuitivamente como lo siguiente:

- Dado un valor, en nuestro caso una medición de una de las variables en una resina compuesta, si la confianza es alta (con un máximo de 1 ó lo que es lo mismo, 100%), es muy probable que un diente de la población de muestra tenga un valor de dicha variable más alejado de nuestro patrón.

Esto significa que el valor está muy cerca del valor del patrón en términos estadísticos.

- Por el contrario, si la confianza es baja (con un mínimo de 0, ó lo que es lo mismo 0%), es muy poco probable que un diente de la población de muestra tenga un valor de dicha variable más alejado de nuestro patrón.

Esto significa que el valor está lejos del valor del patrón en términos estadísticos, o dicho de otra manera, que la diferencia entre el valor patrón y el valor medido es significativa.

En éste informe se incluyen una tabla mostrando el valor de la confianza para cada una de las variables entregadas.

Nombre	Total	Diferencia	Total Ojo	Diferencia Ojo
ADMIRA A3	2.685	16.238	1.03	7.891
ADMIRA FLOW A3	1.897	17.026	0.68	8.244
AMELOGEN UNIVERSAL A2	12.111	7.308	7.14	2.076
AMELOGEN UNIVERSAL A3	12.761	6.970	7.63	1.786
AMELOGEN UNIVERSAL PF-A	12.093	7.068	7.22	1.702
AMELOGEN UNIVERSAL TY-A	7.094	11.828	4.38	4.536
ARABESK TOP A3	2.189	16.734	0.78	8.137
ARABESK TOP UO	3.567	13.356	1.21	7.714
DEN FIL A3	7.489	11.434	2.47	6.455
ESTHET X A2	12.687	6.236	7.34	1.576
ESTHET X A20	8.122	10.801	4.08	4.845
ESTHET X A3	9.390	9.533	5.34	3.581
ESTHET X A3,5	9.257	9.666	5.3	3.617
ESTHET X UNIVERSAL	16.203	4.230	9.18	0.869
ESTHET X YE	8.285	10.638	4.61	4.313
FILTEK A110 A3D	4.341	14.582	1.44	7.485
FILTEK P60 A3	4.391	14.531	2.12	6.800
FILTEK SUPREME A2E	3.679	15.244	1.83	7.088
FILTEK SUPREME B2B	2.395	16.528	1.2	7.720
FILTEK SUPREME B3D	4.866	14.057	2.52	6.402
FILTEK SUPREME TY	2.313	16.610	0.75	8.170
FILTEK Z100 A3	3.757	15.166	1.98	6.940
FILTEK Z250 A3	4.923	14.000	2.42	6.501
GLACIER ENAMEL A3	1.852	17.071	0.67	8.255
HELIOMOLAR A3	10.954	7.969	5.63	3.294
HELIOMOLAR FLOW A3	14.281	4.957	8.44	0.682
HELIOMOLAR HB A3	24.902	11.044	14.7	6.103
ICE A2	2.349	16.574	0.74	8.183
IN TEN S A3,5	7.243	11.680	4.21	4.714
MATRIX IB	6.399	12.524	3.8	5.123
MIRIS DENTIN S1	19.226	5.615	10.93	2.431
MIRIS DENTIN S2	13.278	5.645	7.63	1.290
MIRIS DENTIN S3	11.274	7.649	6.54	2.380
MIRIS DENTIN S4	13.529	5.441	7.86	1.088
MIRIS ENAMEL IR	13.943	5.033	8.32	0.639
MIRIS EMANEL NR	10.206	8.717	5.88	3.036
MIRIS ENAMEL WR	16.260	5.639	9.68	1.437
PERMA FLO A2	5.882	13.041	1.88	7.039
PERMA FLO A3	9.728	9.194	3.75	5.173
PERMA FLO IE	6.514	12.409	2.13	6.792
POINT 4 A3	17.324	8.678	5.59	3.754

Nombre	Total	Diferencia	Total Ojo	Diferencia Ojo
POINT 4 T1	23.849	8.072	8.19	1.76
ROK A3	6.114	12.809	2.07	6.850
SYNERGY COMPACT A2/B2	17.020	5.348	9.94	1.623
SYNERGY COMPACT A3,5/ B3	7.387	11.536	4.23	4.694
SYNERGY DUO SHADE A2/B2	13.421	5.502	7.9	1.020
TE ECONOM A2	12.731	6.192	7.58	1.339
TETRIC CERAM A3	13.137	5.786	8.03	0.893
TETRIC CERAM A3,5	15.151	6.075	9.4	1.325
TETRIC CERAM T	11.739	7.184	6.44	2.476
TETRIC FLOW A3	7.731	11.192	4.78	4.139
TPH SPECTRUM A3	3.799	15.124	2.06	6.860
VITALESCENCE A2	62.645	49.893	40.63	32.069
VITALESCENCE A3	30.721	19.982	19.65	11.268
VITALESCENCE PF	15.278	5.202	9	0.890
VITALESCENCE TM	9.978	8.945	6.16	2.759
WAVE A3	1.818	17.105	0.73	8.194

Tabla 3: Datos resinas compuestas.

Nombre	Total	Percentil
WAVE A3	1.818	0.00%
GLACIER ENAMEL A3	1.852	0.0%
ADMIRA FLOW A3	1.897	0.0%
ARABESK TOP A3	2.189	0.0%
FILTEK SUPREME TY	2.313	0.0%
ICE A2	2.349	0.0%
FILTEK SUPREME B2B	2.395	0.0%
ADMIRA A3	2.685	0.0%
ARABESK TOP UO	3.567	0.0%
FILTEK SUPREME A2E	3.679	0.0%
FILTEK Z100 A3	3.757	0.0%
TPH SPECTRUM A3	3.799	0.0%
FILTEK A110 A3D	4.341	0.0%
FILTEK P60 A3	4.391	0.0%
FILTEK SUPREME B3D	4.866	0.0%
FILTEK Z250 A3	4.923	0.0%
PERMA FLO A2	5.882	0.0%
ROK A3	6.114	0.0%
MATRIX IB	6.399	0.0%
PERMA FLO IE	6.514	0.0%
AMELOGEN UNIVERSAL TY-A	7.094	0.0%
IN TEN S A3,5	7.243	0.0%
SYNERGY COMPACT A3,5/ B3	7.387	0.0%
DEN FIL A3	7.489	0.0%
TETRIC FLOW A3	7.731	0.0%
ESTHET X A2O	8.122	0.0%
ESTHET X YE	8.285	0.0%
ESTHET X A3,5	9.257	0.0%
ESTHET X A3	9.390	0.0%
PERMA FLO A3	9.728	0.0%
VITALESCENCE TM	9.978	0.0%
MIRIS EMANEL NR	10.206	0.0%
HELIOMOLAR A3	10.954	0.0%
MIRIS DENTIN S3	11.274	10.7%
TETRIC CERAM T	11.739	17.9%
AMELOGEN UNIVERSAL PF-A	12.093	22.8%
AMELOGEN UNIVERSAL A2	12.111	23.0%
ESTHET X A2	12.687	29.7%
TE ECONOM A2	12.731	30.2%
AMELOGEN UNIVERSAL A3	12.761	30.6%
TETRIC CERAM A3	13.137	43.6%
MIRIS DENTIN S2	13.278	44.8%
SYNERGY DUO SHADE A2/B2	13.421	46.0%
MIRIS DENTIN S4	13.529	47.0%
MIRIS ENAMEL IR	13.943	50.5%
HELIOMOLAR FLOW A3	14.281	56.8%
TETRIC CERAM A3,5	15.151	77.5%
VITALESCENCE PF	15.278	78.6%
ESTHET X UNIVERSAL	16.203	93.5%
MIRIS ENAMEL WR	16.260	95.0%
SYNERGY COMPACT A2/B2	17.020	93.8%
POINT 4 A3	17.324	89.6%
MIRIS DENTIN S1	19.226	76.2%
POINT 4 T1	23.849	44.6%
HELIOMOLAR HB A3	24.902	35.9%
VITALESCENCE A3	30.721	9.8%
VITALESCENCE A2	62.645	0.0%

Tabla 4: Resinas compuestas ordenadas por Emisión Total.

Nombre	Diferencia	Percentil
ESTHET X UNIVERSAL	4.230	63.1%
HELIOMOLAR FLOW A3	4.957	49.8%
MIRIS ENAMEL IR	5.033	48.9%
VITALESCENCE PF	5.202	47.1%
SYNERGY COMPACT A2/B2	5.348	46.2%
MIRIS DENTIN S4	5.441	45.7%
SYNERGY DUO SHADE A2/B2	5.502	45.3%
MIRIS DENTIN S1	5.615	44.7%
MIRIS ENAMEL WR	5.639	44.6%
MIRIS DENTIN S2	5.645	44.5%
TETRIC CERAM A3	5.786	43.7%
TETRIC CERAM A3,5	6.075	42.0%
TE ECONOM A2	6.192	40.7%
ESTHET X A2	6.236	40.2%
AMELOGEN UNIVERSAL A3	6.970	26.4%
AMELOGEN UNIVERSAL PF-A	7.068	25.6%
TETRIC CERAM T	7.184	24.7%
AMELOGEN UNIVERSAL A2	7.308	23.8%
MIRIS DENTIN S3	7.649	21.2%
HELIOMOLAR A3	7.969	15.4%
POINT 4 T1	8.072	15.3%
POINT 4 A3	8.678	14.2%
MIRIS EMANEL NR	8.717	14.1%
VITALESCENCE TM	8.945	13.7%
PERMA FLO A3	9.194	13.2%
ESTHET X A3	9.533	12.6%
ESTHET X A3,5	9.666	12.4%
ESTHET X YE	10.638	10.6%
ESTHET X A2O	10.801	10.0%
HELIOMOLAR HB A3	11.044	8.6%
TETRIC FLOW A3	11.192	7.7%
DEN FIL A3	11.434	6.3%
SYNERGY COMPACT A3,5/ B3	11.536	5.7%
IN TEN S A3,5	11.680	5.1%
AMELOGEN UNIVERSAL TY-A	11.828	4.9%
PERMA FLO IE	12.409	3.8%
MATRIX IB	12.524	3.6%
ROK A3	12.809	3.0%
PERMA FLO A2	13.041	2.6%
ARABESK TOP UO	13.356	2.0%
FILTEK Z250 A3	14.000	0.8%
FILTEK SUPREME B3D	14.057	0.7%
FILTEK P60 A3	14.531	0.0%
FILTEK A110 A3D	14.582	0.0%
TPH SPECTRUM A3	15.124	0.0%
FILTEK Z100 A3	15.166	0.0%
FILTEK SUPREME A2E	15.244	0.0%
ADMIRA A3	16.238	0.0%
FILTEK SUPREME B2B	16.528	0.0%
ICE A2	16.574	0.0%
FILTEK SUPREME TY	16.610	0.0%
ARABESK TOP A3	16.734	0.0%
ADMIRA FLOW A3	17.026	0.0%
GLACIER ENAMEL A3	17.071	0.0%
WAVE A3	17.105	0.0%
VITALESCENCE A3	19.982	0.0%
VITALESCENCE A2	49.893	0.0%

Tabla 5: Resinas compuestas ordenadas por Diferencia.

Nombre	Total Ojo	Percentil
GLACIER ENAMEL A3	0.67	0.0%
ADMIRA FLOW A3	0.68	0.0%
WAVE A3	0.73	0.0%
ICE A2	0.74	0.0%
FILTEK SUPREME TY	0.75	0.0%
ARABESK TOP A3	0.78	0.0%
ADMIRA A3	1.03	0.0%
FILTEK SUPREME B2B	1.2	0.0%
ARABESK TOP UO	1.21	0.0%
FILTEK A110 A3D	1.44	0.0%
FILTEK SUPREME A2E	1.83	0.0%
PERMA FLO A2	1.88	0.0%
FILTEK Z100 A3	1.98	0.0%
TPH SPECTRUM A3	2.06	0.0%
ROK A3	2.07	0.0%
FILTEK P60 A3	2.12	0.0%
PERMA FLO IE	2.13	0.0%
FILTEK Z250 A3	2.42	0.0%
DEN FIL A3	2.47	0.0%
FILTEK SUPREME B3D	2.52	0.0%
PERMA FLO A3	3.75	0.0%
MATRIX IB	3.8	0.0%
ESTHET X A2O	4.08	0.0%
IN TEN S A3,5	4.21	0.0%
SYNERGY COMPACT A3,5/ B3	4.23	0.0%
AMELOGEN UNIVERSAL TY-A	4.38	0.0%
ESTHET X YE	4.61	0.0%
TETRIC FLOW A3	4.78	1.5%
ESTHET X A3,5	5.3	16.2%
ESTHET X A3	5.34	16.9%
POINT 4 A3	5.59	21.8%
HELIOMOLAR A3	5.63	23.5%
MIRIS EMANEL NR	5.88	33.8%
VITALESCENCE TM	6.16	50.3%
TETRIC CERAM T	6.44	59.1%
MIRIS DENTIN S3	6.54	61.4%
AMELOGEN UNIVERSAL A2	7.14	88.7%
AMELOGEN UNIVERSAL PF-A	7.22	90.7%
ESTHET X A2	7.34	94.1%
TE ECONOM A2	7.58	99.0%
MIRIS DENTIN S2	7.63	100.0%
AMELOGEN UNIVERSAL A3	7.63	100.0%
MIRIS DENTIN S4	7.86	95.5%
SYNERGY DUO SHADE A2/B2	7.9	94.7%
TETRIC CERAM A3	8.03	93.2%
POINT 4 T1	8.19	91.3%
MIRIS ENAMEL IR	8.32	89.9%
HELIOMOLAR FLOW A3	8.44	88.5%
VITALESCENCE PF	9	82.0%
ESTHET X UNIVERSAL	9.18	80.0%
TETRIC CERAM A3,5	9.4	77.6%
MIRIS ENAMEL WR	9.68	74.3%
SYNERGY COMPACT A2/B2	9.94	70.6%
MIRIS DENTIN S1	10.93	46.2%
HELIOMOLAR HB A3	14.7	15.7%
VITALESCENCE A3	19.65	0.0%
VITALESCENCE A2	40.63	0.0%

Tabla 6: Resinas compuestas ordenadas por Emisión Total Ojo.

Nombre	Diferencia Ojo	Percentil
MIRIS ENAMEL IR	0.639	99.7%
HELIOMOLAR FLOW A3	0.682	99.2%
ESTHET X UNIVERSAL	0.869	96.7%
VITALESCENCE PF	0.890	96.5%
TETRIC CERAM A3	0.893	96.4%
SYNERGY DUO SHADE A2/B2	1.020	94.8%
MIRIS DENTIN S4	1.088	93.8%
MIRIS DENTIN S2	1.290	90.8%
TETRIC CERAM A3,5	1.325	90.3%
TE ECONOM A2	1.339	90.1%
MIRIS ENAMEL WR	1.437	86.8%
ESTHET X A2	1.576	79.2%
SYNERGY COMPACT A2/B2	1.623	78.3%
AMELOGEN UNIVERSAL PF-A	1.702	77.2%
POINT 4 T1	1.763	76.3%
AMELOGEN UNIVERSAL A3	1.786	76.0%
AMELOGEN UNIVERSAL A2	2.076	63.2%
MIRIS DENTIN S3	2.380	52.0%
MIRIS DENTIN S1	2.431	51.5%
TETRIC CERAM T	2.476	51.1%
VITALESCENCE TM	2.759	48.6%
MIRIS EMANEL NR	3.036	43.5%
HELIOMOLAR A3	3.294	27.9%
ESTHET X A3	3.581	24.2%
ESTHET X A3,5	3.617	23.9%
POINT 4 A3	3.754	22.6%
TETRIC FLOW A3	4.139	16.5%
ESTHET X YE	4.313	15.0%
AMELOGEN UNIVERSAL TY-A	4.536	13.8%
SYNERGY COMPACT A3,5/ B3	4.694	12.9%
IN TEN S A3,5	4.714	12.8%
ESTHET X A20	4.845	12.1%
MATRIX IB	5.123	10.6%
PERMA FLO A3	5.173	10.4%
HELIOMOLAR HB A3	6.103	6.5%
FILTEK SUPREME B3D	6.402	5.2%
DEN FIL A3	6.455	5.1%
FILTEK Z250 A3	6.501	4.9%
PERMA FLO IE	6.792	4.1%
FILTEK P60 A3	6.800	4.1%
ROK A3	6.850	3.9%
TPH SPECTRUM A3	6.860	3.9%
FILTEK Z100 A3	6.940	3.7%
PERMA FLO A2	7.039	3.4%
FILTEK SUPREME A2E	7.088	3.2%
FILTEK A110 A3D	7.485	2.1%
ARABESK TOP UO	7.714	1.4%
FILTEK SUPREME B2B	7.720	1.4%
ADMIRA A3	7.891	0.9%
ARABESK TOP A3	8.137	0.2%
FILTEK SUPREME TY	8.170	0.1%
ICE A2	8.183	0.1%
WAVE A3	8.194	0.1%
ADMIRA FLOW A3	8.244	0.0%
GLACIER ENAMEL A3	8.255	0.0%
VITALESCENCE A3	11.268	0.0%
VITALESCENCE A2	32.069	0.0%

Tabla 7: Resinas compuestas ordenadas por Diferencia Ojo.

ANEXO II

FOTOGRAFÍAS FLUORESCENCIA

Las siguientes son fotografías tomadas a pacientes cuyas edades fluctúan entre los 20 y los 25 años.

Se confeccionaron carillas con diferentes marcas de resina compuesta (todas incluidas en esta investigación), usando un patrón de silicona logrado al tomar una impresión de una carilla Marché.

Las carillas tienen un grosor aproximado de 1.5 mm y 3 de ellas fueron confeccionadas empleando más de un tono de la misma resina usando la técnica estratificada por tejidos, quedando finalmente de la siguiente manera:

1. ADMIRA A3 (VOCO)
2. ESTHET X A3 (DENTSPLY)
3. ESTHET X A3 + YE (DENTSPLY)
4. TETRIC CERAM A3 (IVOCLAR-VIVADENT)
5. FILTEK SUPREME A2E (3M-ESPE)
6. FILTEK SUPREME A2E + TY + B2B + B3D (3M-ESPE)
7. POINT 4 A3 (KERR)
8. VITALESCENCE A3 (ULTRADENT)
9. VITALESCENCE A3 + TM (ULTRADENT)

Se utilizaron las mismas carillas para todos los pacientes y cada fotografía fue obtenida con la cámara digital Canon Power Shot A70, con el programa manual, estandarizando:

- a. Sin flash
- b. Iluminación "Fluorescent H"
- c. Modo de disparo único
- d. ISO 400
- e. Modo intenso
- f. Fotografía evaluativo
- g. Tamaño 1600 x 1200
- h. Calidad fina
- i. Función Macro
- j. Velocidad 1/30
- k. Abertura de diafragma: 2.8

Las fotografías se tomaron con trípode, con un "apoya-mentón" ubicado a 10 cms del lente de la cámara, en un cuarto completamente oscuro, iluminado solamente con un tubo de luz ultravioleta ubicado a 50 cms del paciente.

