



Universidad de Valparaíso
Facultad de Odontología
Escuela de Odontología
Cátedra de Biomateriales

Evaluación In Vitro de la Fluorescencia entre los Tejidos Dentarios y Resinas Compuestas Microhíbridas

**Trabajo de Investigación
Requisito para optar al
Titulo de Cirujano Dentista.**

Alumnos: Nicolás Carrasco Navarrete.
Rodrigo Ibáñez Giordano.

Docente Guía: Dr. Rodrigo Rubio Aguilar.

Valparaíso
2007

Dedicatoria

A Dios. A mi familia: a mis padres por su eterno apoyo incondicional, sacrificio, empuje y cariño; a mi hermano, mi mejor amigo compañero de innumerables aventuras; a mi hermana pequeña, regalona y alegría de nuestros corazones. A mis abuelos, tíos y primos. Especialmente a mi Novia María Pilar la cosa más linda del mundo, por todo tu cariño, comprensión y apoyo en estos dos últimos años. A todos ustedes por su paciencia.

Nico.

A Dios. A Mis padres por su amor y cariño incondicional. A mis hermanos por su confianza y gran apoyo. A mis amigos que estuvieron cuando tenían que estar. A la Pachamama.
Rodrigo.

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Química y Ciencias Matemáticas de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, en especial al Profesor Dr. Patricio Sotomayor López por su gran ayuda, guía, colaboración y paciencia en relación al manejo del Espectrofluorímetro ISS K2.

A nuestro docente guía Profesor Dr. Rodrigo Rubio Aguilar, por su motivación en el desarrollo de esta tesis desde el tercer año de nuestra carrera y por su valioso aporte de medios para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

A los Licenciados en Ingeniería en Estadística de la Universidad de Valparaíso Srta. María Pilar Barros y al Sr. Esteban Henríquez.

Al Sr. Bibliotecólogo Marcos Chávez y a la Sra. Gaby González por su disposición en la facilitación del material bibliográfico y asesoramiento en relación al tema.

A la Secretaria de Estudios Sra. Jacqueline Sánchez por su inmensa disposición y paciencia para escuchar.

Agradecimientos Nicolás:

A Dios. A mi Familia: Mamá y Papá, nada de esto habría sido posible sin ustedes. Hermano y Hermana por su total apoyo cuando los necesité, a uds. les digo que siempre es bueno y entretenido saber un poco más, o ¿no? A lo más lindo del mundo, tu mí querida Pily, por estar tan involucrada con en sacar adelante mi tesis. Los quiero a todos. A mi querido Tata que me verá recibido desde el cielo y a mi Abuela. A Tía Sandra por proyectarme en el camino correcto. A la Tía Paty por todos los favores. Tíos, Tías, Primos y Primas. A mis amigos los Dres: Santiago Rodríguez, Fernando Palma, Valeria Olguín, Luis San Martín y especialmente Ilse Vergara, Dr. Mendieta y Dr. P. Casanueva por su preocupación auténtica. A los profesores que contribuyeron en mi superación, motivación, y formación intelectual, profesional y personal: Isabel y Pilar Solís, Lelia Cisternas, Dra. Rosa Guerra, Claudia Navarro, Dr. Barraza, Dr. R. Rubio, Dr. J. Sarmiento, Dr. J. Garay, Dr. R. Utreras, Dra. G. Cataldo, Dr. A. Gaete, Dr. P. Brown (Q.E.P.D.), Dr. R. Fuentes, Dr. Moreno, Dr. Venegas, Dr. H. Barahona, Dr. W. Meeder, Dr. F. Bravo, Dra. Claudia Sánchez, Dr. H. Santibáñez, Dr. L. Silva, Dr. E. Valencia, Dr. M. Hernández, Dr. J. Jaramillo, Dra. Ema Fuenzalida, Dr. R. Madariaga, Dr. J. García, Dr. Faúndez, Dr. C. López, Dra. P. Castro, Dra. A. Rivera, Dr. J. Godoy (Maestro), Dra. M. Lopetegui, Dra. S. Mezzano, Dr. J. Ramírez T. y especialmente también al Dr. Armando Peña Mc. (Q.E.P.D.) y al Dr. J. Ramírez C.

Agradecimientos Rodrigo:

Quiero agradecer de manera especial a mi familia por la valiosa ayuda sin condiciones, por el consejo adecuado en el momento preciso, por alentarme a seguir y enseñarme sobre el árbol de la vida. Por ser el brote del brote, la raíz de la raíz. A mis amigos por ser parte fundamental de mi crecimiento, por escuchar, por apoyar y acompañar. A tío Waldo que siempre estuvo dispuesto a prestar su colaboración desinteresada y sus sabios consejos. Sólo me queda decir a todos ellos Gracias Totales.

ÍNDICE

<u>CONTENIDOS</u>	<u>PÁGINAS</u>
INTRODUCCIÓN	1
ASPECTOS TEÓRICOS	2
CAPÍTULO I: RADIACIÓN Y LUZ	2
CAPÍTULO II: SISTEMA VISUAL HUMANO	11
CAPÍTULO III: ÓPTICA DE LA LUZ	17
CAPÍTULO IV: LUMINISCENCIA Y FLUORESCENCIA	21
CAPÍTULO V: HISTOLOGÍA DENTARIA	29
CAPÍTULO VI: PROPIEDADES ÓPTICAS DEL DIENTE	40
CAPÍTULO VII: RESINAS COMPUESTAS	44
CAPÍTULO VIII: INSTRUMENTACIÓN	53
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	56
MATERIALES Y MÉTODOS	57
RESULTADOS	63
DISCUSIÓN	71
CONCLUSIONES	74

SUGERENCIAS	75
RESUMEN	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXOS	82
ANEXO 1: Gráficos Pemolares.	82
ANEXO 1: Gráficos Resinas Compuestas	84
ANEXO 2: Análisis Estadístico	92
ANEXO 3: Imágenes	94

INTRODUCCIÓN

Desde el comienzo de la humanidad el hombre siempre ha buscado de acuerdo a su tiempo la estética. Estética por definición, es la ciencia de la belleza: aquél detalle particular de un objeto animado o inanimado que lo hace agradable a la vista (Arens, 1989).

A través de la historia, los criterios de belleza han sido influenciados por la cultura y el ambiente. Para poder apreciar la estética interactúan una serie de fenómenos los cuales son importantes para que podamos apreciar algo y podamos decir si es estético o no. Dada esta exigencia, la Odontología no se ha mantenido al margen de ello; el advenimiento de los materiales biomiméticos ha planteado un gran desafío, lo que se ha traducido en un gran interés en saber cada vez más acerca de los fenómenos interactuantes. Evaluaciones acerca de las propiedades ópticas del esmalte y la dentina, y el comportamiento de nuevos materiales que buscan asemejar la naturaleza del diente lo más fielmente posible, han sido algunas de las interrogantes para plantear el desafío.

En los últimos años ha sido de gran importancia las propiedades ópticas de las resinas compuestas de fotocurado, y han surgido mejoras en sus características; pero uno de los inconvenientes presentes es su comportamiento fluorescente, dado que al ser expuestas a luz ultravioleta, emiten una luz que se traduce en un color distinto al que se observa con luz blanca.

Por todo lo anterior es importante a la hora de restaurar un diente, buscar un material que cumpla con los requerimientos y que se comporte lo más similar posible a como lo hace un diente en todos los aspectos. Conocer el comportamiento óptico, el comportamiento fluorescente, tanto del diente como del material restaurador es de suma importancia y ha sido y será motivo más que suficiente para realizar este y nuevos estudios al respecto.

ASPECTOS TEÓRICOS

Capítulo I: Radiación y Luz

Energía Radiante o Luz Física

La energía corresponde a la capacidad existente en la materia para producir trabajo mecánico o calor.

La energía radiante es aquella que se desprende de un cuerpo y que se propaga por sí sola sin necesidad de soporte material alguno (puede propagarse en el vacío). Difícilmente puede producir trabajo, pero en cambio puede producir calor si hay un cuerpo absorbente. La energía radiante también puede producir otros fenómenos, tales como el fotoquímico (descomposición química) que es interesante por ser este el que permite actuar a cierta parte de la energía radiante (energía luminosa) como estímulo desencadenante del proceso visual (M. Aguilar, 1993).

Periodicidad de la Energía Radiante

El valor de la velocidad de la energía radiante que hoy se acepta corresponde a:

$$c = 299.792 \text{ Km/s} = 300.000 \text{ Km/S} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

En un punto fijo una variable energética toma, muchas veces por unidad de tiempo el mismo valor. Este número de veces es la frecuencia, ν ; se mide en seg^{-1} , ciclos por segundo o hertz.

Por ser la energía radiante un fenómeno de propagación en el espacio, la variable temporal definida, origina una variable espacial λ (longitud de onda) relacionada con la anterior mediante la expresión:

$$c = \lambda \nu$$

En la energía luminosa, λ , es del orden de 5×10^{-7} m, y la unidad generalmente empleada es el nanómetro, pues el ojo puede llegar a distinguir radiaciones cuyas λ se diferencien en unos 2 nm.

Como dato agregamos que la velocidad “c”, es independiente de la composición e intensidad de la radiación, así como del estado de reposo o movimiento de la fuente emisora (M. Aguilar, 1993).

Energía radiante Visible (Q_v)

Es la energía radiante capaz de causar directamente una sensación visual. Sus componentes monocromáticas están comprendidas entre límites 380 nm y 770 nm (con energías y adaptaciones óptimas puede llegar a ser hasta de 360 nm y 830 nm) en condiciones normales de visión estos límites se acortan bastante. Puesto que el máximo de sensibilidad visual corresponde

a 550 nm, se consideran como extremos dos valores equidistantes del máximo (el inferior 400 nm y el superior 700 nm). Unidad, J (M. Aguilar, 1993).

Energía radiante Ultravioleta (Q_{uv})

Es la energía radiante óptica de componentes monocromáticas longitud de onda menor que 380 nm. Unidad, J.

Energía radiante Infrarroja (Q_{ir})

Es la energía radiante óptica de componentes monocromáticas longitud de onda mayor que 770 nm. Unidad, J.

Las radiaciones infrarroja y ultravioleta se incluyen en la denominación más amplia de radiación óptica, porque sus medios de producción y detección son análogos a los empleados en la radiación visible.

Estímulo Luminoso

Es la energía radiante visible recibida por un receptor (real o teórico) procedente de un elemento de superficie en el espacio. Se especifica mediante la radiancia de dicho elemento de superficie (M. Aguilar, 1993).

Radiación Electromagnética

Está conformada por una combinación de campos magnéticos y eléctricos oscilantes que se propagan a través del espacio llevando energía de un sitio a otro (Resnick, 2002).

Dependiendo del fenómeno que se quiera estudiar, la radiación electromagnética se puede considerar como onda o como fotón. La velocidad de propagación en el vacío para las ondas electromagnéticas, es igual a “c” (Resnick, 2002).

Propiedades de la Radiación Electromagnética

Las ondas de radiación electromagnéticas se componen de crestas y valles. Las crestas se ubican sobre la línea base, y los valles bajo ésta (Resnick, 2002). Dentro de los parámetros para definir esta onda se encuentran:

- 1) **Longitud de onda (λ):** Distancia entre dos crestas o valles adyacentes en una onda de un haz de radiación. Está dada por la relación entre la velocidad y la frecuencia (Resnick, 2002; Swing, 1978). Se utiliza para describir el espectro en el vacío (o en el aire). Mientras más pequeña la longitud de onda, aumenta la frecuencia de la misma y por lo tanto el grado de energía que aporta la onda (Baeza, 2002). Figura 1.

- 2) **Período (T):** Es el tiempo que tarda una onda para recorrer la distancia de una longitud de onda. Se expresa en segundos (Resnick 2002; Swing, 1978).
- 3) **Frecuencia de la onda (f):** Número de oscilaciones por segundo, descritas por una onda electromagnética, y está dada en Hertz (Ewing, 1978). Si el espectro se describe en función de las frecuencias obtendremos en forma directamente proporcional producción de interferencias.
- 4) **Amplitud de onda (A):** Definida por la distancia que separa el pico de la cresta o valle de la línea base. La unidad de medida para expresar semejantes distancias es el nanómetro (Ewing, 1978).
- 5) **Velocidad (c):** Multiplicación de la frecuencia en ciclos por segundo por la longitud de onda en metros por ciclo (Ewing, 1978).

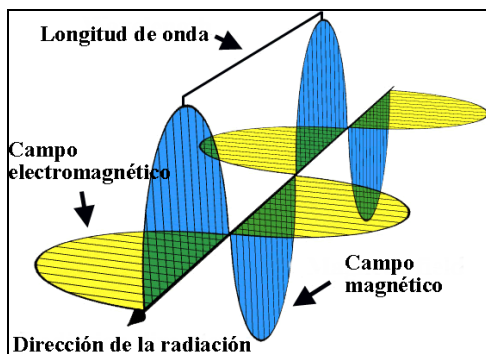


Fig. 1: Longitud de onda (disponible en http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/physical_sci ence/basic_tools/wavelength.sp.html&edu=hig)

Clasificación de los Espectros

Un medio dispersivo es el que separa espacialmente las radiaciones monocromáticas del espectro. Los medios dispersivos más utilizados en colorimetría son las redes de difracción y los prismas.

Hay tres grandes grupos de espectros al analizar una radiación con un montaje dispersivo:

- 1) **Continuos:** Es el emitido por el filamento de las lámparas incandescentes, en él están presentes todas las radiaciones monocromáticas comprendidas en el intervalo que fija los extremos de la emisión.
- 2) **Discontinuos:** Está compuesto por un número finito de radiaciones monocromáticas (rayas espectrales) separados por intervalos vacíos. Es el caso de la luz emitida por el gas convertido en emisor por una descarga eléctrica. Las longitudes de onda de las rayas caracterizan al gas emisor.
- 3) **Compuestos:** Está formado por la superposición de un espectro continuo y uno discontinuo como ocurre en el emitido por las lámparas fluorescentes. El mercurio existente en ellas emite rayas visibles y ultravioletas, las primeras constituyen el espectro

discontinuo y las segundas excitan los fósforos que recubren el tubo, emitiendo por un proceso fluorescente un espectro continuo.

Espectro Electromagnético

Si las ondas electromagnéticas se organizan en forma continua de acuerdo a sus longitudes; obtenemos el espectro electromagnético en donde las ondas más largas se encuentran en un extremo, Radio y las más cortas en el otro, Gamma (González y Vidal, 2005). Figura 2.

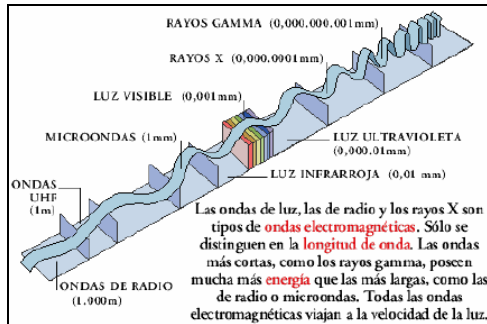


Fig. 2: El espectro electromagnético (Rubio, 2003).

Fuentes Energéticas y Puntuales

Fuente energética es toda superficie o volumen que emite energía radiante, recibiendo el nombre de primaria, si ella misma produce la energía y de secundaria si se limita a reenviar toda o parte de la energía recibida.

Una fuente se considera puntual, si el ángulo subtendido desde el punto de mirada es igual o menor a un minuto, valor aceptado como agudeza visual del observador medio.

En luminotecnia, las bombillas, lámparas, proyectores, etc., se consideran puntuales, si su dimensión mayor, vista perpendicularmente es igual o inferior a una décima de la distancia a que se observa; lo que equivale a decir que el ángulo subtendido por la luminancia desde el punto de observación es inferior a 6 grados.

Fuentes Luminosas

1. En función de sus propiedades emisivas y dentro del espectro visible tenemos:

- 1) **El sol:** Corresponde al espectro solar no modificado por la atmósfera.
- 2) **Luz de día:** Corresponde al espectro solar modificado por la atmósfera.

2. Fuentes artificiales:

- 1) **Fuentes por descarga eléctrica (espectro discontinuo):**

- a) **Lámparas espectrales:** El tipo más común consiste en un gas encerrado en un tubo de vidrio o cuarzo (si se quiere que la radiación contenga ultravioleta). Electrones producidos por un cátodo incandescente y acelerados por el campo eléctrico existente entre los electrodos, bombardea los átomos de gas cediéndoles parte de su energía cinética. Los átomos sufren una transformación interna pasajera; al volver a su estado normal, si la presión y la temperatura del gas son débiles, liberan el exceso de energía en forma de radiación.
- b) **Tubos fluorescentes (1930):** Los electrones colocados en los extremos del tubo llevan una sustancia capaz de ionizarse, cuando la diferencia de potencial entre ellos alcance un determinado valor. En el tubo existe el vacío para facilitar la ionización.

Los electrones liberados en la ionización, con la energía adecuada (velocidad) actúan sobre polvos de mercurio dosificados en las paredes del tubo, produciendo una emisión ultravioleta que a su vez produce una emisión visible (fluorescencia) en el resto de los polvos de otras sustancias que están adosadas a la parte interior del tubo.

El espectro típico de una lámpara fluorescente consiste en un espectro continuo (fluorescencia) más un espectro discontinuo (rayas visibles del mercurio).

Luces negras: Son consideradas fuentes artificiales de luz ultravioleta, son básicamente de dos tipos, de onda larga y de onda corta. Las de onda larga emiten longitudes de onda aproximadamente de 366 nm y son usadas en discotecas, detectores de billetes falsos, etc. Y las de onda corta son de aproximadamente 254 nm y se usan como germicidas, y en procesos industriales de fotopolimerización mediante luz U.V. (R. Baeza, 2002).

Las lámparas que emiten casi únicamente radiación U.V. de onda larga, y poca luz visible, pueden hacer brillar en la oscuridad muchos objetos, mientras que de la propia lámpara sólo emana una tenue luz de color púrpura (Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Luz_negra). Figura 3.

Las lámparas fluorescentes ultravioletas o de luz negra son fabricadas de la misma manera que las normales, excepto que se usa sólo un fósforo en lugar de los 2 ó 3 usados para producir luz que cubra todo el espectro visible. También se reemplaza el vidrio claro por uno de color azul-violeta, llamado vidrio de Wood. Dicho vidrio contiene óxido de níquel, y óxido de cobalto, y bloquea casi toda la luz visible que supere los 400 nanómetros. Estos fósforos de recubrimiento 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 benigna (Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Luz_negra).

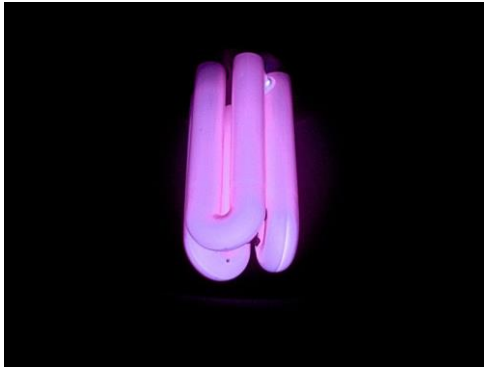


Fig. 3: Ampolleta fluorescente de luz negra (disponible en: http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Black_light_bulb.jpg).

- c) **Láseres:** Son un tipo diferente de fuentes de descarga, Un destello “bombeo óptico” producido por una fuente auxiliar altera la distribución de equilibrio de los iones existentes en un cristal, pasando muchos de ellos a ocupar niveles energéticos de excitación (inversión de población). Características del dispositivo y propiedades inherente al cristal hacen los iones excitados recuperen rápida y simultáneamente su estado inicial, emitiendo un breve destello monocromático (emisión estimulada). La anchura del espectro del láser puede llegar a ser del orden de 10^{-11} nm con mucho la fuente más monocromática conocida actualmente.

Estas características, diferentes a las propiedades de las fuentes convencionales, hacen que no se utilicen por el momento como fuentes luminosas.

2) Fuentes térmicas (espectro continuo):

Un cuerpo caliente emite energía radiante con una distribución espectral continua, que depende de la naturaleza del cuerpo y de la temperatura.

Un sólido en que el espectro de la energía emitida al calentarse depende solamente de la temperatura, goza de la propiedad de absorber totalmente la energía incidente cualquiera que sea su longitud de onda. Por sus características emisoras recibe el nombre de radiador integral, y por las absorbentes, cuerpo negro.

- a) **Lámparas de incandescencia:** Se ha elegido el tungsteno como metal para formar el filamento de estas lámparas debido a su alto punto de fusión (3.700 K).

La temperatura por un lado debe ser lo más alta posible para aumentar la energía de la zona de emisión correspondiente al visible; pero por otro, las altas temperaturas favorecen la evaporación del tungsteno acortando la vida de la lámpara. Se consigue retrasar la evaporación sustituyendo el vacío de la ampolleta por una atmósfera de gas inerte. Otra forma de alargar la vida de estas lámparas es halogenándolas (al gas de relleno se le agrega una pequeña cantidad de yodo en forma de yoduro).

Hay lámparas de incandescencia que también pueden producir luz negra, estas constituyen otra forma de obtenerla a diferencia de los tubos fluorescentes. Son

similares a una ampollita normal de luz casera, pero utilizan filtros de luz que absorben la luz del filamento encendido. Este filtro absorbe todo, excepto la luz infrarroja y la luz UV-A (Harris, 2000).

Luz

La luz tiene una naturaleza dual, pudiéndose considerar como corpuscular y ondulatoria.

En el primer caso, podemos considerar que la luz está compuesta por pequeñas partículas denominadas fotones (efecto fotoeléctrico de Albert Einstein, 1905). Los fotones son paquetes de energía electromagnética concentrada sin masa (cuantos).

En el segundo caso, la luz al igual que cualquier otra onda, puede ser caracterizada en términos de su longitud (distancia sucesiva entre dos ondas), frecuencia (número de ondas por espacio de tiempo) y amplitud (diferencia entre sus nodos y sus valles).

Según su número de dimensiones, las ondas luminosas se consideran tridimensionales porque se dispersan radialmente desde una fuente pequeña (Robert Resnik, 2002).

En el estudio del color para explicar las leyes de su emisión (leyes de Planck) y de su recepción (el comportamiento fotoquímico retiniano, por el que la energía radiante se transforma en energía nerviosa) aprovechamos el aspecto “fotónico” (corpuscular o cuántico) de la radiación, pero en el análisis de la radiación en sí, se acude preferentemente al aspecto ondulatorio (M. Aguilar, 1993).

En términos físicos llamamos “luz” sólo a una pequeña parte de la gran cantidad de radiaciones electromagnéticas existentes (ondas de radio, infrarrojas, visible, ultravioleta, rayos X y rayos gamma). M. Aguilar, 1993. Figura 4.

La luz natural proviene de una fuente emisora que es el sol, la identificamos por nuestro sistema visual como luz blanca, aun cuando en ella se encuentran todos los colores del espectro. Tiene la propiedad de transmitir información sobre su punto de origen y los cuerpos que la absorben y reflejan (Serway, 1997). Al sensibilizar la retina la luz hace posible la percepción de la forma, el volumen y el color de los objetos.

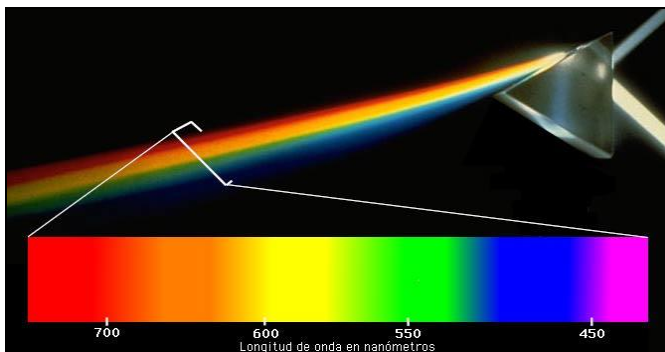


Fig. 4: La luz blanca esta compuesta de ondas de diversa frecuencia. Cuando un rayo de luz blanca pasa por un prisma, se separa en sus componentes de acuerdo a longitud de onda.

Luz Ultravioleta

La luz ultravioleta (U.V.) es parte del espectro electromagnético de radiación, la cual también es emitida por el sol. Es invisible al ojo humano. Está situada entre las bandas de rayos X y la luz visible, con longitudes de onda que van desde 180 hasta 380 nm aproximadamente (Gaete, Munte y Roman, 2006).

Clasificación de acuerdo a la Longitud de Onda

La luz ultravioleta es emitida en tres diferentes bandas UV-A, UV-B y UV-C:

- 1) **UV A (onda larga):** va de los 315 a los 380 nm aproximadamente y es la parte espectral del ultravioleta más cercano al espectro visible (Valdés, 1999), a menudo llamada luz negra. Es un componente normal de la luz del sol, que en virtud de su longitud de onda relativamente más larga, puede penetrar la atmósfera. Es el tipo menos dañino y la más comúnmente encontrada. Tiene la menor energía, y se utiliza por su capacidad de excitar a los materiales fluorescentes para que ellos emitan luz visible (Fernández, 2002).
- 2) **UV B (onda media):** va de los 280 a los 315 nm aproximadamente lo cual sí se puede observar en la superficie terrestre. Es típicamente la forma más destructiva de luz UV, porque tiene bastante energía para dañar tejidos finos, siendo una de los principales factores etiológicos de cáncer a la piel. No obstante, este tipo de radiación es importante para la salud del ser humano, ya que la exposición prudente a este tipo de energía permite la síntesis de la vitamina D (Valdés, 1999).
- 3) **UV C (onda corta):** va desde los 180 a los 280 nm aproximadamente. Es muy difícil que llegue a la superficie de la Tierra, ya que interactúa en la capa atmosférica llamada estratosfera (entre los 12 y 35 Km de altitud), los fotones UV C chocan con los átomos de oxígeno, produciendo un intercambio de energía que causa la formación del ozono (Serway, 1997). Debido a esto casi nunca se observa en la naturaleza, puesto que se absorbe rápidamente (Fernández, 2002).

Luz/Color

Sin luz no hay color. Científicamente, es un fenómeno físico y un proceso neurofisiológico de la visión, asociado con las diferentes longitudes de onda en la zona visible del espectro electromagnético (Steenbecker, 2006).

Al descomponer un rayo de luz blanco mediante un prisma (cambio de angulación y velocidad por refracción) obtenemos bandas coloreadas que se conocen como espectro visible (también conocido como color físico). La luz blanca en sí, es la combinación de todas las longitudes de onda visibles. Los colores, en orden de longitud de onda decreciente, son rojo, naranja, amarillo, verde, azul y violeta (Serway y Jewett, 2005).

La CIE (Comisión Internationale de L'Eclairage), 1931, para ir depurando cada banda, buscó la onda dominante para obtener haces lumínicos puros o monocromáticos, que para el Azul

indicó 435,8 nm, para el Verde 546,1 nm y para el Rojo 700,0 nm. A estos 3 colores se les llamó colores primarios, que tienen como característica: que no se pueden obtener por ninguna suma o resta de colores, que la suma de ellos produce el color blanco y que, dependiendo de la cuantía en que los mezclamos, podemos obtener todos los colores del espectro (Steenbecker, 2006).

Según Steenbecker, 2006, la percepción de la luz pigmento depende de tres variables:

- 1) **La fuente luminosa:** Dependiendo de qué fuente lumínica se trate (luces artificiales fluorescentes tiñen con coloración azulada y ampollitas comunes de amarillo) y de su intensidad (influencia cualitativa y cuantitativa), la percepción de un mismo color puede variar.
- 2) **El objeto:** Las características superficiales de los objetos, su transparencia, translucidez, opacidad y brillo, entre otras, así como la forma y el tamaño, inciden en la percepción del color de un cuerpo.
- 3) **El sujeto:** El ojo del ser humano posee una serie de terminaciones nerviosas conocidas como conos (visión diurna y cromática) y bastones (visión nocturna acromática) que por su cualidad fotorreceptora hacen posible la visión.

Color-Pigmento

Color-Pigmento: Por otro lado, cuando utilizamos los colores normalmente, estamos utilizando colores, pinturas etc. Este fenómeno lo definimos como color pigmento, no es color luz. Son los pigmentos que inyectamos en las superficies para sustraer la luz blanca, parte del componente de espectro. Todas las moléculas denominadas pigmentos, tienen la facultad de absorber ondas del espectro y reflejar otras (Disponible en: www.fotonostra.com/fotografia/elcolor.htm)

Entonces, los matices, las saturaciones y las claridades de los cuerpos no son una propiedad intrínseca de ellos, sino que están ligados a la naturaleza de la luz que reciben, que absorben o reflejan (Steenbecker, 2006).

Capítulo II: Sistema Visual Humano

Visión

La visión es el sentido por el cual percibimos las formas y colores del mundo exterior y el órgano que cumple esta función es el ojo. Pero la visión no es un proceso simple sino que es una sensación compleja, que se lleva a cabo en el cerebro. La luz desde los objetos entra en el ojo y actúa sobre los fotorreceptores (bastones y conos) en la retina (González y Vidal, 2005). Desde los fotorreceptores y mediante sinapsis los impulsos llegan al centro óptico del cerebro a través del nervio óptico, donde se hace una interpretación.

Dos estímulos de diversos espectros pueden producir el mismo color, o dos rayos de luz que incidan sobre el mismo objeto, pueden hacer que este se vea de diferente color (metamerismo). De lo anterior se dedujo que cada cono tenía sensibilidades espectrales correspondientes a Azul, Verde, Rojo (teoría tricromática) o sensibilidades correspondientes a los colores opuestos, Blanco/Negro, Rojo/Verde, y Amarillo/Azul (teoría opuesta de Hering). Un color puede seleccionarse por la combinación de los tres primarios (Maxwell).

El sistema visual detecta e interpreta los estímulos de naturaleza lumínica. En los vertebrados, los estímulos lumínicos eficaces son las ondas electromagnéticas cuya longitud está comprendida entre los 400 y 700 nm, que constituyen la luz visible (Robert. Berne y Matthew Levi, 2001). El ojo humano puede diferenciar perfectamente el rango de 380-780 nm de la onda electromagnética, correspondiendo a los colores del prisma, pero tiene dificultades para establecer los diferentes matices (Touati, 2000).

Receptor Humano: El Ojo

El ojo es el órgano exterior del sentido de la vista, responsable de la transformación de la energía radiante visible en energía nerviosa. Figura 5 y 6.

Mediante una reacción fotoquímica, la energía se convierte en impulsos nerviosos y viaja a través del nervio óptico hasta el lóbulo occipital de la corteza cerebral. Las imágenes de los objetos en el ambiente se concentran sobre la retina, los rayos luminosos que inciden sobre ella generan potenciales en los bastones y los conos (Ganong, 2000). Figura 6.

La Retina

Es una membrana delgada y transparente. Alrededor del polo posterior se encuentra la mácula, de color amarillo, de forma elíptica, con su eje mayor de 2 a 3 mm (6 a 10°). En el centro de la mácula hay una pequeña cavidad llamada fovea (5°). En su centro nos encontramos con la foveola, una zona de un diámetro aproximado de 1°, caracterizada porque en ella sólo existen conos (unos 25.000) y por ser el lugar en que fijamos la imagen del objeto que queremos ver, en condiciones normales de visión.

La retina está formada por:

1) **Epitelio pigmentario:** Conjunto de células pigmentadas adheridas a la coroides que evitan difusiones parásitas de luz.

2) **Capa de células visuales (fotorreceptores):** Estas células son de dos tipos; los conos y los bastones. Son sensibles a la luz.

3) **Capas formadas por los elementos que conducen al nervio óptico el influjo nervioso originado en las células visuales:** La luz antes de atravesar los fotorreceptores debe atravesar estas capas, lo que parece una disposición poco favorable; esta “retina invertida” proviene de que en realidad, en los vertebrados la retina es una envoltura de la pared cerebral embrionaria, es como si el cerebro se prolongara hasta la retina.

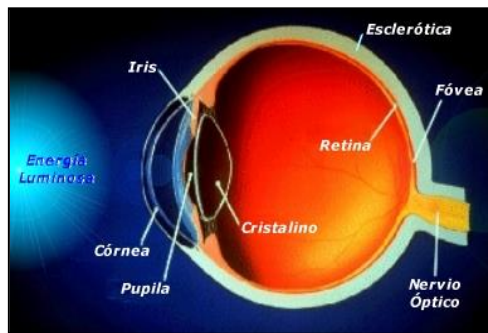


Fig. 5: Esquema del ojo humano (Disponible en: www.uam.es).

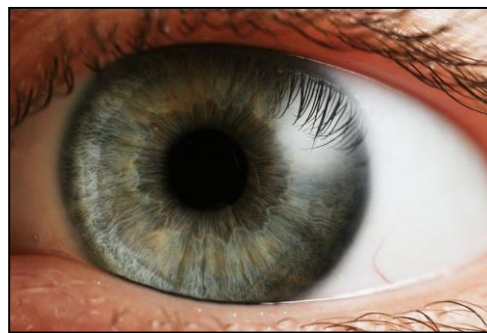


Fig. 6: El ojo humano (Disponible en: www.google.com).

Conos y Bastones

En la retina los fotorreceptores se dividen en dos grandes grupos: los conos y los bastones. Los primeros situados preferentemente en la fóvea son menos sensibles que los bastones y son los que rigen la visión diurna (visión del color); los segundos, mucho más sensibles, están ubicados exclusivamente en la extrafóvea, aumentando a medida que nos alejamos de la fóvea.

En estos fotorreceptores se distinguen las siguientes partes principales:

- 1) **Segmento externo:** puede ser cónico o cilíndrico según se trate de un cono o de un bastón.
- 2) **Segmento interno:** está separado por un disco de índice de refracción muy elevado.
- 3) **Núcleo:** está directamente unido al segmento interno en los conos, mientras que en los bastones esta unión se hace a través de una fibra terminada en la esférula. En los conos esta fibra está a continuación del núcleo y termina en un pie cuadrangular de bordes redondeados.

Las dimensiones de los bastones son relativamente constantes alrededor de 60 de longitud y 2 μm de diámetro. El tamaño de los conos varía: los de la fóvea miden entre 1 μm de diámetro

y 70 μm de largo, los de la extrafóvea miden entre 8 μm de diámetro y 20 μm de largo (achatados).

Los bastones no existen en el centro de la fovea, aumentando en proporción a medida que nos alejamos de ella. La cantidad de bastones se sitúa alrededor de 100 millones (M. Aguilar y F. Mateos, 1993).

Función de los bastones: Según Robert. Berne y Matthew Levi, 2001 tienen un umbral bajo para detectar la luz y su fotopigmento se blanquea con una iluminación intensa. Son los responsables de la visión escotópica (visión a bajos niveles). Son mucho más sensibles que los conos a la intensidad luminosa (intensidad muy baja), un solo fotón puede estimularlos, a diferencia de los conos que necesitan centenares, por lo que aportan a la visión del color aspectos como interpretar el valor y las diferencias de brillo, y son los responsables de la visión nocturna (no son sensibles al color y no definen límites ni detalles de los objetos).

Función de los conos: Son los responsables de la definición espacial. Son poco sensibles a la intensidad de la luz y proporcionan visión fotópica (visión a altos niveles o diurna). Los conos interpretan el matiz y el croma (Robert Berne y Matthew Levi, 2001).

La teoría Young-Helmholtz de la visión de color en el humano postula la existencia de tres tipos de conos, conteniendo cada uno de ellos un fotopigmento diferente y una sensibilidad máxima a uno de los tres colores primarios. Los pigmentos de los conos están compuestos por una proteína denominada opsina, diferente para cada tipo y un 11-cisretinal que es el componente fotosensible común a los tres (Steenbecker, 2006).

La sensación de cualquier color en particular estaría determinada por la frecuencia relativa de los potenciales que provienen de cada uno de estos tres sistemas de conos (Ganong, 2000). O sea cada uno se estimula selectivamente. Los tres tipos de conos, son sensibles a los colores azul (ondas cortas 400 nm), verde (ondas medias 550 nm) y rojo (ondas largas 600 nm), respectivamente (González y Vidal, 2005).

Se describen cuatro comportamientos básicos del ojo, basados en el funcionamiento individual de los conos (González y Vidal, 2005):

- 1) Cuando ningún cono es excitado por luz exterior, la sensación del perceptor es el negro.
- 2) Cuando se excita en su totalidad el campo de receptores de onda larga (R) la sensación visual es la del color rojo.
- 3) Cuando se excita en su totalidad el campo de receptores de onda media (V) la sensación visual es la del color verde.
- 4) Cuando se excita en su totalidad el campo de receptores de onda corta (A) la sensación visual es la del color azul.

Los conos también son excitables por conjuntos de ondas electromagnéticas de diferente longitud, tenemos también otros cuatro comportamientos:

- 1) Cuando los conos sensibles a las ondas largas y medias (R y V) se excitan a la vez, la sensación visual corresponde al amarillo.
- 2) Cuando los conos sensibles a las ondas largas y cortas (R y A) se excitan a la vez, la sensación visual corresponde al magenta.
- 3) Cuando los conos sensibles a las ondas medias y cortas (V y A) se excitan a la vez, la sensación visual corresponde al cian.
- 4) Cuando los tres tipos de conos se excitan a la vez, (R, V y A) la sensación corresponde al blanco.

Respecto a la tridimensionalidad del color podemos decir que el matiz depende de los conos estimulados, el croma de la cantidad y grado de estimulación y el valor de la estimulación de los bastones (González y Vidal, 2005).

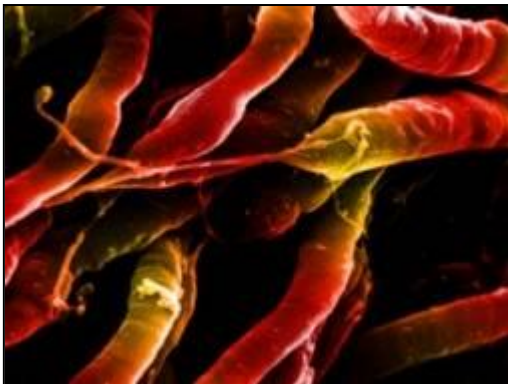


Fig. 6: MEB de células ópticas (Disponible en: www.uam.es).

Nervio Óptico

Es el encargado de transmitir al cerebro la estimulación de la visión mediante los impulsos nerviosos generados en la retina, por la excitación de sus conos y bastones.

Corteza Cerebral

Estructura del cerebro donde los impulsos nerviosos son integrados como una percepción visual (específicamente en el lóbulo occipital).

Características de la Visión

Se puede medir con toda exactitud la longitud de onda de un color determinado, debido a que el proceso de identificación de colores depende del cerebro y del sistema ocular. Pero, el concepto de color, producido por la longitud de onda es totalmente subjetivo.

La sensibilidad a la luz varía de una persona a otra, pero en el espectro de frecuencias visibles tenemos gran capacidad de discriminación (10 millones de colores distintos). El ojo humano es más sensible a la luz verde/amarilla que a rojos y azules (la sensibilidad al amarillo es de orden de seis veces mayor que al azul). Sin embargo, el ojo humano tiene más capacidad para distinguir matices en los colores azules que en los amarillos, y una mayor sensibilidad cromática para los colores extremos del espectro (especialmente rojos, azules y morados), de forma que tiene más capacidad para distinguir diferencias de color en estos que en los centrales. Sin embargo los colores verdes y amarillos tienen valores máximos de saturación, es decir, son percibidos como más brillantes y luminosos.

Existen más células especializadas en trabajar con las longitudes de onda correspondientes al rojo que a ningún otro color. Aparte de esta distinta sensibilidad para los diferentes colores, la resolución monocromática del ojo es mucho mayor que la cromática, por lo tanto, se puede distinguir mucho mejor diferencias de tono en la escala de grises que entre escalas de color.

El ojo no codifica la luminancia sino el contraste. Con respecto a lo primero la luminosidad aparente de un objeto que tenga el 50% de otro, no se percibe como la mitad de luminoso. De hecho basta una reducción del 18% de la luminosidad entre dos objetos para que la luminosidad de uno parezca la mitad del otro. Como el ojo no codifica la luminancia sino el contraste, una fotografía vista en condiciones de mucha y poca luz, parece igual, a pesar de la diferencia de luz que refleja en cada caso (M. Aguilar y F. Mateos, 1993).

Pasos en la percepción del color:

- 1) El primer paso es por medio de tres receptores de la retina, tal como lo dijeron Young y Helmholtz.
- 2) El segundo paso, es algo más complicado, los conos retinales fotosensibles no transmiten directamente al cerebro, ya que cada cono no puede tener una neurona hacia el cerebro. Hay numerosas células retinales involucradas, no sólo conos, y su información se interconecta previamente antes de pasar a una fibra nerviosa. Una célula nerviosa transmitirá una señal donde un área específica en el ojo se excite por un estímulo específico. Esta área es un pequeño círculo, llamado campo receptivo de la célula nerviosa, y el estímulo existe cuando la luz está presente en su centro, pero no en su borde o al reverso. El azul, el verde y el rojo son captado directamente por los conos retinales (células oponentes).

Fenómenos de la Visión

- **Adaptación y sensibilidad del color:** la elección del matiz es muy delicada debido a la rápida adaptación o menor sensibilidad de los conos para ver diferencias en mayor tiempo de observación. Esto se explica en la menor cantidad de conos presentes en la retina que los bastones. Al mismo tiempo ganamos sensibilidad al color complementario. Una observación prolongada nos llevaría a una disminución de la percepción de detalles (Heller, 2002).

- **Resalte del contraste:** al poner colores complementarios yuxtapuestos, se intensifican, por ejemplo azul y amarillo (M. Aguilar y F. Mateos, 1993).

Curvas de Visibilidad o Curvas de Eficacia Luminosa Relativa

En el estudio de la visión recibe el nombre de curva de sensibilidad, la que en cualquier otro fotorreceptor es curva de sensibilidad; la relación que existe entre la sensación luminosa (respuesta relativa del fotorreceptor) y la energía incidente que la ha provocado.

Esta relación es función de la longitud de onda de la radiación si es monocromática o de la distribución espectral si es compleja, ya que el ojo es un fotorreceptor selectivo.

Como en la retina existen dos tipos de fotorreceptores con características perfectamente diferenciadas, debemos de considerar dos curvas de visibilidad, la V_λ y la V'_λ : Figura 7.

- **Curva de visibilidad fotópica:** Es la que corresponde a la visión de conos, por lo tanto la interesante en colorimetría por ser los conos los únicos cuya respuesta tiene un “color” que depende de la longitud de onda. Se representa por V_λ , tiene su máximo en 555 nm y fue fijada por la CIE en 1924, sirviendo de base para la definición del observador standard.
- **Curva de visibilidad escotópica:** Corresponde a la visión de bastones, ciegos al “color” se representa por V'_λ su máximo está en 505 nm y fue fijada por la CIE en 1951. Al trasladarse la curva de visibilidad hacia las cortas longitudes de onda al pasar de la visión fotópica a la escotópica (efecto Purkinje) se da lugar a que dos colores igualmente luminosos al descender la iluminación pierdan además el color de su igualdad luminosa.

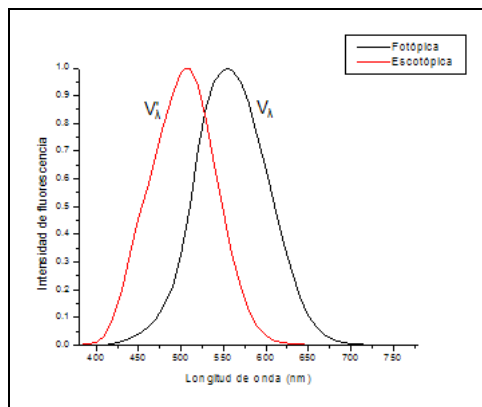


Fig. 7: Curva de visibilidad fotópica V_λ (CIE 1931) y curva de visibilidad escotópica V'_λ (CIE 1951).

Capítulo III: Óptica de la Luz

Fenómenos Ópticos de la Luz

1) **Reflexión:** Fenómeno por el cual la superficie de un cuerpo es capaz de cambiar la dirección de un rayo de luz que incide sobre él (Steenbecker, 2006). Figura 8.

Según la calidad de la superficie expuesta a la luz la reflexión se clasifica en:

- **Reflexión Especular:** Ocurre cuando un rayo de luz incide sobre una superficie perfectamente pulida, donde los ángulos de los rayos incidentes son paralelos a los reflejados (Castro, 1999; Serway, 1997).
- **Reflexión Semiespecular:** Ocurre cuando un rayo de luz incide sobre una superficie lisa mate. Este tipo de superficie, se caracteriza por poseer sectores perfectamente pulidos y otros rugosos. Los ángulos de luz reflejados son diferentes pero se encuentran en la misma dirección, lo que da lugar a una reflexión intermedia (Steenbecker, 2006).
- **Reflexión Difusa:** Ocurre cuando un rayo de luz incide sobre una superficie rugosa con infinidad de microporosidades. La dirección de los rayos reflejados es diferente (Serway, 1997).

Leyes de reflexión (Ruiz, 1999; Serway, 1997):

- El rayo incidente, la normal y el rayo reflejado están en el mismo plano.
- El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

Aplicado a la odontología y los materiales restauradores, una superficie suave y lisa como la de un composite bien pulido muestra ambas reflexiones, difusa y semiespecular; las proporciones relativas dependen del ángulo de la luz incidente. Pero una superficie rugosa, como la de un diente con placa bacteriana, muestra sólo reflexión difusa, no tiene una superficie brillante (Merriam-Webster, 1995).

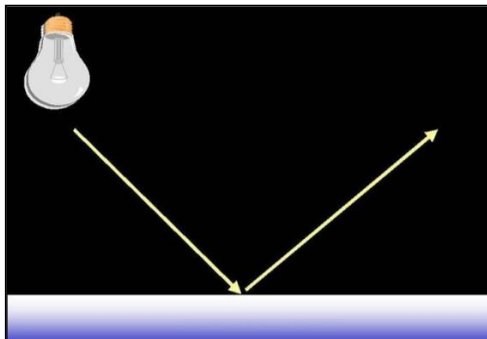


Fig. 8: Esquema del fenómeno de reflexión (Rubio, 2003).

2) **Refracción:** Fenómeno por el cual las ondas, incluyendo las luminosas, cambian de dirección al pasar de un medio a otro, determinando así un cambio en la velocidad de

propagación (Halliday et al, 2002). El rayo que incide en la superficie es el rayo incidente, y el que cambia de dirección es el rayo refractado (Craig, 1998). Figura 9.

La refracción es útil para identificar distintos materiales (Craig, 1998). El índice de refracción, propiedad característica de la materia, se aplica por ejemplo en el estudio de la translucidez en materiales dentales como composites (matriz y fase dispersa) y porcelanas, que deben tener la misma translucidez que el tejido dental (Craig, 1998). Cuando los índices de refracción coinciden totalmente, el sólido es transparente, mientras que si existen diferencia importantes, el material es traslúcido u opaco (Steenbecker, 2006).

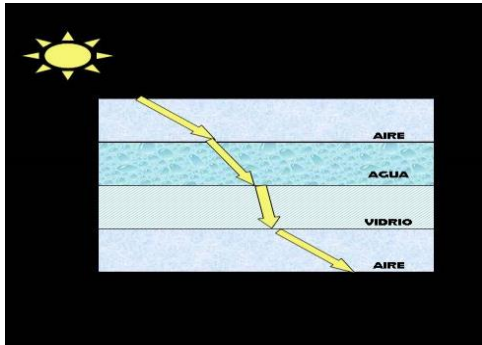


Fig. 9: Esquema del fenómeno de refracción (Rubio, 2003).

3) **Transmisión:** Es la capacidad de la luz de atravesar un cuerpo transparente y/o traslúcido (Steenbecker, 2006). Figura 10.

Según el tipo de transmisión, los cuerpos se clasifican en:

- **Transparentes:** Son los que permiten el paso de la luz a través de ellos en línea recta, con muy poca distorsión, permitiendo ver los objetos que se encuentran detrás de él (Craig, 1998). Dentro de los cuerpos transparentes encontramos los que permiten el paso de la luz sin variar su color, y los que permiten el paso de una determinada longitud de onda y absorben el resto, estos son los cuerpos acromáticos y cromáticos respectivamente. Los acromáticos se consideran cuerpos incoloros mientras que los cromáticos absorben colores complementarios y transmiten longitudes de onda de su propio color (Castro, 1999; Steenbecker, 2006).
- **Traslúcidos:** Son los cuerpos que permiten el paso de la luz a través de ellos, desordenando sus rayos en todas direcciones lo que se conoce como difusión (González y Haro, 2002. Steenbecker, 2006). Según su selección a la longitud de onda pueden ser también cromáticos o acromáticos (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. En odontología se utilizan algunos materiales traslúcidos como la porcelana, el composite y los plásticos dentales (Craig, 1998).
- **Opacos:** Son aquellos cuerpos que no dejan pasar la luz en proporción apreciable. Es una propiedad óptica de la materia, que tiene diversos grados y propiedades. Según la mecánica cuántica, un material será opaco a cierta longitud de onda cuando en su

esquema de niveles de energía haya alguna diferencia de energía que corresponda con esa longitud de onda. Así, los metales son opacos (y reflejan la luz) porque sus bandas de energía son tan anchas que cualquier color del espectro visible puede ser absorbido y reemitido (Disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Opacidad>). La absorción se define como la capacidad de un cuerpo de absorber los haces lumínicos que inciden sobre su superficie, y transformarla en calor en el interior del objeto (Steenbecker, 2006; Touati, 2000). Según esta característica pueden ser considerados como (Castro, 1999):

- **Blancos:** cuando reflejan, con absorción nula, todas las radiaciones del espectro visible recibidas.
- **Negros:** cuando absorben todas las radiaciones recibidas, sin transmitir ni reflejar ninguna.
- **Grisés:** cuando reflejan y/o absorben parcialmente las radiaciones recibidas.
- **Coloreados:** cuando 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.

Dentro del fenómeno de transmisión de la luz encontramos además la **dispersión**, la cual se define como la capacidad de separación de la luz en sus longitudes de onda componentes (Merriam-Webster, 1995); la forma más fácil de explicar este fenómeno es con el llamado “efecto prisma”, donde una luz blanca incide sobre un cuerpo translúcido, emergiendo los colores visibles del espectro electromagnético (García, 1996). Las longitudes de onda más cortas son más dispersadas que las largas; esto hace que la luz azul componente de la luz blanca del sol, se disperse más que las otras en la atmósfera, haciendo aparecer el cielo de ese color (Steenbecker, 2006). En odontología, las porcelanas y los composites son materiales capaces de dispersar la luz en su interior, al igual que los dientes humanos (Craig, 1998).



Fig. 10: Cuerpos de prueba de diferentes composites representando el fenómeno de transmisión (Rubio, 2005).

4) Difracción: Capacidad de las ondas para cambiar la dirección alrededor de obstáculos en su trayectoria (Hallyday y cols, 2002). También sucede cuando un grupo de ondas de tamaño finito se propaga; por ejemplo, por culpa de la difracción, un haz angosto de ondas de luz de un láser deben finalmente divergir en un rayo más amplio a una distancia suficiente del emisor (Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki>). Figuras 11 y 12.

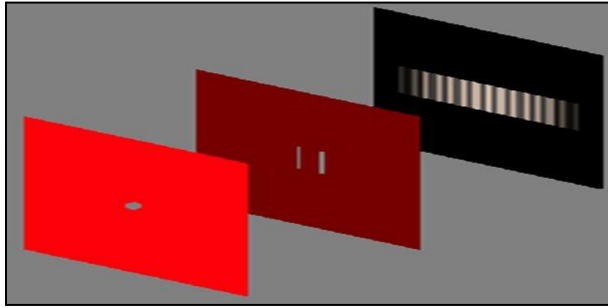
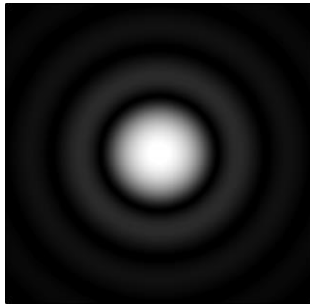
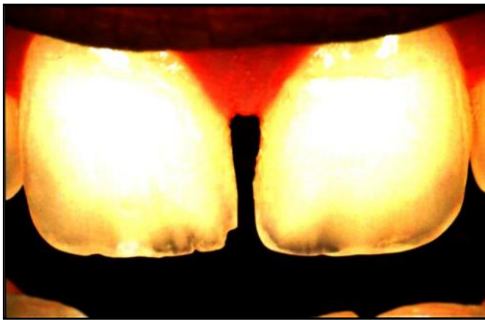


Fig. 11 y Fig. 12: Disco de Airy (patrón de difracción de los anillos concéntricos en escala de grises). Fenómeno de difracción (disponible en: www.wikipedia.es. Rubio, 2005).

5) Opalescencia: Fenómeno que se produce cuando la onda de luz se desplaza dentro de un material y encuentra un obstáculo menor que su longitud de onda, ella se refleja y se dispersa en todas direcciones (Steenbecker, 2006). El ópalo se caracteriza por reflejar luz azul y transmitir los naranjos rojizos (Touati, 2000). En una resina compuesta, este fenómeno se hace más fuerte cuando aumenta la diferencia en la refracción entre la matriz y las partículas que se encuentran alrededor de ella (Steenbecker, 2006). Figura 13.



*Fig. 13: Fenómeno de opalescencia dentaria (Obtenido de *Estética Natural*. Adolfi, Dario. Quintessence, 2004).*

6) Color: Onda electromagnética de longitud de onda específica, capaz de provocar reacciones fotoquímicas en la retina, originando la percepción visual (Touati, 2000). Puede ser percibido también por un receptor teórico (M. Aguilar y F. Mateos, 1993). Figuras 14 y 15.



*Fig. 14 y 15: Fenómeno de color (Obtenido de *Estética Natural*. Adolfi, Dario. Quintessence, 2004 y Rubio, 2005).*

Capítulo IV: Luminiscencia y Fluorescencia

Luminiscencia

Se conoce como luminiscencia a la emisión de luz de una sustancia a partir de estados electrónicamente excitados (Skoog, 2001); esto es, cuando los electrones descienden a niveles menores cediendo su exceso de energía en forma de fotones (Ewing, 1978). No radica exclusivamente en las altas temperaturas.

A modo de ejemplo, cuando un sólido recibe energía procedente de una radiación incidente, ésta es absorbida por su estructura electrónica y posteriormente es de nuevo emitida cuando los electrones vuelven a su estado fundamental.

De acuerdo al origen de la excitación, el proceso de luminiscencia puede ser designado como (Cabriales, 2004):

1) Excitación por radiaciones ionizantes:

- Fotoluminiscencia: Cuando se utilizan fotones de baja energía para excitar (espectro visible o UV).
- Catodoluminiscencia: Si el origen es un bombardeo con electrones acelerados.
- Radioluminiscencia: Si el origen es una irradiación con rayos α , β o γ .

2) Excitación generada mediante reacciones químicas:

- Quimioluminiscencia.

3) Excitación generada por energía mecánica:

- Triboluminiscencia: Por ejemplo, algunos minerales tienen la capacidad de emitir luz al ser molidos, rayados o frotados. La mayor parte de los minerales que poseen esta propiedad son no metálicos, anhidros y poseen buena exfoliación (Cabriales, 2004).

4) Excitación generada por energía eléctrica:

- Electroluminiscencia: Cuando se utiliza un campo eléctrico para excitar.
- Magnetoluminiscencia: Cuando la excitación es inducida por campos magnéticos.

5) Excitación generada por energía biológica:

- Bioluminiscencia: Si la reacción química la produce un ser vivo.

6) Excitación generada por ultrasonido:

- Sonoluminiscencia.

7) Excitación generada térmicamente:

- Incandescencia: Cuando el material se excita térmicamente.
- Termoluminiscencia: Propiedad que poseen algunos minerales de producir luz visible cuando se calientan a una temperatura por debajo del rojo. Se observa especialmente en minerales no metálicos que contiene iones extraños como activadores. Cuando se calienta un mineral termoluminiscente, la luz visible inicial, normalmente débil, se acentúa entre los 50 y 100°C y dicha luz cesa de ser emitida a temperaturas superiores a 475 °C (Gaete, Munte y Roman, 2006).

Fotoluminiscencia

En la fotoluminiscencia encontramos dos fenómenos en los cuales hay un proceso de emisión de luz en donde los átomos o las moléculas se excitan, mediante la absorción de un haz de radiación electromagnética (Lacowicz, 1999):

- 1) **Fosforescencia:** Se produce al incidir luz en un cuerpo el cual continúa la emisión de luz, más allá del tiempo que lleva el estímulo original (Steenbecker, 2006).
- 2) **Fluorescencia:** Es una manifestación luminosa en que las moléculas de un cuerpo son excitadas por absorción de una radiación electromagnética de longitud de onda mayor a 250 nm. Las ondas electromagnéticas en la banda del visible y del ultravioleta (UV) principalmente, realizando transiciones electrónicas, o sea, al absorber un fotón de luz, un electrón pasa de un orbital menos energético a un orbital más energético. Este electrón permanece en este orbital energético por un período de tiempo en general reducido, siendo que después vuelve al estado fundamental, pasando por orbitales intermedios. Dependiendo de la localización energética de estos orbitales, la vuelta del electrón al estado fundamental causa la emisión de luz, que siempre posee una energía menor que la luz que llevó este electrón a su estado excitado. La emisión de luz cesará una vez finalizado el estímulo (Lenz 2000; Philips, 1997).

En la mayoría de los casos de fotoluminiscencia, tanto si es de fluorescencia o de fosforescencia, la emisión de la luz es de mayor longitud de onda que la radiación utilizada para la excitación, para efectos de esta tesis, la luz ultravioleta (Kvaal y Solheim, 1989; Skoog, 2001; Steenbecker 2006).

Cuando un átomo absorbe energía, ocurre una transición electrónica desde un estado fundamental a uno excitado, resultando en una nueva configuración electrónica. Si los electrones toman la misma orientación del spin como en el estado fundamental, el spin resultante es cero, y el estado excitado es llamado singulete. Si el spin tiene un valor igual a 1, el estado excitado se denomina triplete (Cabriales, 2004). Esto quiere decir que las moléculas son transferidas a estados de energía más altos cuando son irradiadas por luz de longitud de onda adecuada. Este proceso es llamado excitación, y se dice que las moléculas están en estados excitados. Cuando las moléculas retornan desde estos estados de energía altos a estados más bajos puede emitirse luz;

su frecuencia corresponde a la diferencia de energía entre los estados involucrados (Sundström et al, 1985. Skoog, 2001).

Desde un estado excitado, una molécula con una cierta probabilidad decae radiativamente al nivel fundamental o uno de los otros niveles intermedios. Cuando esto sucede, se emite un fotón; el color de la luz corresponde a la energía desprendida y es referida como fluorescente (Sundström et al, 1985).

Cuando dos moléculas fluorescentes están en una proximidad cercana y la longitud de onda de emisión de una molécula es cercana a la longitud de onda de excitación de la otra molécula, la fluorescencia emitida de la primera molécula es entonces re-absorbida y liberada a la longitud de onda de la segunda molécula, esto se denomina re-absorción (Foreman, 1980).

La fluorescencia sucede más rápidamente que la fosforescencia y generalmente finaliza a unos 10^{-5} segundos después del inicio de la excitación, esto ocurre debido a su estado singulete. La emisión de la fosforescencia tiene lugar durante periodos mayores a 10^{-5} segundos, y en consecuencia, puede continuar durante minutos e incluso horas después que la radiación haya cesado, esta característica se produce principalmente por su configuración electrónica de triplete. La fluorescencia y fosforescencia se observan más fácilmente a un ángulo de 90 grados respecto al haz de excitación (Lacowicz, 1999).

La emisión de luz tiene lugar a un tiempo característico (τ) después de la absorción de la radiación y es este parámetro el que permite subdividir la luminiscencia en:

Fluorescencia: Si $\tau < 0,00000008$ segundos.

Fosforescencia: Si $\tau > 0,00000008$ segundos.

En los estudios de fotoluminiscencia, generalmente se observan tres tipos de espectros (Ewing, 1978):

- 1) **Excitación.**
- 2) **Emisión.**
- 3) **Absorción.**

La excitación puede producirse por diversos medios, tales como (Skoog, 2001):

- El bombardeo con electrones u otras partículas elementales, que generalmente conduce a la emisión de Rayos X.
- La exposición de chispas de corriente alterna o de una llama, un arco, un horno, la cual produce radiación ultravioleta, visible o infrarroja.
- La irradiación con un haz de radiación electromagnética, que produce radiación fluorescente.

La radiación emitida por una fuente excitada se caracteriza por medio de un espectro de emisión, que generalmente toma la forma de una representación gráfica de la potencia relativa de la radiación emitida en función de la longitud de onda o de la frecuencia (Skoog, 2001).

Cuando la radiación atraviesa una capa de sólido, líquido o gas, ciertas frecuencias pueden eliminarse selectivamente por absorción, un proceso en que la energía electromagnética se transfiere a los átomos, iones o moléculas que componen la muestra. La absorción provoca que estas partículas pasen de su estado normal a temperatura ambiente, o estado fundamental, a uno o más estados excitados de energía superior (Skoog, 2001).

De acuerdo con la teoría cuántica, los átomos, moléculas o iones sólo tienen un número limitado de niveles de energía discretos; de modo que para que se produzca la absorción de radiación, la energía de los fotones excitadores debe coincidir exactamente con la diferencia de energía entre el estado fundamental y uno de los estados excitados de las especies absorbentes. Con esto se logra caracterizar los elementos de una muestra (Skoog, 2001).

Fluorescencia

La fluorescencia es consecuencia de la absorción de radiación ultravioleta de longitud de onda mayor a 250 nm, esto es porque longitudes de onda menores son suficientemente energéticas como para producir la desactivación de los estados excitados por predisociación o disociación (Skoog, 2001). Figura 16.

La fluorescencia más intensa y la más útil es la que presentan los compuestos que poseen grupos funcionales aromáticos. Los compuestos que tienen grupos carbonilos en estructuras alifáticas o alicíclicas o estructuras con dobles enlaces altamente conjugados, también pueden presentar fluorescencia, pero el número de estos compuestos es pequeño comparado con el número de sistemas aromáticos (Lacowicz, 1999; Skoog, 2001).

Se cree además que las moléculas fluorescentes deben poseer una estructura rígida, esto es porque no sufren vibraciones de baja frecuencia respecto a sus otras partes y por lo tanto tales movimientos no originarían pérdidas de energía, como lo harían las moléculas no rígidas (Skoog, 2001).

Factores que influyen en la fluorescencia (Skoog, 2001):

- **Temperatura:** Al aumentar, aumenta la frecuencia de colisiones y con ello la probabilidad de una desactivación por conversión externa, originando una disminución de la fluorescencia.
- **Solvente:** Al disminuir la viscosidad del solvente, aumenta la probabilidad de conversión externa, conduciendo al mismo resultado de la temperatura. La fluorescencia de una molécula se reduce en presencia de solventes que contienen átomos pequeños o de solutos con dichos átomos en su estructura.

- **Ph:** La longitud de onda y la intensidad de emisión, son probablemente diferentes para las formas ionizadas y no ionizadas, esto es de vital importancia en compuestos aromáticos con sustituyentes ácidos o básicos del anillo. Es por esto que procedimientos analíticos basados en las moléculas de fluorescencia frecuentemente requieren un control minucioso del pH.
- **Oxígeno disuelto:** La presencia de oxígeno disuelto reduce la intensidad de la fluorescencia de una disolución. Este efecto puede ser resultado de una oxidación de las especies fluorescentes inducidas fotoquímicamente.
- **Concentración:** La relación que existe entre fluorescencia y concentración es directamente proporcional; a mayor concentración mayor fluorescencia y viceversa, por lo que una gráfica de intensidad de fluorescencia contra concentración es una línea recta.



Fig. 16: Emisión fluorescente de compuesto químico estimulado con luz u.v. (Rubio, 2005).

Compuestos Orgánicos Fluorescentes (Fluóroforos)

Existen ciertas moléculas que cuando son sometidas a luces negras poseen la capacidad de emitir longitudes de onda mayor a la fuente de origen, estas sustancias se denominan fluoróforos.

Los fluoróforos son divididos en dos tipos generales:

- 1) **Fluoróforos intrínsecos:** son aquellos en que el fenómeno ocurre de forma natural, en ellos están incluidos los aminoácidos aromáticos, NADH, flavinas, y derivados de la clorofila (Lacowikz, 1999).
- 2) **Fluoróforos extrínsecos:** son agregados a las muestras para proporcionar fluorescencia cuando se requiera o para cambiar las propiedades espectrales de la muestra; entre ellos se incluyen fluoresceína, rodamina y numerosas otras sustancias (Lacowikz, 1999).

Los fluoróforos tienen un espectro de absorción y emisión bien definidos, existiendo una diferencia entre los peaks de absorción y emisión de ellos (Lacowikz, 1999). La intensidad de fluorescencia emitida varía con la longitud de excitación, pero no varía la distribución del espectro (Lacowikz, 1999).

Los fluoróforos orgánicos y bioquímicos más conocidos son: Adenina, ácido antranílico, cisteína, hidrocarburos aromáticos policíclicos, indol, naftol, proteínas, ácido salicílico, escatol, triptófano, ácido úrico, adrenalina, alquilmorfina, LSD, penicilina, fenobarbital, procaína, reserpina, clorofila, alcaloides, flavonoides, esteroides, ácido ascórbico, ácido fólico, nicotinamida, piridoxal, corticoesteroides, estrógenos, progesterona, andrógenos, ácidos biliares, colesterol, triglicéridos, creatinina, deshidrogenasas, transaminasas, fosfatasas, peroxidadas, ATP, luciferina, luciferasa, vitaminas: A, B1, B2, B6, C y la E (Skoog, 2001).

Fluorescencia en Proteínas

Según Lacowicz, 1999; las discusiones de la bioquímica de la fluorescencia comienzan con el tema de la fluorescencia en proteínas. Esto es porque, entre los biopolímeros, las proteínas son los únicos en exhibir usualmente fluorescencia intrínseca. En las proteínas, los 3 aminoácidos aromáticos, fenilalanina, tirosina y triptofano son fluorescentes. Una característica favorable de la estructura proteica es que estos 3 aminoácidos son relativamente escasos en las proteínas. El triptofano es el fluoróforo intrínseco dominante; una proteína puede poseer sólo uno o pocos residuos de triptofano, que facilita la interpretación de los datos espectrales. Si los 20 aminoácidos fueran fluorescentes, es probable que la emisión proteica pueda ser demasiado compleja de interpretar.

Una característica valiosa de la fluorescencia intrínseca de las proteínas es la alta sensibilidad del triptofano en el ambiente. Frecuentemente se puede observar cambios en el espectro de emisión del triptofano en respuesta a distintos procesos, tales como las transiciones que sufre la conformación proteica, las asociaciones de las subunidades, acoplamiento de sustratos, o durante la desnaturalización; es decir, todos aquellos procesos que pueden afectar el entorno de la proteína. Mediciones anisotrópicas son también informativas debido a que la tirosina y el triptofano exhiben alta anisotropía; la anisotropía revela el desplazamiento angular promedio del fluoróforo que ocurre entre la absorción y la subsecuente emisión de un fotón. Además, el triptofano parece ser extraordinariamente sensible a las colisiones con amortiguadores, aparentemente debido a la tendencia de donar electrones cuando está en estado excitado; este amortiguamiento colisional ocurre cuando el fluoróforo en estado excitado es desactivado al contactar con alguna otra molécula en solución, que es llamada amortiguador, por lo que la intensidad de la fluorescencia puede ser disminuida por una amplia variedad de procesos (Lakowicz, 1999).

Un factor que complica la interpretación de la fluorescencia es la presencia de múltiples aminoácidos fluorescentes en la mayoría de las proteínas. Como el entorno de cada residuo es distinto, las propiedades espectrales de cada residuo son generalmente diferentes (Lakowicz, 1999).

Propiedades espectrales de los aminoácidos fluorescentes, que contribuyen a la fluorescencia ultravioleta de las proteínas:

- **Fenilalanina:** Posee una estructura vibracional fina y exhibe cortas longitudes de onda de absorción y emisión; con un máximo cercano a los 282 nm.

- **Tirosina:** Su espectro de emisión ocurre a los 303 nm y es relativamente insensible en solventes polares; su máximo espectro de absorción se ubica entre 222 y 275 nm, con una duración de la emisión en solución acuosa neutra temperada de 3.5 +- 0.2 nseg.
- **Triptofano:** Su máximo de emisión en agua ocurre cercano a los 350 nm, y en cuanto a su espectro de absorción, posee 2 bandas de absorción: una cuyo máximo se presenta en los 280 nm, y otra cuyo máximo está en los 218 nm; es altamente dependiente de la polaridad y/o del ambiente local; siendo muy sensible, en forma general, a los efectos del solvente. Como resultado, la emisión de cada residuo de triptofano en una proteína dependerá de las características del ambiente que lo rodea (Permyakov, 1993).

La fluorescencia de las proteínas posee generalmente un máximo de absorción cercano a los 280 nm o más de longitud de onda. Como consecuencia la Fenilalanina no es excitada en la mayoría de los experimentos. Además el quantum de rendimiento de la Fenilalanina es pequeño, típicamente cercano a los 0.03, por lo que la emisión de los residuos de Fenilalanina es raramente observada; siendo el quantum de rendimiento (Q) el número de fotones emitidos relativo al número de fotones absorbidos. La absorción de las proteínas a los 280 nm es debida a los residuos de Tirosina y Triptofano. A 23° C en soluciones acuosas neutras el quantum de rendimiento de la Tirosina y Triptofano es cercano a los 0.14 y 0.13 respectivamente. Sustancias con un gran quantum de rendimiento, como la rodamina, exhibe la emisión más brillante. A longitudes de onda mayores a 295 nm, la absorción es debida principalmente al Triptofano. La fluorescencia del triptofano puede ser excitada selectivamente a los 295 – 305 nm. Así, muchas investigaciones reportan el uso de excitación con 295 nm., que es seleccionado para evitar la excitación de la Tirosina (Lakowicz, 1999).

Características Generales de la Fluorescencia en las Proteínas

Existen diversas propuestas para dividir a las proteínas en categorías basadas en su espectro de emisión. La idea básica es que el espectro de emisión del Triptofano debe reflejar su entorno promedio; sin embargo, al moverse sus residuos, la emisión cambia en un amplio rango de longitud de onda. De hecho se sabe que, individualmente, algunas proteínas exhiben este amplio rango de espectro de emisión (Lakowicz, 1999).

Se puede esperar que proteínas que exhiben un espectro de emisión cercano al azul tengan un quantum de rendimiento (Q) o un tiempo de vida (τ) alto, siendo el tiempo de vida el tiempo disponible para que el fluoróforo difunda o interactúe con su entorno. Tal conducta es esperada frente a un incremento usual en el quantum de rendimiento cuando un fluoróforo es ubicado en un solvente menos polar. Sin embargo, cuando se examinan los valores de Q y τ para un número de proteínas con sólo Triptofano se encuentra que no existe una correlación clara entre el quantum de rendimiento y el tiempo de vida. Aparentemente, la complejidad del entorno de la proteína puede hacer caso omiso de los efectos generales de polaridad en el tiempo de vida del Triptofano (Lakowicz, 1999).

Algunos triptofanos son completamente amortiguados en proteínas multitriptofano y así no contribuye a la medición de la emisión máxima y del tiempo de vida. Por ejemplo, el

Triptofano se sabe que es parcialmente amortiguado por el benceno. Los residuos no fluorescentes también absorben luz, y esto resulta en un quantum de rendimiento altamente variable para las diferentes proteínas. La falta de correlación entre el espectro de emisión y los tiempos de vida de las proteínas es probablemente debido a los efectos de entornos proteicos específicos que amortiguan residuos particulares de triptofano. En el caso de proteínas con sólo triptofano, se puede pensar que diferentes conformaciones poseen el residuo más cercano o más alejado de un grupo amortiguador (Lakowicz, 1999).

Compuestos Inorgánicos Fluorescentes

Según (Skoog, 2001), algunas de las especies inorgánicas que pueden ser analizadas por fluorescencia son:

- Cianuro.
- Fluoruro.
- Sulfatos.
- Fosfatos.
- Aluminio.
- Arsénico.
- Berilio.
- Boro.
- Calcio.
- Magnesio.
- Tierras raras.
- Selenio.
- Uranio.

Los minerales luminiscentes se hacen fluorescentes cuando están expuestos a la acción de los rayos X, ultravioleta o catódicos. Las fluoritas de color intenso son minerales fosforescentes, que muestran luminiscencia al ser expuestos a los rayos ultravioleta (Lacowicz, 1999).

Tierras Raras

Los lantánidos se conocen también como tierras raras, porque fueron originalmente descubiertos en minerales raros, como mezclas de óxidos o "tierras". En comparación con muchos otros elementos, las tierras raras no son realmente "raras", su abundancia absoluta en la litósfera es relativamente alta a excepción del prometio, que sólo tiene isótopos radioactivos. Son los elementos que incluyen lantano, cerio, praseodimio, neodimio, prometio, samario, europio, gadolinio, terbio, disprosio, holmio, erbio, tulio, iterbio y lutecio (Lacowicz, 1999).

Los lantánidos son los únicos metales fluorescentes que exhiben emisión en solución acuosa y tiempo de decaimiento de 0.5-3 ns. Como resultado, los coeficientes de absorción son muy bajos, menores a $10 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$, y los rangos de emisión son lentos, resultando en largos tiempos de vida. Debido a la débil absorción, los lantánidos no son directamente excitados si no que por ligandos orgánicos. Por lo tanto, el espectro de excitación del complejo refleja el espectro de absorción del ligando y no del lantánido por si mismo (Lacowicz, 1999).

Con los lantánidos se han encontrado un amplio uso en detecciones de alta sensibilidad, particularmente inmunoanálisis. Todas las muestras biológicas que exhiben autofluorescencia, presentan limitaciones en detección de alta sensibilidad. Sin embargo, la autofluorescencia decae en nanosegundos, como lo hace la fluorescencia de la mayoría de los fluoróforos, pero debido a su extenso tiempo de decaimiento, los lantánidos continúan emitiendo después de la desaparición de la autofluorescencia (Lakowicz, 1999).

Capítulo V: Histología Dentaria

Esmalte

Es llamado también tejido adamantino o sustancia adamantina, cubre a manera de casquete a la dentina en su porción coronaria ofreciendo protección al tejido conectivo subyacente integrado en el sistema dentino- pulpar (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

Forma la cubierta externa de las coronas de los molares, premolares y dientes, variando en espesor desde alrededor de 2,5 mm en la punta de una cúspide sin desgaste a un espesor mínimo a nivel del cuello de los dientes (Churchill-Livingstone, 1999).

Es el tejido más duro del organismo debido a que está estructuralmente constituido por millones de prismas altamente mineralizados que lo recorren en todo su espesor, desde la conexión amelodentinaria (CAD) a la superficie externa o libre en contacto con el medio bucal. La dureza del esmalte se debe a que posee un porcentaje muy elevado (95%) de matriz inorgánica y muy bajo (0.36- 2%) de matriz orgánica. Los cristales de hidroxiapatita constituidos por fosfato de calcio representan el componente inorgánico del esmalte (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

Existen una serie de características que hacen del esmalte un tejido único; dichas características son las siguientes (Gómez de Ferraris y Campos, 2002):

- 1) Embriológicamente deriva del órgano del esmalte, de naturaleza ectodérmica, que se origina de una proliferación localizada del epitelio bucal.
- 2) La matriz orgánica del esmalte es de naturaleza proteica con agregado de polisacáridos y en su composición química no participa el colágeno.
- 3) Los cristales de hidroxiapatita del esmalte se hallan densamente empaquetados y son de mayor tamaño que los de los otros tejidos mineralizados. Los tejidos son susceptibles (solubles) a la acción de los ácidos constituyendo estas características el sustrato químico que da origen a la caries dental.
- 4) Las células secretoras del tejido adamantino, los ameloblastos (que se diferencian a partir del epitelio interno del órgano del esmalte), tras completar la formación del esmalte, involucionan y desaparecen durante la erupción dentaria por un mecanismo de apoptosis. Esto implica que no hay crecimiento ni nueva aposición de esmalte después de la erupción.
- 5) El esmalte maduro no contiene células ni prolongaciones celulares. Por ello actualmente no se le considera como un “tejido”, sino como una sustancia extracelular altamente mineralizada. Las células que le dan origen, no quedan incorporadas a él y por ello el esmalte es una estructura acelular, avascular y sin inervación.

- 6) El esmalte frente a una noxa, reacciona con pérdida de sustancia siendo incapaz de repararse, es decir, no posee poder regenerativo como sucede en otros tejidos del organismo, aunque puede darse en él, un fenómeno de remineralización (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

Propiedades Físicas del Esmalte

1) Dureza:

Es la resistencia de una de una sustancia a ser rayada, penetrada o sufrir deformaciones de cualquier índole, motivadas por presiones. Presenta una dureza que corresponde a cinco en la escala Mohs (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

El esmalte dental es el tejido más fuerte del organismo humano, formado por cristales de apatita dispuestos en columnas los cuales se extienden desde la unión amelodentinal hasta la superficie del esmalte de manera casi perpendicular. Esas columnas fueron denominadas prismas. Pero su forma en sección cruzada es denominada barra (Ferguson D.B. Oral Bioscience, 1999).

La dureza adamantina decrece desde la superficie libre a la conexión amelodentinaraiia, o sea que esta en relación directa con el grado de mineralización (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

Estudios recientes establecen los valores promedios de la dureza del esmalte en dientes permanentes entre 3,1 y 4,7 Gpa (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

2) Elasticidad:

La elasticidad del esmalte es muy escasa pues depende de la cantidad de agua y de sustancia orgánica que posee. Por ello es un tejido frágil, con tendencia a las macro y microfracturas, cuando no tiene un apoyo elástico dentinario. La elasticidad es mayor en la zona del cuello y vaina de los prismas por el mayor contenido de sustancia orgánica (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

3) Permeabilidad:

La permeabilidad es extremadamente escasa y se ha visto mediante marcadores radioactivos o radioisótopos que el esmalte puede actuar como una membrana semipermeable, permitiendo la difusión de agua y de algunos iones presentes en el medio bucal (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

Se ha sugerido que existen vías submicroscópicas de transporte molecular, el agua actuaría como agente transportador de iones en la matriz adamantina. Se aprovecha este sistema submicroscópico de poros para llevar a cabo el primer nivel de prevención, con el aporte de fluoruros por topicaciones, geles o pastas fluoradas (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

Otras investigaciones aportan que el esmalte posee la propiedad de una captación continua de ciertos iones o moléculas existentes en la saliva. Esto sólo ocurre en un pequeño espesor de la superficie (30 μm), mecanismo conocido como remineralización (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

4) **Radiopacidad:**

Corresponde a la oposición al paso de los rayos X, es muy alta en el esmalte, lo que lo convierte en la estructura más radioopaca del organismo humano por su alto grado de mineralización. En radiografías dentales aparece como un capuchón blanco y en ellas las zonas afectadas por caries son detectables por tener disminuida la radiopacidad (se observa una radiolucidez de tonalidad gris oscura), debido a la alteración y descalcificación del área afectada (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

5) **Color y Transparencia:**

El esmalte es translúcido, el color varía entre un blanco amarillento a un blanco grisáceo pero este color no es propio del esmalte, sino que depende de las estructuras subyacentes, en especial la dentina. En las zonas de mayor espesor, tiene tonalidad grisácea (cúspides) y donde es más delgado (cervical) presenta un color blanco-amarillento (Gómez de Ferraris y Campos, 2002). La transparencia puede atribuirse a variaciones en el grado de calcificación y homogeneidad del esmalte. A mayor mineralización, mayor translucidez (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

Composición Química del Esmalte

El esmalte está constituido químicamente por una matriz orgánica (2%), una matriz inorgánica (95%) y agua (3-5%). Gómez de Ferraris y Campos, 2002.

1) **Matriz Orgánica:**

El componente orgánico más importante es de naturaleza proteica, y constituye un complejo sistema de multiagregados polipeptídicos que, en general, no han sido, todavía caracterizados de forma definitiva. La dificultad es debida a las contaminaciones que se producen al tratar de separar o aislar la porción orgánica del esmalte, de la dentina. Mediante distintas técnicas de fraccionamiento, electroforesis, separación y extracción, diversos autores han postulado la existencia de distintas proteínas con diferente peso molecular y propiedades. Entre las proteínas presentes en mayor o menor medida en la matriz orgánica del esmalte, en las distintas fases de su formación destacan (Gómez de Ferraris y Campos, 2002; Nancy A. Ten Cate, 2003):

- **Amelogeninas:** son moléculas hidrofóbicas, fosforiladas y glicosiladas de 25 Kda, ricas en prolina, glutámico, histidina y leucina, que son las más abundantes (90% al comenzar la amelogenénesis) y disminuyen progresivamente a medida que aumenta la madurez del esmalte. Se denominan proteínas del esmalte inmaduro y se localizan entre los cristales de las sales minerales, sin estar ligadas a ellos (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

- **Enamelinas:** son moléculas hidrofílicas, glicosiladas de 70kda, ricas en serina, aspártico y glicina, que se localizan en la periferia de los cristales formando proteínas de cubierta, aunque algunos autores afirman que pueden encontrarse también en el seno de las estructuras cristalinas. Representan el 23 % de la matriz orgánica del esmalte. Se admite que no son secretadas por los ameloblastos y se ha sugerido que resultan de la degradación de las amelogeninas (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).
- **Ameloblastinas o Amelinas:** inmunohistoquímicamente se localizan en las capas más superficiales del esmalte y en la periferia de los cristales. Representan el 5% del componente orgánico (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).
- **Tuftelina:** denominada también la proteína de los flecos de 50- 70 KDa, que se localiza en la unión amelodentinaria al comienzo del proceso de formación del esmalte. Representa el 1- 2% del componente orgánico (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).
- **Parvalbúmina:** proteína identificada en el polo distal del proceso de Tomes del ameloblasto secretor. Su función está asociada al transporte de calcio del medio intracelular al extracelular (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

Además de estas proteínas específicas en la matriz orgánica del esmalte existen proteínas séricas, enzimas y pequeños porcentajes de condroitin 4-sulfato, condroitin 6-sulfato, y lípidos (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

2) **Matriz Inorgánica:**

Está constituida por sales minerales cálcicas básicamente de fosfato y carbonato. Dichas sales, de acuerdo con estudios realizados con difracción de rayos x, muestran una organización apatítica que responde, al igual que ocurre en hueso, dentina y cemento, a la fórmula general $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. Dichas sales se depositan en la matriz del esmalte, dando origen rápidamente a un proceso de cristalización que transforma la masa mineral en cristales de hidroxiapatita. En el esmalte, a diferencia de lo que ocurre en la dentina y el tejido óseo, no parece existir fosfato cálcico amorfo (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

Existen también sales minerales de calcio como carbonatos y sulfatos, y oligoelementos como potasio, magnesio, hierro, flúor, manganeso, cobre; además de cloro, sodio, estroncio, zinc, estaño (Gómez de Ferraris y Campos, 2002; Nancy A. Ten Cate's Oral Histology, 2003).

3) **Agua:**

Se localiza en la periferia del cristal constituyendo la denominada capa de hidratación o capa de agua absorbida. Por debajo y más hacia el interior, en el cristal, se ubica la denominada capa de iones y compuestos absorbidos, en la que el catión Ca^{2+} puede ser sustituido por Na^+ , Mg^{2+} , y H_3O^+ , y el anión OH^- por F^- , Cl^- , etc. El porcentaje de agua en el esmalte disminuye progresivamente con la edad (Gómez de Ferraris y Campos, 2002; Nancy A. Ten Cate's Oral Histology, 2003).

Estructura Histológica del Esmalte

La estructura histológica del esmalte está constituida por la denominada unidad estructural básica “los prismas del esmalte”, compuestos por cristales de hidroxiapatita (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

1) Esmalte Prismático:

Los prismas son unas estructuras longitudinales de 4 μ m de espesor promedio, que se dirigen desde la conexión amelodentinaria hasta la superficie del esmalte. En relación con su longitud es mayor que el propio espesor del esmalte, pues el curso de los prismas es sinuoso. El diámetro de los prismas varía entre 4-10 μ m, es menor en su punto de origen y aumenta gradualmente a medida que se acerca a la superficie libre. El número de prismas varía en relación con el tamaño de la corona evaluándose entre 5 y 12 millones (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

Con técnica de microscopio electrónico de barrido (MEB) y en cortes longitudinales se observan como bastones irregularmente paralelos y en cortes transversales con una morfología en ojo de cerradura de llave antigua. Lo anterior permite distinguir en el prisma dos regiones: la cabeza o cuerpo (en forma de cúpula esférica seguida de un cuello estrecho) y la cola con terminación irregular (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

El material orgánico es muy escaso y se distribuye básicamente en la periferia de los prismas rodeando la estructura en ojo de cerradura (cabeza y cola). Este material orgánico periférico es muy insoluble y corresponde a la denominada vaina de los prismas. Gracias a estudios realizados con microscopio electrónico de transmisión (MET) se ha concluido, que la diferencia entre el prisma y la vaina del prisma es cuantitativa, es decir, estas últimas son zonas con menor grado de mineralización, por el mayor contenido proteico (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

Los prismas están compuestos por cristales de hidroxiapatita que se presentan con una orientación muy definida al interior de los mismos. En el esmalte, los prismas tienen una orientación compleja y presentan entrecruzamientos y decusaciones. La compleja disposición de los prismas en hileras o planos circunferenciales, y la diferente orientación de los mismos en el espesor del esmalte permite a este último resistir, de forma eficaz, las fuerzas de la masticación (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

2) Esmalte Aprismático:

Es material adamantino carente de prismas. Se localiza en la superficie externa del esmalte prismático y posee un espesor de 30 μ m. Algunos autores extienden el espesor hasta los 100 μ m. El esmalte aprismático está presente en todos los dientes primarios (en la zona superficial de toda la corona) y en un 70% de los dientes permanentes. En estos últimos se encuentra ubicado en mayor medida en las regiones cervicales y en zonas de fisuras y microfisuras y, en menor medida en las superficies cuspídeas (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

Dentina

La dentina es el eje estructural del diente y constituye el tejido mineralizado que conforma el mayor volumen del diente. En la corona está cubierta por el esmalte, mientras que en la región radicular está tapizada por el cemento. Interiormente, la dentina delimita una cavidad, denominada cámara pulpar, que contiene a la pulpa (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

El espesor de la dentina varía según la pieza dentaria: en los incisivos inferiores es mínimo (de 1 a 1,5 mm), mientras que en caninos y molares es de 3 mm, aproximadamente. En cada diente en particular, el espesor es mayor en los bordes incisales o cuspídeos, y menor en la raíz (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

En la estructura de la dentina podemos distinguir dos componentes básicos: la matriz mineralizada y los conductos o túbulos dentinarios que la atraviesan en todo su espesor y que alojan a los procesos odontoblásticos, que son largas prolongaciones citoplasmáticas de las células especializadas llamadas odontoblastos, cuyos cuerpos se ubican en la región más periférica de la pulpa. Estas células producen la matriz colágena de la dentina y también participan en el proceso de calcificación de la misma, siendo por lo tanto, responsables de la formación y del mantenimiento de la dentina (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

Propiedades Físicas de la Dentina

1) Dureza:

Esta se encuentra determinada por su grado de mineralización. Es mucho menor que la del esmalte, y algo mayor que la del hueso y el cemento.

2) Elasticidad:

Posee una gran importancia funcional, ya que permite compensar la rigidez del esmalte, amortiguando los impactos masticatorios. La elasticidad dentinaria varía de acuerdo al contenido orgánico y al agua que contiene.

3) Permeabilidad:

Posee una mayor permeabilidad que el esmalte debido a la presencia de los túbulos dentinarios, que permiten el paso a distintos elementos o solutos (colorantes, medicamentos, microorganismos, etc). Se han descrito dos tipos de mecanismos de transporte a través de los túbulos; por difusión o por presión de los fluidos intersticiales de la pulpa.

4) Radiopacidad:

Depende del contenido mineral, y asimismo resulta menor a la del esmalte y algo superior a la del hueso y cemento. Por su baja radioopacidad, la dentina aparece en las radiografías, más oscura que el esmalte.

5) Color:

La dentina presenta un color blanco amarillento, pero puede variar de un individuo a otro, y también a lo largo de la vida. Como el esmalte es translúcido, por su alto grado de mineralización, el color del diente lo otorga generalmente, la dentina.

El color de la dentina puede depender de:

- **El grado de mineralización:** los dientes primarios presentan un tono blanco azulado por el menor grado de mineralización.
- **La vitalidad pulpar:** los dientes desvitalizados presentan un color grisáceo.
- **La edad:** con la edad la dentina se vuelve progresivamente más amarillenta.
- **Los pigmentos:** éstos pueden tener un origen endógeno o exógeno. Los pigmentos endógenos provienen, por ejemplo, de la degradación de la hemoglobina en los casos de hemorragias pulpares por traumatismos posttratamientos, o bien de fracturas dentarias, en cuyo caso la corona del elemento experimenta un ennegrecimiento. La acción medicamentosa también ocasiona tonos grisáceos. Los pigmentos exógenos pueden provenir de obturaciones metálicas.

6) Translucidez:

La dentina es menos translúcida que el esmalte, debido a su menor grado de mineralización, pero en regiones apicales, donde el espesor de la dentina es mínimo, puede verse por transparencia el conducto radicular (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

Composición Química de la Dentina

Está formada aproximadamente por un 70% de materia inorgánica, principalmente cristales de hidroxiapatita, 18% de materia orgánica, principalmente fibras colágenas, y 12 % de agua (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

1) Matriz Orgánica:

Está constituida por varios componentes, entre los que destaca el colágeno tipo I, que es sintetizado por el odontoblasto y representa un 90% de la matriz. Una vez segregado en la región de la predentina las moléculas de colágeno configuran las fibras extracelularmente (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

Los colágenos tipo III, IV, V y VI se han descrito en pequeñas proporciones y en diferentes circunstancias. El colágeno tipo III se segrega en casos de dentina opalescente y está ocasionalmente presente en la denominada dentina peritubular; el de tipo IV, en los momentos iniciales de la dentinogénesis, cuando existe una membrana basal que separa la dentina no

mineralizada de los ameloblastos secretores, y finalmente, los de tipo V y VI se han descrito en distintas regiones de la predentina (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

Según Williams y Elliott, 1990; el colágeno tiene una composición de aminoácidos poco común, formándose de glicina en casi una tercera parte, y de prolina, hidroxiprolina y alanina en casi una décima parte cada una.

En la matriz orgánica de la dentina se han detectado, asimismo proteínas semejantes a las existentes en la matriz ósea tales como la ostectina, la osteopontina y la proteína Gla de la dentina (similar a la osteocalcina). Dicha matriz contiene además tres proteínas que se localizan únicamente en la dentina: son la fosforina dentinaria (DDP) que tras el colágeno es el componente más abundante de la dentina, la proteína de la matriz dentinaria 1 (DMP1) y la sialoproteína dentinaria (DSP). Las dos primeras, segregadas por los odontoblastos participarían en el proceso de mineralización y la última, segregada por odontoblastos jóvenes y también por preameloblastos, participaría de algún modo en el proceso de interrelación epitelio-mesénquima, que acompaña al desarrollo de los dientes (Gómez de Ferraris y Campos, 2002; Abramovich, 1999).

También están presentes proteoglicanos en la matriz dentinaria. El condroitín 4-sulfato y el condroitín 6-sulfato son los glucosaminoglucanos más frecuentes, predominando el segundo de ellos en la predentina, también en menor cantidad existe ácido hialurónico, sulfato de dermatán y sulfato de queratán. El contenido de proteoglicanos en la predentina es mucho más elevado que en la dentina, que está unido al hallazgo en la predentina de enzimas capaces de degradar los núcleos proteínicos de los proteoglicanos (Williams y Elliott, 1990).

Proteínas del suero, como la albúmina, fosfolípidos y factores de crecimiento, posiblemente inmovilizados durante la dentinogénesis, se han identificado también en la matriz orgánica de la dentina (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

2) Matriz Inorgánica:

Está compuesta por cristales de hidroxiapatita, similares químicamente a los del esmalte, cemento y hueso. Por su tamaño se diferencian de los grandes cristales del esmalte, ya que los cristales de la dentina son delgados y pequeños, más parecidos a los que se encuentran en el tejido óseo. Los cristales se orientan de forma paralela a las fibras de colágeno de la matriz dentinaria, disponiéndose entre las fibras y también dentro de las mismas, ya que ocupan los espacios entre las moléculas que forman el colágeno (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

En la fracción mineral, además de los cristales de hidroxiapatita hay cierta cantidad de fosfatos amorfos, carbonatos, sulfatos y oligoelementos como flúor, cobre, zinc, hierro, magnesio, etc. Existe además calcio ligado a componentes de la matriz orgánica que actuarían como reservorio para la formación de cristales de hidroxiapatita (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

Estructura Histológica de la Dentina

1) Unidades Estructurales Básicas:

- **Túbulos Dentinarios:** Son unas estructuras cilíndricas delgadas que se extienden por todo el espesor de la dentina desde la pulpa hasta la unión amelodentinaria o cementodentinaria. Estos túbulos están llenos de líquido dentinario y ocupados por las prolongaciones de los odontoblastos (Gómez y Campos. Cohen S. Burns R., 1999).

Poseen sus extremos estrechos y miden aproximadamente 2,5 μm de diámetro cerca de la pulpa; 1,2 μm en la porción media de la dentina y 900 nm cerca de la unión amelodentinaria. Tienen una longitud promedio de 1,5 a 2 mm. A nivel de la corona cerca del esmalte hay aproximadamente 20.000 túbulos por mm^2 y 45.000 túbulos por mm^2 cerca de la pulpa (Ten Cate, 1986). En la dentina radicular el número de túbulos es de 24.000 por mm^2 cerca del área pulpar y alrededor de 12.000 por mm^2 en la región de la periferia (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

Presentan ramificaciones colaterales o túbulos secundarios muy delgados (1 μm de diámetro) que parten, en general, en ángulo recto y se conectan con túbulos vecinos (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

En su trayecto final presentan ramificaciones terminales. En la zona más periférica de la dentina coronaria son arboriformes y finalizan en la unión amelodentinaria, aunque algunas ramas pueden penetrar en el esmalte (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

Los túbulos dentinarios hacen permeable a la dentina y permite una vía para la extensión de la caries. También las sustancias químicas y los materiales restauradores pueden difundir a través de la dentina y ocasionar daño pulpar (Ten Cate, 1986).

La dentina que recubre los túbulos o dentina peritubular es la más mineralizada, su formación es un proceso continuo que puede ser acelerado por estímulos nocivos y originar una reducción progresiva del tamaño de la luz del túbulo (Ten Cate, 1986). La dentina peritubular se caracteriza porque carece prácticamente de colágeno aunque se ha descrito la presencia ocasional de colágeno tipo III. La materia orgánica está formada por sustancias no colágenas como glicoproteínas, proteoglicanos y lípidos. Se trata, además, de una dentina muy mineralizada cuyos cristales de hidroxiapatita son ricos en magnesio, carbonato y fosfato cálcico amorfo (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

- **Matriz Intertubular o Dentina Intertubular:** La matriz intertubular se distribuye entre las paredes de los túbulos dentinarios y su componente fundamental son las fibras de colágeno que constituyen una malla fibrilar en la cual se depositan los cristales de hidroxiapatita semejantes a los existentes en la dentina peritubular. En la matriz intertubular pueden detectarse todos los componentes que constituyen la materia orgánica de la dentina. Conforman el mayor componente de la dentina y representa el principal producto de los odontoblastos (Gómez de Ferraris y Campos, 2002. Ten Cate, 1986).

2) Unidades Estructurales Secundarias:

- Las unidades estructurales secundarias son aquellas que se originan a partir de las unidades estructurales básicas o como resultado de la interrelación de las unidades básicas con el esmalte o cemento periférico.
- Dichas estructuras son: las líneas incrementales, la dentina interglobular, la zona granulosa de Tomes, las líneas o bandas dentinarias de Schreger, la unión amelodentinaria y la cementodentinaria (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

Pulpa

Forma parte del complejo dentino-pulpar, que tiene su origen en la papila dental. Está formada por un 75% de agua y por un 25% de materia orgánica. Esta última está constituida por células y por una matriz extracelular representada por las fibras y la sustancia fundamental (Gómez de Ferraris y Campos, 2002. Ten Cate, 1986).

La cámara pulpar es una cavidad central en el interior de la dentina, que desde el punto de vista morfológico reproduce la forma del elemento dentario, por lo que cambia según la anatomía de los dientes. El tamaño de la cavidad pulpar disminuye con la edad por el depósito continuo de dentina secundaria y, también por la aposición localizada de dentina terciaria que se produce como respuesta ante distintos tipos de noxas (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

Componentes Estructurales de la Pulpa

Desde el punto de vista estructural la pulpa dental es un tejido conectivo de tipo laxo, ricamente vascularizado e innervado. En su periferia se ubican los odontoblastos (Gómez de Ferraris y Campos, 2002); estas células pertenecen tanto a la dentina como a la pulpa, pues sus prolongaciones citoplasmáticas se hallan en la dentina. Son responsables de la dentinogénesis. El odontoblasto es una pequeña fábrica con alta energía productiva (Barrancos, 1999).

El componente orgánico, está constituido por células y matriz extracelular representada por fibras y sustancia fundamental (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

Cemento

El cemento es un tejido conectivo mineralizado, derivado de la capa celular ectomesenquimática del saco o folículo dentario que rodea el germen dentario. A semejanza del esmalte, el cemento cubre la dentina, aunque sólo en la porción radicular. Tiene como función principal anclar las fibras del ligamento periodontal a la raíz del diente (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).

Componentes Estructurales del Cemento

1) Células:

- **Cementoblastos.**
- **Cementocitos.**
- **Otras células.**

2) Matriz Extracelular:

- La matriz extracelular del cemento contiene aproximadamente 46 a 50% de materia inorgánica, 22% de materia orgánica y 32% de agua (Gómez de Ferraris y Campos, 2002).
- Componentes inorgánicos: fosfato de calcio (cristales de hidroxiapatita) carbonato de calcio y oligoelementos (sodio, potasio, hierro, magnesio, azufre y flúor) Gómez de Ferraris y Campos, 2002.
- Componente orgánico: fibras de colágeno (tipo I), fibras intrínsecas (cementoblastos), fibras extrínsecas (fibras periodontales) y sustancia fundamental (proteoglicanos, glicosaminoglicanos y glicoproteínas) Gómez de Ferraris y Campos, 2002.

Capítulo VI: Propiedades Ópticas del Diente

Las propiedades ópticas de los dientes en relación con los materiales dentales, más importantes en restauración son: el color (croma, intensidad y valor), opacidad, translucidez, opalescencia y fluorescencia.

El comportamiento óptico del diente depende de las características de los tejidos que lo conforman y del color propio de éstos (Gaete, Muenta y Roman, 2006).

Propiedades Ópticas del Esmalte

Al llegar la luz al esmalte, una parte será reflejada, otra absorbida y finalmente una parte será transmitida a la dentina.

- 1) La parte reflejada sufre un proceso de reflexión especular acromática cuando la superficie del esmalte es perfectamente lisa. La reflexión será difusa cuando la superficie del esmalte sea irregular, lo que se traduce en un diente con menos brillo, pues la luz se reflejará en todas direcciones (Picossi, 1987).
- 2) La parte absorbida por el esmalte, cuando este posee algo de color en su estructura, y gracias a que actuaría como un cuerpo traslúcido (absorbiendo determinadas longitudes de onda) se dispersará en el interior (gracias a los prismas del esmalte), provocando un efecto de vidrio esmerilado iluminado. Los rayos de luz transmitidos a la dentina atraviesan como un abanico (González y Vidal, 2005).
- 3) La reflexión y la transmisión de la luz producida en el esmalte (que se considera acromático), pueden modificar el croma y el valor del diente. Aunque el esmalte otorgará sólo una dominancia azul en el conjunto total (Cattaruzza, 2002).

Otras propiedades Ópticas del Esmalte:

- 1) **Traslucidez:** Depende de la cantidad de sustancia orgánica que tenga un tejido; en el caso del esmalte esta característica se da por la baja cantidad de sustancia orgánica que posee (González y Vidal, 2005).
- 2) **Opalescencia:** 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. El fenómeno de opalescencia en dientes naturales, depende del tamaño de los cristales de hidroxiapatita que es menor que la longitud de onda de la luz incidente (Heller, 2001).
- 3) **Fluorescencia del Esmalte:** Según Spitzer y Bosch (1976) la mayor parte de la fluorescencia del esmalte es producida por un material orgánico inespecífico. El espectro fluorescente del esmalte natural tiene un ancho de banda que presenta un máximo de 450 nm y disminuye lentamente hasta los 680 nm (Monsénego y cols, 1993). Al factorizar, por la curva de sensibilidad del ojo (es decir como lo vería el ser humano) los datos

relacionados arrojaron que el peak de emisión de fluorescencia de esmalte se encuentra en 468 nm (color azul cercano al verde), siendo menor en intensidad que la dentina (Gaete, Munte y Roman, 2006). Figuras 17 y 18.

Propiedades Ópticas de la Dentina

La luz atraviesa el esmalte, se torna difusa, se filtra y se transmite a la dentina.

En el límite amelodentinario sufrirá los siguientes fenómenos:

- 1) Una parte de la luz se reflejará hacia el exterior en forma dispersa dada la irregularidad propia de la dentina y otra parte se absorberá (González y Vidal, 2005).
- 2) La luz reflejada será cromática del matiz, valor y croma que la dentina tenga, volverá a atravesar el esmalte y será nuevamente dispersada antes de salir al exterior (González y Vidal, 2005).

Fluorescencia de la Dentina

La fluorescencia propiedad objeto de estudio en esta tesis, depende fundamentalmente de la dentina, al respecto Dietschi, 1996 explica lo siguiente:

“Cuando los rayos ultravioletas inciden en los dientes se emite una luz fluorescente azulada producto de la excitación de fotosensibilidad de la dentina. La percepción cromática de fluorescencia es fuertemente influenciada por la luz solar. La energía que el diente absorbe se convierte en longitudes de onda mayores que van desde 400-500 nm (azul-violáceo). Este fenómeno se llama fluorescencia dentaria. La fluorescencia puede observarse mejor en la región media incisal y la región cervical”.

Ya en el pasado se observó que la dentina fluoresce más brillantemente que el esmalte cuando es sometida a una luz azulada. También, se observó la pérdida de fluorescencia en las manchas blancas propias de las caries incipientes (Benedict, 1928).

La intensidad de la fluorescencia de la dentina es mucho mayor que la del esmalte, se considera por distintos autores que esta, es 3 veces mayor que la del esmalte (Matsumoto y cols, 1999; Lee y cols, 2005; Monsénego y cols, 1993). Fluorescencia azul fue observada cuando la dentina fue irradiada con 365 nm, con un peak de 440 +/- 10 nm (Alfano y Yao, 1981; Lee y cols, 2005; Matsumoto y cols, 1999; Monsénego y cols, 1993).

En 1998, Banerjee y Boyde asumió que el cromóforo responsable de la fluorescencia dentinaria es orgánico; da como ejemplo que si fuera lo opuesto, puramente inorgánico, uno esperaría ver en dentina sana (especialmente áreas hipermineralizadas y esmalte) fluorescencia muy brillante y en dentina cariada y desmineralizada una fluorescencia mucho más reducida. Lo que no se logra determinar en su estudio, es si este cromóforo orgánico es componente de la matriz dentinaria original o corresponde a una molécula exógena aportada por el proceso de

caries. En caso de que el cromóforo sea endógeno (proteínas plasmáticas como albúmina y glicoproteína α 2-HS), este podría ingresar al tejido vía sistema circulatorio.

Estudios indican que la fluorescencia de la dentina humana reside en múltiples fluoróforos (Matsumoto y cols, 1999) que cubren un amplio rango de excitación y emisión, explicándose de esta forma los movimientos de los peaks de longitud de onda (Buchalla y cols. 2004). Estos fluoróforos podrían ser:

- Algunos minerales.
- Enlaces cruzados de colágeno reactivo.
- Piridinolina.
- Complejo hidroxiapatita- piridinolina.

Hafström-Björkman y cols en 1991, concluyeron que estos cromóforos inorgánicos fueron responsables de la mayor parte de estos peaks; y que la otra parte debe ser consecuencia de la fluorescencia de moléculas orgánicas.

Entonces la emisión de fluorescencia observada es una mezcla de al menos 3 fluorescencias derivadas de las correspondientes sustancias fluorescentes (Matsumoto y cols, 1999).

Factores que Interfieren en la Emisión de Fluorescencia del Diente

La fluorescencia inducida por luz en la dentina y esmalte es un fenómeno óptico causado por la absorción y emisión por parte de moléculas cromóforas dentro del tejido (Al-Khateeb y cols. 2002). Cuando se afecta la emisión esta se observará aumentada o disminuida, como consecuencia de:

- 1) **La edad del diente – paciente:** Algunos autores proponen que el aumento de la intensidad se debe a un mecanismo no-metabólico como podría ser una glicosilación no-enzimática (Matsumoto y cols, 1999).
- 2) **Angulación de la muestra.**
- 3) **Estructura dentaria:** la micromorfología del diente es determinante, dado que ésta difiere de muestra en muestra, por lo tanto la reflexión de la luz es difícil de controlar (Buchalla y cols, 2004).
- 4) **Hidratación:** En el esmalte la deshidratación altera las cualidades ópticas, tales como la dispersión de la luz y con ello la fluorescencia (Al-Khateeb y cols, 2002).
- 5) **Temperatura:** El aumento de la temperatura, implica un incremento en la intensidad, pero desde el punto de vista fisicoquímico y no biológico (por ejemplo una reacción enzimática (Matsumoto y cols, 1999).

- 6) **Color:** Existe una relación, color – edad – intensidad. A mayor edad, mayor color, lo que resulta en mayor intensidad según Kvaal y Sullveim, 1989.
- 7) **Caries:** La fluorescencia de la caries dentinaria y de esmalte tienen intensidad reducida en comparación con el tejido sano del mismo diente (Kvaal y Sullveim, 1989). Los minerales se pierden y son reemplazados por agua, la dispersión de la luz es mayor que en esmalte sano y por lo tanto, la fluorescencia es menor.
- 8) **Pérdida de cromóforos y amortiguación de la fluorescencia:** Debido a cambios en el entorno inmediato de moléculas cromofóricas (Van der Veen, ten Bosch 1995).

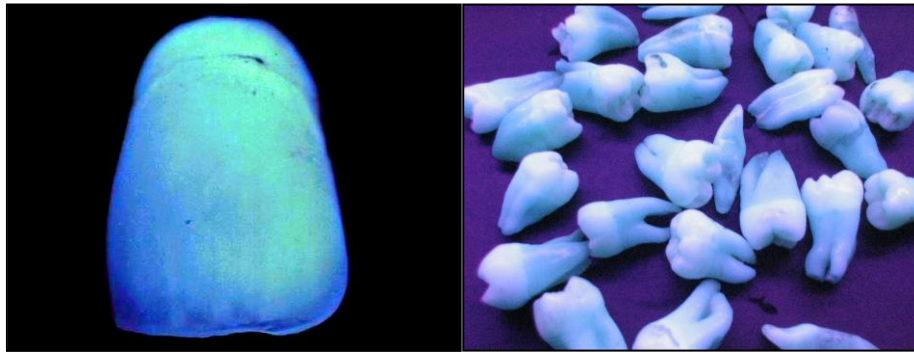


Fig. 17 y 18 Fluorescencia dentaria mediante estimulación por luz negra (Rubio, 2005).

Capítulo VII: Resinas Compuestas

“Materiales con una gran densidad de entrecruzamientos poliméricos, reforzados por una dispersión de sílice amorfo, vidrio, partículas de relleno cristalinas u orgánicas y/o pequeñas fibras que se unen a la matriz gracias a un agente de conexión” (Phillips, 2004).

Componentes Estructurales Básicos:

- 1) **Matriz:** material de resina plástica que forma una fase continua que contiene las partículas de relleno.
- 2) **Relleno:** fibras y/o partículas de refuerzo que se dispersan en la matriz. Sirven para fortalecer una resina compuesta, disminuir la expansión térmica, minimizar la contracción de polimerización y reducir el aumento de volumen provocado por la absorción de agua.
- 3) **Agente de conexión:** adhesivo que favorece la unión entre el relleno y la matriz de resina.
- 4) **Agentes iniciadores** (Phillips, 2004).

Matriz de Resina

La mayoría de las resinas emplean una mezcla de monómeros de dimetacrilato alifáticos y/o aromáticos, como la Bis-GMA (bisfenol glicidil metacrilato), uno de los ingredientes más utilizados, el trietilenglicol dimetacrilato (TEGDMA) y el dimetacrilato de uretano (UDMA). El UDMA, la bis-GMA y el TEGDMA son los ingredientes de la matriz de resina que más se emplean para formar estructuras de polímero entrecruzado en las resinas compuestas y sellantes.

Partículas de Relleno

La incorporación de partículas de relleno dentro de la matriz de resina mejora sustancialmente las propiedades del material, siempre que las partículas estén bien adheridas a la matriz. Si esto no ocurre, estas partículas no actúan como refuerzo sino como debilitadores del material. Debido a la importancia de una buena adhesión de las partículas de relleno, el uso de un agente de conexión eficaz es extremadamente importante para el éxito de un material de resina compuesta. Muchas de las propiedades de las resinas compuestas dentales se han mejorado gracias a un aumento de la carga del relleno (fracción volumétrica); estas son:

- 1) Refuerzo de la matriz de resina, que provoca una mayor dureza, resistencia y una disminución del desgaste.
- 2) Reducción de la contracción de polimerización.
- 3) Reducción de la expansión y contracción térmica.
- 4) Aumento de la viscosidad y por ello mejora de su manipulación (el monómero líquido más el relleno dan lugar a una consistencia pastosa).

- 5) Disminución en la absorción de agua, menor reblandecimiento y tinción (en comparación con las resinas sin relleno).
- 6) Aumento de la radiopacidad y de la sensibilidad diagnóstica gracias a la incorporación de cristales de estroncio (Sr) y bario (Ba) y otros metales pesados que absorben los rayos X.
- 7) La contracción de fraguado está en relación directa con la fracción volumétrica del relleno (carga).
- 8) Bajo coeficiente de expansión térmica, muy cercana a los tejidos dentarios, lo que se traduce en menos tensión en la interfase.
- 9) Incremento de las propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, y aumento en el módulo de elasticidad (rigidez); también aumenta la resistencia a la abrasión.

Las partículas de relleno se producen generalmente por pulverizado o triturado de cuarzo o cristales para obtener partículas de un tamaño que oscila entre los 0,1 y 100 μm . Las partículas de sílice, por debajo del tamaño de la micra, de tamaño coloidal (aprox. 0,04 μm), conocidas como microrrelleno o individualmente como micropartículas, se obtienen por un proceso de precipitación o pirólisis. En estos procesos, un compuesto de sílice se quema en una atmósfera de O_2 y H_2 para formar cadenas de macromoléculas de SiO_2 . Estas moléculas son de tamaño coloidal y constituyen las partículas de relleno inorgánico (Phillips, 2004).

Los factores importantes que determinan las propiedades y la aplicación clínica de las resinas compuestas son, el tamaño, la distribución, el índice de refracción, la radiopacidad y la dureza del relleno. En general, las resinas compuestas se clasifican en función del tamaño medio del componente principal del relleno (Phillips, 2004).

Agentes de Conexión

Es esencial que las partículas de relleno se adhieran a la matriz de resina. Esto permite que el polímero de la matriz, que es más flexible, transfiera las tensiones a las partículas de relleno que presentan un módulo más alto (más rigidez). La adhesión entre las dos fases de la resina compuesta la produce el agente de conexión. Un agente de conexión adecuado mejora las propiedades mecánicas, físicas y evita la filtración de agua a lo largo de la interfase resina-relleno.

A pesar de que se pueden emplear titanatos y zirconatos como agentes de conexión, los que se emplean con más frecuencia son los organosilanos, como el γ - metacriloxipropil trimetoxisilano. En presencia de agua, los grupos metoxi ($-\text{OCH}_3$) se hidrolizan a grupos silanol ($-\text{Si-OH}$) que se adhieren con otros grupos silanol de las superficies del relleno mediante una unión siloxano ($-\text{Si-O-Si}$). Los grupos metacrilato organosilano forman uniones covalentes con la resina cuando se polimerizan, completando así todo el proceso de conexión. La conexión adecuada mediante organosilanos es vital para las propiedades clínicas de los materiales de restauración a base de resinas compuestas (Phillips, 2004).

Agentes Iniciadores

En los sistemas de activación fotopolimerizables, una luz visible con longitud de onda que varía de 450 a 500 nm (region azul) excita las canforquinonas u otra diquetona (que son los agentes iniciadores), ocasionando una interacción reactiva con una amina terciaria no aromática. El resultado inmediato de un sistema iniciador es la formación de un radical libre, que es un compuesto muy reactivo por presentar un electrón sin par. Cuando este radical libre encuentra un monómero resinoso con conexiones dobles de carbono (c=c), forma un par con uno de los electrones de la conexión doble, dejando los demás miembros del par libre igualmente reactivo (González y Vidal, 2005).

Resina Compuesta Fotopolimerizable

Resina compuesta con relleno de partículas formada por una única pasta que se polimeriza mediante un sistema de iniciación sensible a la luz y activado por luz visible azul. Las resinas compuestas fotopolimerizables se suministran en una sola pasta que está dentro de una jeringa que impide la exposición a la luz. Mientras que los componentes no estén expuestos a la luz, no interactúan.

La canforquinona (CQ) es un agente fotosensible que se emplea comúnmente y que absorbe la luz azul con una longitud de onda entre 400 y 500 nm (rango de fotoabsorción). Se precisa muy poca cantidad de CQ (0,2% o menos en peso de la pasta). Los iniciadores de amina que se requieren para interactuar con la CQ, como el dimetil aminoetil metacrilato (DMAEMA), también se deben encontrar en una baja proporción, aproximadamente 0,15% en peso (Phillips, 2004).

Clasificación de las Resinas Compuestas

Se pueden clasificar en función del tamaño y la distribución de las partículas de relleno, pero puede haber solapamiento y otros subgrupos en la categoría de resinas híbridas (Phillips, 2004).

Tabla I: Clasificación actual de resinas compuestas.

TIPO DE RESINA COMPUESTA	TAMAÑO DE PARTICULA	USO CLINICO
Tradicional (partícula grande)	1-50 μm vidrio.	Zonas de gran tensión.
Híbrido (partícula grande)	(1) 1-20 μm vidrio. (2) 0,04 μm sílice.	Zonas de gran tensión que requieren una gran calidad en el pulido (clases I, II, III y IV).

Híbrido (partícula mediana)	(1) 0,1-10 μm vidrio. (2) 0,04 μm sílice.	Zonas de gran tensión que requieren una gran calidad en el pulido (clases III y IV).
Híbrido (partícula pequeña/PP)	(1) 0,1-2 μm vidrio. (2) 0,04 μm sílice.	Zonas de tensión moderada que requieren un pulido óptimo (clases III y IV).
Híbrido condensable	Híbrido de partícula pequeña o media pero con una baja fracción de relleno.	Situaciones que necesitan una mejor condensabilidad (clases I y II).
Híbrido fluido	Híbrido de partícula media pero con una distribución más fina en el tamaño de las partículas.	Situaciones en las que se necesita una mejor fluidez o donde es difícil el acceso (clase II).
Microrrelleno homogéneo	0,04 μm sílice.	Zonas de baja tensión y área subgingival que requieren un mayor acabado y pulido.
Microrrelleno heterogéneo	(1) 0,04 μm sílice (2) partículas de resina prepolimerizadas que contienen sílice de 0,04 μm de tamaño.	Zonas de baja tensión y área subgingival donde es esencial una reducción en la contracción.

Clasificación según el tipo de carga utilizada (Chain y Baratieri, 2001):

- 1) **Resinas de macropartículas:** El tamaño de las partículas varía entre 15 a 100 micrómetros (μm). Actualmente están en desuso y ya no se encuentran en el mercado.
- 2) **Resinas de micropartículas:** Tienen un tamaño de alrededor de 0,04 μm .
- 3) **Resinas híbridas:** Estas resinas poseen tanto micro como macropartículas de carga, con características de ambas. Las resinas híbridas se subdividen según el tamaño de sus partículas en:
 - **Híbridas pesadas:** Contienen 80% de carga en peso.

- **Híbridas de pequeñas partículas:** Sus “macro” partículas poseen un promedio de tamaño que varía entre 1 y 5 μm . Los composites híbridos de pequeñas partículas contienen cantidades de micropartículas que varían entre 10 y 15%.
- **Híbridas de minipartículas o micro híbridos:** Los agentes de carga son menores de 1 μm (0,6 – 0,8 μm), siendo las mayores partículas de 2 μm de tamaño máximo.

Otra forma de clasificar las resinas compuestas está basada en la composición del relleno (Dietschi & Spreafico, 1998), que en primer lugar las clasifica en:

1) **Monomodal:** Cuando sólo tiene un tipo de relleno:

- Macrorrelleno.
- Pequeña partícula esférica.
- Microrrelleno homogéneo.
- Microrrelleno heterogéneo.

2) **Bimodal:** Cuando tienen más de un tipo de relleno:

- Híbrido.
- Híbrido fino.

Según el tejido al que restauran (González y Vidal, 2005):

- 1) Resinas compuestas de esmalte.
- 2) Resinas compuestas de dentina.

Resina Compuesta Híbrida

Resina constituida por una mezcla de partículas de relleno de sílice pequeñas y coloidales que obtiene un balance óptimo entre las propiedades de resistencia, contracción de polimerización, resistencia al desgaste y pulido.

Esta categoría de resinas compuestas surgió en un esfuerzo por obtener superficies más lisas que las obtenidas con las resinas compuestas de partícula pequeña, pero intentando no perder las propiedades beneficiosas de estas últimas.

Hay dos clases de partículas de relleno en este tipo de materiales. Las partículas de relleno más modernas las constituyen el sílice coloidal y partículas de vidrio triturado que contienen metales pesados, lo que las hace tener un contenido total de relleno de aproximadamente 75-80% en peso. Estos cristales tienen un tamaño de partícula medio entre 0,4 y 1 μm , y se pretende que se mejore gracias a la reducción de estos tamaños. La distribución típica es del 75% de las partículas trituradas con un tamaño menor a 1 μm . El sílice coloidal representa de 10 a 20% en peso del contenido total del relleno. En este caso, el microrrelleno también interviene de una manera importante en las propiedades. El menor tamaño de las partículas, así como la gran

cantidad de las mismas, hace que se aumente la superficie, por tanto, el contenido total de este relleno no es tan alto como en algunas resinas compuestas de partículas pequeñas.

Las propiedades físicas y mecánicas de estos materiales normalmente oscilan entre las resinas compuestas tradicionales y las de partículas pequeñas. Pero estas propiedades suelen ser superiores a las resinas de microrrelleno. Como las partículas de relleno contienen átomos de metales pesados, tienen suficiente radiopacidad como para la detección radiográfica de caries secundarias y otros tipos de diagnósticos radiológicos.

Resina Compuesta Microhíbrida

Representan el siguiente paso en la evolución del tratamiento y distribución de partículas. Si bien, son híbridos, su carga es de tamaño menor a $0,7 \mu\text{m}$, que es lo mínimo invisible para el ojo humano y constituyen el tamaño de partícula óptimo. Las excelentes propiedades mecánicas se logran gracias al resinterizado y el tratamiento del relleno inorgánico, que equilibrado con los pigmentos y opacificadores, logran una variada gama de matices y opacidades importantes (Wakefield, 2001).

Consideraciones Clínicas de Resinas Compuestas Híbridas

Debido a su superficie lisa y a su buena resistencia, estos compuestos tienen un amplio uso en las restauraciones de dientes anteriores, incluyendo las preparaciones de clase IV. Aunque las propiedades mecánicas de las resinas compuesta híbridas son generalmente inferiores a las de las resinas de partículas pequeñas, a menudo se emplean las resinas compuestas híbridas para restauraciones posteriores sometidas a tensión. Debido a que hay muy poca diferencia práctica entre las resinas compuestas híbridas y las de partículas pequeñas, estos términos se suelen intercambiar para describir ambos materiales. Desde un punto de vista clínico, esta confusión en la terminología carece de importancia.

Sistemas Resinosos Modernos

Actualmente se han desarrollado diversos sistemas de restauración cuya característica principal es la utilización de diferentes tonos y matices pero aplicados a resinas compuestas con funciones diferentes, tales como los esmaltes, las dentinas y los opacos. Todo esto con el fin de imitar a perfección la estética dental y su comportamiento óptico. Describiremos a continuación los sistemas de resinas compuestas que se analizarán en el presente estudio.

Las características que deben poseer este tipo de materiales consideran los siguientes aspectos (Manuales Técnicos):

- 1) Alto pulido (facilidad y longevidad).
- 2) Estética (amplios tonos con múltiples opacidades y fluorescencia).
- 3) Manejo no pegajoso, esculpible, resistente al desmoronamiento.
- 4) Propiedades físicas superiores (mecánicas, físicas y ópticas).
- 5) Bajo desgaste (similar a esmalte).
- 6) Mínima absorción de agua.

Las resinas compuestas microhíbridas que utilizaremos en este estudio son: Esthet-X, Ceram X, TPH³ (Dentsply), 4 Seasons (Ivoclar-Vivadent), Altus (Confidental), Miris, Swiss Tec, Synergy Duo Shade (Coltene-Whaledent), Vitalscence, Amelogen Plus (Ultradent).

Lámparas de Polimerización

La mayoría de las lámparas de polimerización son dispositivos manuales que contienen una fuente lumínica equipada con una guía rígida de luz, de corto tamaño y que está compuesta por múltiples haces de fibra óptica. Otras pocas tienen la unidad de tensión conectada con una pieza de mano a través de un cordón largo, flexible y con un relleno líquido que dirige la luz. En la actualidad, las fuentes de luz que más se emplean son las bombillas de cuarzo con filamento de tungsteno en un ambiente halógeno (ampolletas halógenas). Recientemente se han introducido otros tipos de luces (Phillips, 2004).

Tipos de Lámparas empleadas en la Fotopolimerización

Se pueden emplear cuatro tipos de lámparas para la fotoiniciación del proceso de polimerización. De menor a mayor intensidad, rango de 400 a 500 nm (Phillips, 2004):

- 1) **Lámparas LED.**
- 2) **Lámparas QTH.**
- 3) **Lámparas PAC.**

Fluorescencia de las Resinas Compuestas

La fluorescencia que se da principalmente por el componente ultra violeta presente en la luz de día tiene una importante contribución para su apariencia. Por lo tanto, para reproducir la apariencia natural de la estructura dentaria, los materiales restauradores directos e indirectos deben tener características ópticas similares. Si la calidad del material es baja, cuando es sometido a la luz oscura, la luz negra o la luz ultravioleta, quedará evidente su baja propiedad fluorescente (Dietschi, 1997; Magne, 1997).

Los componentes básicos de los materiales restauradores no fluorescen, pero esa calidad es alcanzada al agregar componentes fluorescentes a las resinas compuestas y cerámicas (Vanini, 1996).

Los materiales restauradores dentinarios son en general opacos, porque están cargados de pigmentos de color que obstruyen la penetración de la luz. La saturación cromática es la primera causa de la opacidad y falta de vitalidad de las restauraciones de resina compuesta en relación con la dentición. Con el uso correcto del grado de pigmentos que son fotosensibles al espectro UV, el material puede absorber la energía en la forma de ondas cortas (ondas UV) y activar los átomos con la composición (Vanini, 1996; Dietschi, 2001).

La excitación es seguida por el regreso al estado fundamental con la emisión subsiguiente de luz. Esta emisión no debería estar solamente limitada a la capa superficial; emana desde el

aspecto interno del material y crea un resultado estético que se asemeja a la apariencia de un diente natural (Vanini, 1996; Dietschi, 2001).

Hay en el mercado una gran variedad de resinas compuestas, tanto híbridas, microhíbridas como de micropartículas, las cuales son verdaderos sistemas de restauración directa que presentan resinas opacas, dentinarias y de esmalte, cada una de ellas con un grado de translucidez diferente (Dietschi, 1997; Magne, 1997). En el caso de la fluorescencia, algunas de ellas no la presentan o la presentan en un grado muy bajo. En otras, la fluorescencia puede manifestarse en grado mayor. Ese hecho es determinado por su comportamiento ante los rayos UV.

En 2002, R. Baeza y cols. realizaron un estudio acerca de la fluorescencia de resinas compuestas de obturación directa. Compararon visualmente con odontólogos restauradores en ejercicio de la profesión, un canino extraído recientemente con las resinas compuestas de obturación directa, disponibles en el momento. Utilizaron luz U.V. (tubo fluorescente negro) y un cuarto oscuro. Establecieron una tabla de grados de fluorescencia donde en promedio el diente natural obtuvo 6.0, la marca Synergy 7.7, Esthet-X 7.2, TPH Spectrum 5.8, Tetric Ceram 5.2, Heliomolar 4.3, Filtek P60 3.0, Z100 2.7, Filtek Z250 2.7, Glacier 2.0 y Filtek A110 1.8.

El seminario de tesis “Evaluación del efecto de fluorescencia en resinas compuestas”, realizado en 2003, comparó dientes de personas en un rango de edad de 20 a 25 años, con las resinas compuestas disponibles en el mercado chileno. Se postuló que las resinas tenían fluorescencia similar a las resinas, lo que fue desmentido por el estudio (Poblete, 2003).

En un trabajo realizado (Gomes et al., 2004), se evaluaron 13 (trece) marcas comerciales disponibles en el mercado, surgiendo la siguiente tabla de clasificación de las resinas compuestas, según el grado de fluorescencia, en esmalte y/o dentina (Tabla II).

En algunos sistemas restauradores resinosos, podemos encontrar la ausencia o un bajo grado de fluorescencia, tanto en la resina opaca como en la de dentina, y de esmalte, resultando en la confección de una restauración totalmente evidente ante la luz UV. La fluorescencia se da por la resina de dentina, no importando su grado. La resina de esmalte, por su vez, no presenta esta propiedad. Así, una restauración con resina de esmalte cubriendo la resina de dentina no presentará fluorescencia, ya que la última capa cubre la fluorescencia de la resina de dentina. En otra situación donde la resina de dentina no posee fluorescencia o en bajo grado y la resina de esmalte posee, se puede observar que el resultado final será una restauración con fluorescencia en virtud de la última capa, no influenciando la ausencia de fluorescencia de la resina de dentina. En algunos sistemas resinosos, la fluorescencia está presente en diferentes grados tanto en dentina como esmalte. En este caso, hay dos situaciones: una en la que la fluorescencia estará dada por la última capa, independientemente de la dentina; la otra situación es la mezcla de ambas fluorescencias determinando una fluorescencia intermedia, donde la resina de dentina presenta un grado mayor que la del esmalte, esto se debe principalmente al grado de traslucidez que presenta la resina de esmalte. En este caso, la resina de esmalte va a actuar como un modificador de la fluorescencia dada por la resina de dentina (Miyashita, 2005).

Tabla II: Análisis visual de fluorescencia de resinas compuestas.

DETERMINACION DEL GRADO DE FLUORESCENCIA DE LAS RESINAS COMPUESTAS SEGÚN SU VALOR DE COLOR		
Marca comercial o fabricante	Dentina	Esmalte
Glacier (SDI)	Baja	Baja
Esthet-X (Dentsply)	Media	Alta
Vitalescence (Ultradent)	Alta	Alta
Miris	Alta	Alta
Synergy (Coltène)	Media	*
Filtek Supreme (3M/ESPE)	Baja	Baja
Tetric Supreme (Vivadent)	Media	Media
Concept (Vigodent)	Alta	Alta
Amelogen (Ultradent)	Alta	Alta
Filtek A110 (3M/ESPE)	Baja	Baja
Charisma (Heraeus-Kulzer)	Baja	*
TPH spectrum (Dentsply)	Media	*
In Ten-S (Ivoclar-Vivadent)	Alta	*
* No testeadas		

Capítulo VIII: Instrumentación

Espectrometría

Según Skoog, 2001, hay tres grandes tipos de métodos espectrométricos para identificar los elementos presentes en la materia y determinar sus concentraciones:

- 1) **Espectrometría óptica:** los elementos de la muestra se convierten en átomos o iones elementales en estado gaseoso por medio de un proceso de atomización. De esta manera se mide la absorción ultravioleta/visible, la emisión o fluorescencia de las especies atómicas en el vapor.
- 2) **Espectrometría de masas:** las muestras también se atomizan, sin embargo, los átomos en estado gaseoso se convierten en iones positivos y se separan en función de su relación masa/carga.
- 3) **Espectrometría de rayos X:** no se necesita atomizar, ya que para la mayoría de los elementos, los espectros de Rayos X son independientes de cómo se encuentren dichos elementos combinados químicamente en una muestra. Las medidas pueden, por tanto, realizarse en la medida directa del espectro de fluorescencia, absorción o emisión de la muestra.

Instrumentos para Medir la Fluorescencia

Los dos instrumentos más utilizados en el estudio de la fotoluminiscencia son:

- 1) Fluorómetros.
- 2) Espectrofluorímetro.

Casi todos los instrumentos para medir la fluorescencia utilizan óptica de doble haz para compensar las fluctuaciones en la potencia de la fuente. El funcionamiento de estos instrumentos se resume en que el haz de la muestra pasa por distintos componentes, en el siguiente orden (Skoog, 2001):

- 1) **Filtro o Monocromador de Excitación:** Transmite la radiación que provocará la fluorescencia pero excluye o limita la radiación de la longitud de onda de la emisión fluorescente.
- 2) **Fotodetector:** Aquí llega la radiación emitida después de haber pasado por un segundo filtro o monocromadores que aíslan la fluorescencia para su medida.
- 3) **Atenuador:** Reduce la potencia del haz de referencia aproximadamente a la de la radiación fluorescente.

- 4) **Amplificador Diferencial:** Luego de pasar por el fotomultiplicador, las señales de la muestra y las de referencia se dirigen aquí cuya salida se visualiza en un medidor o en un registro.

La fluorescencia se propaga a través de la muestra a todas direcciones; en principio puede observarse desde cualquier ángulo. En la práctica se ocupan tres geometrías diferentes (Ewing, 1978; Skoog, 2001):

- 1) El ángulo de 90° es, desde el punto de vista del diseño, el más adecuado.
- 2) En ángulo pequeño, la solución está tan concentrada que la absorción fluorescente se obtiene mayoritariamente cerca de la superficie irradiada. La ventaja de este método es que la radiación necesita atravesar pequeños espesores, por la concentración de sustancias.
- 3) La construcción lineal interna es la más conveniente, ya que a partir de las mediciones se van a hacer deducciones teóricas, porque las ecuaciones involucran pocos índices de aproximación.

Componentes

- 1) **Lámparas:** La más común para los fluorómetros de filtro es la lámpara de arco de mercurio a baja presión ocupada con una ventana de sílice fundida, que emite a 254, 302, 313, 546, 578, 691 y 773 nm. Para los espectrofluorímetros se utiliza una lámpara de arco de xenón de alta presión de 75 a 450 W. Estas lámparas requieren de fuentes de alimentación potente, capaz de producir corrientes continuas de 5 a 20 A° y de 15 a 30 V. El espectro de una lámpara de arco de xenón es continuo desde aproximadamente 300 a 1300 nm (Skoog, 2001).
- 2) **Láser:** En vez de lámparas se pueden utilizar láseres en casos de muestras muy pequeñas, sensores de control remoto o cuando se necesita una radiación de excitación altamente monocromática para minimizar los efectos de las interferencias fluorescentes (Skoog, 2001).
- 3) **Filtros y Monocromadores:** Para seleccionar la longitud de onda del haz de excitación y de la radiación resultante (Skoog, 2001).
- 4) **Detectores:** Los más utilizados son los tubos fotomultiplicadores, los cuales recuentan los fotones para mejorar la señal/ruido (señal es la información de interés y ruido es la información ajena indeseada). Para los espectrofluorímetros, los detectores de diodo en serie y de transferencia de carga son una buena alternativa ya que este tipo de detectores permite el registro rápido de los espectros de excitación y de emisión y particularmente son útiles en cromatografía y en electroforesis (Skoog, 2001).
- 5) **Celdas:** De vidrio común cuando la radiación que se maneja es de rango visible; para ultravioleta es necesario utilizar sílice o cuarzo. Las celdas pueden ser cilíndricas o

rectangulares. El diseño debe ser cuidado para reducir la cantidad de radiación dispersa que llega al detector (Skoog, 2001).

Diseño del Espectrofluorímetro

Los espectrofluorímetros son de dos tipos:

1) **De filtro único:** Utilizan un filtro adecuado para seleccionar la radiación de excitación y monocromador de red o de prisma para obtener el espectro de fluorescencia (Skoog, 2001).

2) **De dos monocromadores:** Uno de ellos permite variar la longitud de onda de excitación y otro permite obtener el espectro de emisión. Si se efectúan las correcciones adecuadas para compensar las variaciones de la intensidad de la señal de la salida de la fuente y de la respuesta del detector en función de la longitud de onda, se obtiene un espectro de excitación absoluto que es muy semejante al espectro de absorción. Estas dos imágenes son especulares una de la otra, ya que las diferencias de energía vibracional, para los estados electrónicos fundamental y excitado, son más o menos las mismas. La radiación que procede del primer monocromador se divide en dos: una parte se dirige al fotomultiplicador de referencia y la otra hacia la muestra. La radiación fluorescente resultante, después de ser dispersada por el primer monocromador, se detecta en el segundo monocromador (Skoog, 2001).

Los espectrofluorímetros suministran espectros de emisión satisfactorios para analizarlos cuantitativamente. Sin embargo, los espectros de emisión no son necesariamente comparables con los otros instrumentos, ya que la señal de salida depende no sólo de la intensidad de la fluorescencia, sino también de las características de la lámpara, monocromador y detectores. Todas estas características instrumentales varían con la longitud de onda y difieren de un instrumento a otro. Se recomienda calibrar el instrumento con una muestra a la que se le conoce su espectro de absorción y emisión, lo que permite estandarizar las mediciones diarias. Actualmente se trabaja en instrumentos que proporcionen un espectro corregido, en donde la parte instrumental no influya sobre la emisión final (Ewing, 1978; Skoog 2001). Figura 19 (ANEXO 3).

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Hipótesis:

“Las resinas compuestas microhíbridas comercializadas en Chile tienen emisión de fluorescencia similar a los tejidos dentarios”

Objetivos:

1. Objetivo General:

- Evaluar in vitro las características de fluorescencia de dientes definitivos sanos (premolares) extraídos por indicación ortodóncica, en la Quinta región de Valparaíso durante el año 2007.
- Evaluar la fluorescencia de cuerpos de prueba de resinas compuestas microhíbridas comercializadas en Chile.

2. Objetivos Específicos:

- Comparar las áreas bajo las curvas entre los dientes y los cuerpos de prueba de resinas microhíbridas.
- Comparar el peak de emisión de fluorescencia de los dientes con las principales resinas microhíbridas utilizadas en Chile.
- Comparar las áreas bajo las curvas entre las diferentes marcas comerciales.
- Comparar las áreas bajo las curvas entre los colores de las resinas compuestas microhíbridas y los premolares.
- Determinar la proporcionalidad entre las áreas bajo las curvas de los dientes y las áreas bajo las curvas de las resinas compuestas microhíbridas.

MATERIALES Y METODOS

Se realizó un estudio experimental, comparativo e in vitro entre dos grupos muestrales. El primer grupo correspondió a 124 muestras de diferentes composites microhíbridos comercializados en Chile. Cada muestra fue confeccionada con un patrón metálico (diseñado según especificaciones de la ADA) que permite obtener muestras de 8 mm de diámetro y 1 mm de grosor. Al momento de fotopolimerizar las resinas compuestas se posicionaron en una loseta de vidrio para evitar la capa inhibida y lograr así una superficie completamente pulida. Cada muestra fue polimerizada durante 40 segundos a través del vidrio con una lámpara de fotocurado *Prolux 570*, a una potencia de 600 mw/cm². Para su conservación se guardaron en sobres transparentes rotulados, en cajas plásticas transparentes con compartimentos individuales.

Tabla III: Resinas compuestas microhíbridas a evaluar.

	MARCA COMERCIAL	COLOR	ABREVIACIÓN	FABRICANTE
001	Esthet-X	A1	EA1	Dentsply
002	Esthet-X	A2	EA2	Dentsply
003	Esthet-X	A3	EA3	Dentsply
004	Esthet-X	A3.5	EA3.5	Dentsply
005	Esthet-X	A4	EA4	Dentsply
006	Esthet-X	B1	EB1	Dentsply
007	Esthet-X	B2	EB2	Dentsply
008	Esthet-X	B3	EB3	Dentsply
009	Esthet-X	B5	EB5	Dentsply
010	Esthet-X	C1	EC1	Dentsply
011	Esthet-X	C2	EC2	Dentsply
012	Esthet-X	C3	EC3	Dentsply
013	Esthet-X	C4	EC4	Dentsply
014	Esthet-X	C5	EC5	Dentsply
015	Esthet-X	D2	ED2	Dentsply
016	Esthet-X	D3	ED3	Dentsply
017	Esthet-X	UNIVERSAL		Dentsply
018	Esthet-X	W/ BLANCO		Dentsply
019	Esthet-X	XL		Dentsply
020	Esthet-X	W-O		Dentsply
021	Esthet-X	A2-O		Dentsply
022	Esthet-X	A4-O		Dentsply
023	Esthet-X	B2-O		Dentsply
024	Esthet-X	C1-O		Dentsply
025	Esthet-X	C4-O		Dentsply
026	Esthet-X	D3-O		Dentsply
027	Esthet-X	C-E		Dentsply
028	Esthet-X	W-E		Dentsply
029	Esthet-X	Y-E		Dentsply

030	Esthet-X	A-E		Dentsply
031	Esthet-X	G-E		Dentsply
MARCA				
COMERCIAL	COLOR	ABREVIACIÓN	FABRICANTE	
032	4 Seasons	A1 ENAMEL		Ivoclar-Vivadent
033	4 Seasons	A1 DENTIN		Ivoclar-Vivadent
034	4 Seasons	A2 ENAMEL		Ivoclar-Vivadent
035	4 Seasons	A2 DENTIN		Ivoclar-Vivadent
036	4 Seasons	A3 ENAMEL		Ivoclar-Vivadent
037	4 Seasons	A3 DENTIN		Ivoclar-Vivadent
038	4 Seasons	B2 ENAMEL		Ivoclar-Vivadent
039	4 Seasons	B2 DENTIN		Ivoclar-Vivadent
040	4 Seasons	C3 ENAMEL		Ivoclar-Vivadent
041	4 Seasons	C3 DENTIN		Ivoclar-Vivadent
042	4 Seasons	BLEACHXXL		Ivoclar-Vivadent
043	4 Seasons	WHITE		Ivoclar-Vivadent
044	4 Seasons	CLEAR		Ivoclar-Vivadent
045	4 Seasons	BLUE		Ivoclar-Vivadent
046	4 Seasons	LOW		Ivoclar-Vivadent
047	4 Seasons	MEDIUM		Ivoclar-Vivadent
048	4 Seasons	HIGH		Ivoclar-Vivadent
MARCA				
COMERCIAL	COLOR	ABREVIACIÓN	FABRICANTE	
049	Altus	A1		Confi Dental
050	Altus	A2		Confi Dental
051	Altus	A3		Confi Dental
052	Altus	B1		Confi Dental
053	Altus	B2		Confi Dental
054	Altus	B3		Confi Dental
055	Altus	C2		Confi Dental
MARCA				
COMERCIAL	COLOR	ABREVIACIÓN	FABRICANTE	
056	Swiss Tec	A1 ENAMEL		Coltene-Whaledent
057	Swiss Tec	A2 ENAMEL		Coltene-Whaledent
058	Swiss Tec	A3 ENAMEL		Coltene-Whaledent
059	Swiss Tec	A3,5 ENAMEL		Coltene-Whaledent
060	Swiss Tec	B2 ENAMEL		Coltene-Whaledent
061	Swiss Tec	D3 ENAMEL		Coltene-Whaledent
MARCA				
COMERCIAL	COLOR	ABREVIACIÓN	FABRICANTE	
062	Vitaescence	DENTINA A1	VA1	Ultradent
063	Vitaescence	DENTINA A2	VA2	Ultradent
064	Vitaescence	DENTINA A3	VA3	Ultradent

065	Vitaescence	DENTINA A3,5	VA3,5	Ultradent
066	Vitaescence	DENTINA A4	VA4	Ultradent
067	Vitaescence	DENTINA A5	VA5	Ultradent
068	Vitaescence	DENTINA B1	VB1	Ultradent
069	Vitaescence	DENTINA B2	VB2	Ultradent
070	Vitaescence	TRANS FROST (T-1)		Ultradent
071	Vitaescence	TRANS SMOKE (T-2)		Ultradent
072	Vitlaescence	TRANS MIST (T-3)		Ultradent
073	Vitaescence	TRANS YELLOW (T-4)		Ultradent
074	Vitaescence	TRANS ICE (T-5)		Ultradent
075	Vitaescence	TRANS AMBER (T-6)		Ultradent
076	Vitaescence	TRANS ORANGE (T-7)		Ultradent
077	Vitaescence	TRANS BLUE (T-8)		Ultradent
078	Vitaescence	TRANS GRAY (T-9)		Ultradent
079	Vitaescence	PEARL FROST (P-1)		Ultradent
080	Vitaescence	PEARL NEUTRAL (P-2)		Ultradent
081	Vitaescence	PEARL SMOKE (P-3)		Ultradent
082	Vitaescence	PEARL AMBER (P-4)		Ultradent
083	Vitaescence	OPAQUE WHITE (O-1)		Ultradent
084	Vitaescence	OPAQUE SNOW (O-2)		Ultradent
085	Vitaescence	IRB		Ultradent
MARCA COMERCIAL				FABRICANTE
		COLOR	ABREVIACIÓN	
086	Amelogen P	A1		Ultradent
087	Amelogen P	A2		Ultradent
088	Amelogen P	A3		Ultradent
089	Amelogen P	A3,5		Ultradent
090	Amelogen P	A4		Ultradent
091	Amelogen P	A5		Ultradent
092	Amelogen P	B1		Ultradent
093	Amelogen P	C2		Ultradent
MARCA COMERCIAL				FABRICANTE
		COLOR	ABREVIACIÓN	
094	Ceram X	A1 , B1		Dentsply
095	Ceram X	A2 , B2		Dentsply
096	Ceram X	A3 , D3		Dentsply
097	Ceram X	A3,5 , B3 , B4		Dentsply
098	Ceram X	A4 , C4		Dentsply
099	Ceram X	C1 , D2		Dentsply
100	Ceram X	C2 , C3 , D4		Dentsply
MARCA COMERCIAL				FABRICANTE
		COLOR	ABREVIACIÓN	
101	Miris	ENAMEL NEUTRAL TRANS		Coltene-Whaledent

102	Miris	ENAMEL IVORY TRANS		Coltene-Whaledent
103	Miris	ENAMEL IVORY REGULAR		Coltene-Whaledent
104	Miris	ENAMEL NEUTRAL REGULAR		Coltene-Whaledent
105	Miris	ENAMEL WHITE REGULAR		Coltene-Whaledent
106	Miris	ENAMEL WHITE BLEACH		Coltene-Whaledent
107	Miris	DENTIN SHADE 1		Coltene-Whaledent
108	Miris	DENTIN SHADE 2		Coltene-Whaledent
109	Miris	DENTIN SHADE 3		Coltene-Whaledent
110	Miris	DENTIN SHADE 4		Coltene-Whaledent
111	Miris	DENTIN SHADE 5		Coltene-Whaledent
112	Miris	DENTIN SHADE 6		Coltene-Whaledent
113	Miris	DENTIN SHADE 7		Coltene-Whaledent
114	Miris	EFFECT BLUE		Coltene-Whaledent
MARCA				
COMERCIAL		COLOR	ABREVIACIÓN	FABRICANTE
115	TPH ³	A2		Dentsply
116	TPH ³	A3		Dentsply
117	TPH ³	A3,5		Dentsply
118	TPH ³	B2		Dentsply
119	TPH ³	YE		Dentsply
MARCA				
COMERCIAL		COLOR	ABREVIACIÓN	FABRICANTE
120	Synergy Duo Shade	A1/D2		Coltene-Whaledent
121	Synergy Duo Shade	A2/B2		Coltene-Whaledent
122	Synergy Duo Shade	A3/D3		Coltene-Whaledent
123	Synergy Duo Shade	A3,5/B3		Coltene-Whaledent
124	Synergy Duo Shade	C2/C3		Coltene-Whaledent

El segundo grupo correspondió a 30 premolares, obtenidos en diferentes centros de salud dental en la quinta región, recolectados en forma aleatoria entre los meses de Enero a Mayo de 2007. Los criterios para la selección de la muestra fueron los siguientes:

- Dientes sanos.
- Dientes extraídos por indicación ortodóncica.
- Dientes de pacientes de sexo masculino y de sexo femenino.
- Dientes de pacientes con un rango de edad entre 12 y 18 años.
- Dientes sin hipocalcificaciones.
- Dientes sin hipoplasias.
- Dientes sin alteraciones genéticas.
- Dientes sin tinciones intrínsecas o extrínsecas.
- Dientes sin restauraciones.

Al momento de la recolección, se recopilaron en frascos de plástico individuales rotulados (con tapa) en cuyo interior contenían suero fisiológico. Luego los frascos eran conservados en

ambiente frío dentro del refrigerador, para evitar la descomposición. Cada uno de los dientes fue cortado a nivel del tercio apical con una piedra de diamante troncocónica de alta velocidad, se los limpió con agua y ultrasonido y se procedió a su despulpamiento en forma retrógrada a través del conducto radicular utilizando alta velocidad y extractores pulpares de endodoncia, con la finalidad de evitar la posibilidad de tinciones intrínsecas por la degradación de restos pulpares.

Días próximos a las mediciones, se obtuvo una muestra de esmalte-dentina, al cortar la cúspide vestibular de cada premolar siguiendo como límites (en sentido sagital) el surco principal en oclusal y el límite amelocementario (en sentido horizontal); con este fin se utilizó alta velocidad y una piedra de diamante troncocónica de grano grueso. Cada muestra individual (cúspides), fue medida con un calibrador de metales para determinar su grosor; luego se conservaron en un frasco plástico con tapa, rotulado y con agua destilada. Se obtuvieron los siguientes rangos:

Tabla IV: Edad y características de la muestra dentaria.

EDAD	Nº DE PMS SUPERIORES	Nº DE PMS INFERIORES	Nº TOTAL DE 1ºS PMS
11	2	2	4
12	8	4	12
13	2	4	6
14	4	2	6
15	2	0	2
TOTAL	18	12	30

Para medir el espectro de emisión de fluorescencia se utilizó el espectrofluorímetro ISS K2, Multifrequency Phase Fluorometer del año 2005 del departamento de Química y Ciencias Matemáticas de la casa central de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, bajo la supervisión y colaboración del profesor Dr. Patricio Sotomayor.

Como el espectrofluorímetro está diseñado para analizar muestras de soluciones, utiliza como portamuestras celdas de cuarzo, de 1 cm de ancho por 1 cm de largo y 3,5 de alto. Para realizar nuestro análisis, utilizamos un portamuestras de similares medidas pero con la capacidad para soportar cuerpos sólidos confeccionado en acrílico Marché (pintado de negro para evitar interferencias luminosas). Las muestras de dientes se clasificaron de acuerdo a su edad, grosor y tipo. Mientras que las resinas compuestas se clasificaron de acuerdo a marca y color. Utilizando el portamuestras procedimos a realizar las mediciones de las 124 muestras de composite y de los 30 cortes de dientes en el espectrofluorímetro, cuyo haz de excitación fue calibrado a una longitud de onda de 360 nm, registrándose los resultados entre 380 y 650 nm, esto es porque en este rango se observa el fenómeno fluorescente del tejido dentario y porque a los 380 nm comienza el espectro visible. El amperaje utilizado fue de 12,5 (lámpara).

Los datos arrojados por el espectrofluorímetro fueron procesados por el software Vinci Analysis, el cual arrojó resultados en forma de curvas de emisión de fluorescencia para cada uno de los 30 dientes de muestra y cada una de las 124 resinas compuestas. Cada curva luego fue ingresada como datos al software Microsoft Excel donde se creó una base de datos completa cuyas variables corresponden a longitud de onda, intensidad y D.E. (que no se utilizó en el

estudio). Luego la base de datos fue ingresada al software Origin 6.0 en el cual nuevamente se obtienen curvas de emisión de fluorescencia con la particularidad de que se puede calcular: área bajo la curva, peak de intensidad, y datos no relevantes para el estudio como ancho y alto de la curva. Posteriormente utilizando el software Microsoft Excel y los valores para la curva de sensibilidad del ojo (visibilidad escotópica) para cada longitud de onda, se procedió a factorizarlos (multiplicarlos) con cada una de las variables de los 154 datos de las curvas de emisión. Esto se hace para obtener el comportamiento clínico (es decir, la forma en que discerniría el ojo humano). Posteriormente se realizó un análisis descriptivo de los dientes y las resinas compuestas en estudio, para ello se tabularon las variables y además se obtuvieron gráficos utilizando el software estadístico Stata 9.2. Finalmente se realizaron las comparaciones experimentales, utilizando el test no paramétrico de Mann – Whitney (debido a que la normalidad rara vez se cumplió), de los datos con y sin factorizar.

RESULTADOS

Analizadas las muestras con el espectrofluorímetro, y tabulados los datos arrojados por el software Vincy Analysis nos propusimos realizar primero un estudio descriptivo de ambas muestras, para luego, realizar un estudio experimental donde podamos obtener datos concretos de las comparaciones de ambos grupos muestrales y sus variables; a continuación los detalles:

Información relativa a Premolares

Tabla V: Distribución del tipo de primer premolar.

Tipo de diente	Frecuencia	Porcentaje
1er. Premolar superior	20	66,67
1er. Premolar inferior	10	33,33
Total	30	100,00

La Tabla V muestra la distribución de los tipos de primer premolar, superior o inferior, para los 30 premolares examinados. Se puede ver que los premolares se desglosan en un 66,67% para los superiores y un 33,33% para los inferiores.

Información relativa a las Resinas Compuestas

La variable que permite obtener información con respecto a la resina compuesta es la “Marca Comercial”. La Tabla VI muestra la distribución de las marcas comerciales de las 124 resinas compuestas utilizadas en el estudio, donde se puede apreciar que la marca que tiene una mayor representación es “Esthet-X” (25%), en segundo lugar aparece “Vitaescence” (19,35%) y en tercero “4 Seasons” (13,71%). En cambio, las marcas menos utilizadas en el estudio son “TPH3” y “Synergy Duo Shade”, ambas con una representación del 4,03%. Otras marcas con bajo peso en la muestra son “Swiss Tec” (4,84%), “Altus” y “Ceram X” (ambas con 5,65%).

Tabla VI: Distribución de las marcas comerciales de resina compuesta.

Marca	Frecuencia	Porcentaje
TPH3	5	4,03
4 Seasons	18	13,71
Esthet-X	30	25,00
Swiss Tec	6	4,84
Vitaescence	24	19,35
Altus	7	5,65
Amelogen P	8	6,45
Ceram X	7	5,65
Miris	14	11,29
Synergy Duo Shade	5	4,03

Áreas bajo la Curva de Intensidad

Cada premolar y cada resina compuesta permitió trazar una curva a la cual se le calculó el área con ayuda del software Origin v6.0. Los gráficos generados se encuentran en el ANEXO 1.

La Tabla VII muestra los promedios y las desviaciones estándar de las áreas bajo todas las curvas de intensidad generadas en los 30 premolares y en las 124 resinas disponibles, respectivamente, tanto para el caso factorizado como para el sin factorizar. Numéricamente los valores son elevados y muestran a primera vista que, en promedio, las áreas para los premolares tienden a ser superiores que las áreas de las resinas en ambos casos (con y sin factorizar). Además, se puede detectar que en el caso factorizado las áreas que encierran las curvas, en promedio, son menores debido al ajuste que se realiza al ponderar los valores de la intensidad con los de la curva de sensibilidad del ojo (visibilidad escotópica).

Tabla VII: Estadísticas descriptivas de las áreas calculadas bajo la curva de intensidad de fluorescencia de los premolares y resinas compuestas, respectivamente, tanto en el caso sin factorizar como factorizado.

Estadística descriptiva	Sin factorizar		Con factorizar	
	Premolar	Resina compuesta	Premolar	Resina compuesta
Promedio	7844603,28	4253687,42	3471189,38	1985052,07
Desv.Est.	1,00x10 ⁷	1,03x10 ⁷	4321429,71	4718714,09

Para lograr determinar si existe una diferencia significativa entre las áreas promedio de los premolares y las resinas compuestas, se utilizó el test no paramétrico de Mann – Whitney, sugerido por Hollander & Wolfe (1998), cuyos resultados se encuentran en el ANEXO 2 (A1) Para el caso sin factorizar el test indicó que existe suficiente evidencia para afirmar que, en promedio, el área relativa a los premolares difiere significativamente del área asociada a las resinas compuestas microhíbridadas, con una probabilidad de error inferior al 1% (p-valor = 0,0016). Mientras que en el caso factorizado la conclusión es idéntica, con una probabilidad de error extremadamente baja (cerca a 0).

Tabla VIII: Estadísticas descriptivas de las áreas calculadas bajo la curva de intensidad de fluorescencia de los primeros premolares inferiores y superiores, respectivamente, tanto en el caso sin factorizar como factorizado.

Estadística descriptiva	Sin factorizar		Con factorizar	
	1er. premolar inferior	1er. premolar superior	1er. premolar inferior	1er. premolar superior
Promedio	9051540,89	7241134,47	3837325,40	3288121,36
Desv.Est.	7937954,47	11041973,16	3071426,37	4891744,47

Al analizar que sucede con los premolares superiores e inferiores por separado, con las resinas compuestas (comparación de áreas promedio bajo las curvas de intensidad) se utilizaron las estadísticas mostradas en la Tabla VIII para el tipo de premolar y en la Tabla VII para las resinas compuestas microhíbridadas. Los resultados del test estadístico no paramétrico se muestran en el ANEXO 2 (A3) e indican que, tanto para el caso sin factorizar como con factorizar, existe evidencia significativa para afirmar que las áreas promedio asociadas a los premolares superiores e inferiores, respectivamente, difieren significativamente del área relativa a las resinas compuestas, con un 6% de error. Puede surgir el interés de comparar el tipo de primer premolar con las respectivas marcas comerciales de resinas compuestas, pero se determinó que no existen

diferencias significativas entre ellos, así que sólo se considerará a los premolares como un todo ANEXO 2 (A2).

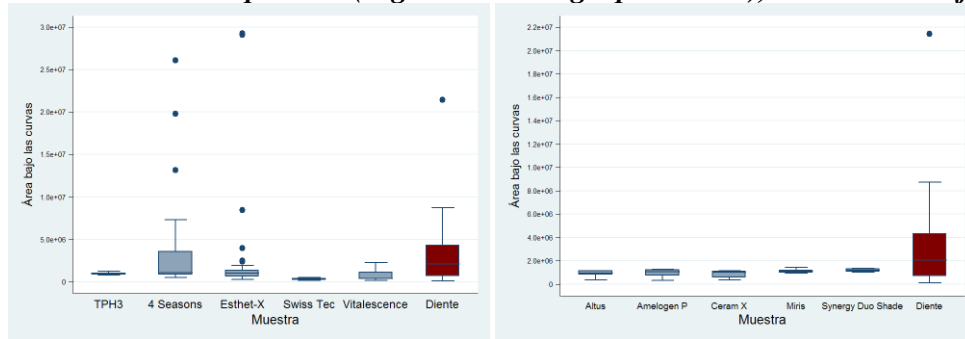
Al realizar el cálculo del área bajo la curva de intensidad en las resinas compuestas, existe la posibilidad de desglosar de acuerdo a la marca comercial de las mismas. En la Tabla IX, se puede apreciar el área promedio bajo la curva de intensidad de fluorescencia para cada una de las 10 marcas de resinas compuestas microhíbridas utilizadas en el estudio, tanto en el caso sin factorizar como en el factorizado. Se puede ver que la mayor área promedio en el caso sin factorizar es lograda por la marca “4 Seasons” seguida de “Esthet-X”. En cambio, la marca que arrojó una menor área promedio fue “Swiss Tec”, siendo antecedida por “Vitaescence” y “Ceram X”. Se debe señalar, además, que el patrón mencionado sigue siendo válido aún en el caso factorizado, como queda de manifiesto en la misma Tabla IX.

Tabla IX: Estadísticas descriptivas del área bajo la curva de intensidad de fluorescencia para cada marca de resina, en el caso sin factorizar y factorizado.

Marca	Sin factorizar		Con factorizar	
	Promedio	Desv. Est.	Promedio	Desv. Est.
4 Seasons	10257962,19	1,03x10 ⁷	4877347,62	7618291,08
Esthet-X	6850312,18	1,58x10 ⁷	3148901,33	7107440,98
Swiss Tec	1043406,34	599251,50	326423,55	114285,30
Vitaescence	1482921,90	1219018,00	720828,30	617668,28
Altus	2286886,04	868477,10	908752,49	277560,93
Amelogen P	2012819,31	634602,70	941442,24	330487,53
Ceram X	1898100,88	682462,70	869382,03	296457,75
Miris	2272092,47	281652,80	1120183,22	152936,27
Synergy Duo Shade	2329919,25	185705,30	1178831,04	136978,87
TPH3	2001057,63	391809,20	960397,18	172030,50

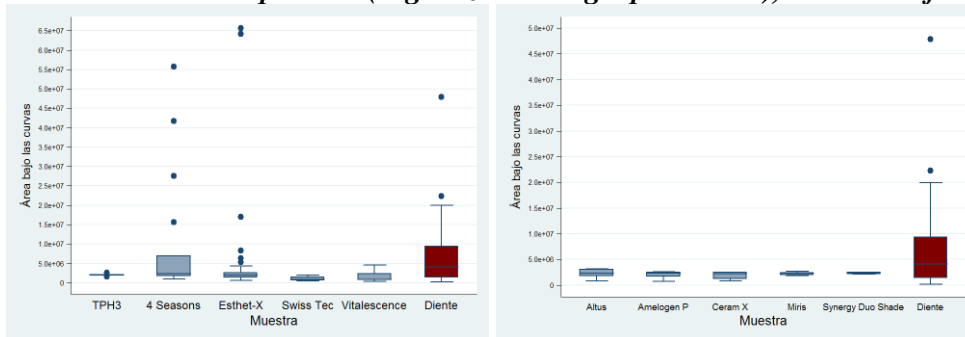
Similar a la comparación realizada entre los promedios asociados a los premolares y al conjunto total de las resinas respectivamente, para comparar cada una de las marcas con los premolares se trabajará con el mismo test no paramétrico de Mann – Whitney; los resultados del test se encuentran detallados en el ANEXO 2 (A4). Para el caso sin factorizar el test indicó que no existe evidencia suficiente para dudar de la igualdad, en promedio, del área relativa a los premolares y del área asociada a las siguientes marcas comerciales de resinas compuestas: 4 Seasons, Altus, Synergy Duo Shade y TPH3 (p-valores en ANEXO 2-A4-). En cambio, el test indicó que existen diferencias significativas entre el área asociada a los premolares y las relativas a las marcas: Swiss Tec, Vitaescence y Miris. Todas las decisiones fueron hechas tomando una significación del 5%. Sin embargo, existen tres marcas comerciales cuyas áreas se puede decir que difieren significativamente con el área asociada a los premolares, con una probabilidad de error inferior al 10%, y éstas son: Esthet-X, Amelogen P y Ceram X. Se recomienda, además, observar el Gráfico 1 para visualizar las comparaciones.

Gráfico 1: Cajones con bigotes de las áreas promedio de los premolares (dientes) y las marcas comerciales de resinas compuestas (organizadas en grupos de a 5), en el caso sin factorizar.



Al trabajar con el caso factorizado se tiene que no se puede establecer diferencias significativas entre las áreas de las resinas y de los premolares para las marcas: 4 Seasons, Synergy Duo Shade y TPH3. En cambio, las marcas comerciales que arrojan evidencia significativa, con un 5% de error, en la diferencia entre las áreas de las resinas y de los premolares son: Swiss Tec, Vitalescence, Altus, Amelogen P, Ceram X y Miris. En el caso de la marca Esthet-X se puede establecer que existe diferencia entre su área y la de los premolares con una probabilidad de error inferior al 10%. Se recomienda, además, observar el Gráfico 2 para visualizar las comparaciones.

Gráfico 1: Cajones con bigotes de las áreas promedio de los premolares (dientes) y las marcas comerciales de resinas compuestas (organizadas en grupos de a 5), en el caso factorizado.



Longitud de Onda que genera Intensidad Máxima

La intensidad medida para las distintas longitudes de onda del espectro visible para cada uno de los premolares y resinas compuestas muestran un máximo (peak de emisión), tanto para el caso sin factorizar como para el factorizado (ver gráficos en ANEXO 1). Dichos valores de intensidad máxima (peak de emisión) son generados para un valor particular de la longitud de onda.

Tabla X: Estadísticas descriptivas para las longitudes de onda que generaron la intensidad máxima en los gráficos de intensidad, para el caso sin y con factorizar.

Estadística descriptiva	Sin factorizar		Con factorizar	
	Premolar	Resina compuesta	Premolar	Resina compuesta
Promedio	448,47nm	440,08nm	483,03nm	468,52nm
Desv.Est.	14,16	10,47	9,83	9,94
Coef. variación	3,16%	2,38%	2,04%	2,12%
Mínimo	428nm	396nm	466nm	456nm
Máximo	486nm	454nm	500nm	506nm

La Tabla X muestra las estadísticas descriptivas de las longitudes de onda que generaron la intensidad máxima en las gráficas de intensidad de los premolares y la resinas, respectivamente, tanto para el caso sin factorizar como con factorizar. A primera vista se puede ver que las longitudes de onda de los premolares que generan máxima intensidad se muestran siempre, en promedio, por sobre las longitudes asociadas a las resinas en ambos casos (con y sin factorizar).

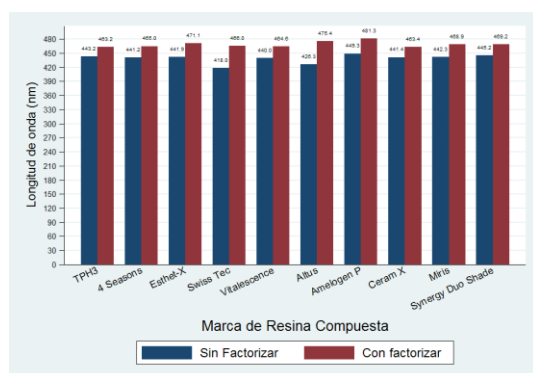


Gráfico 3: Longitud de onda promedio que genera intensidad máxima de la resina compuesta, detallado según marca comercial y caso sin y con factorizar, respectivamente.

Por otro lado, la Tabla X muestra que las longitudes de onda que generan intensidad máxima se acrecientan al momento de factorizarlas, pues los mínimos y los máximos de los premolares y las resinas aumentan sus valores respectivos.

Al desglosar por marca comercial las longitudes de onda promedio que generan intensidad máxima de las resinas compuestas, el Gráfico 3 muestra que para el caso factorizado las longitudes de onda tienden a aumentar en todas las marcas. Además, muestra que las longitudes de onda más cortas en el caso sin factorizar se producen en las marcas “Swiss Tec” y “Altus” y las longitudes de onda más largas se producen en las marcas “Amelogen P” y “Synergy Duo Shade”. En cambio, al factorizar las intensidades se tiene que, en promedio, las longitudes de onda más cortas se producen en “TPH3” y “Ceram X” y las longitudes más extensas en “Amelogen P” y “Altus”.

Finalmente, al comparar, en promedio, la longitud de onda de los premolares con la longitud de onda de cada marca comercial, el test no paramétrico de Mann – Whitney (ver

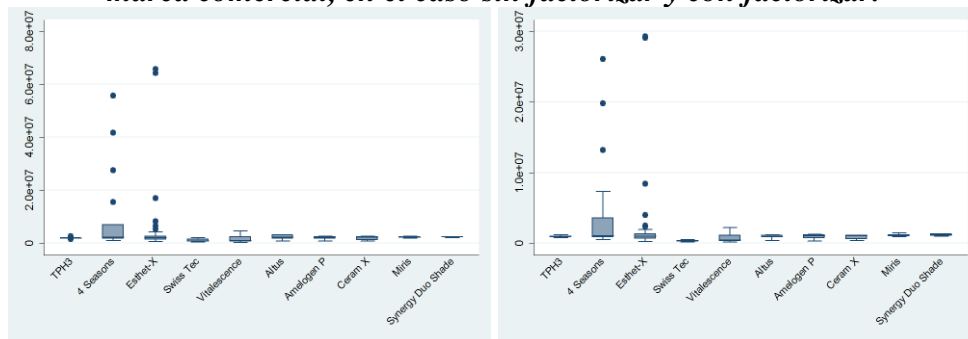
ANEXO 2 –B1-) indica que para el caso sin factorizar, la longitud de onda promedio de los premolares sólo se puede establecer como distinta de la longitud de onda promedio de las marcas “4 Seasons”, “Swiss Tec”, “Vitaliance” y “Altus”, con una probabilidad de error inferior al 9 %. Mientras que, para el caso factorizado, únicamente se puede establecer la igualdad de la longitud de onda de los premolares con la de la marca “Amelogen P”. Es decir, todas las marcas comerciales de resina compuesta en el caso factorizado (excepto “Amelogen P”) tienen una longitud de onda promedio estadísticamente distinta a la longitud de onda promedio de los premolares, con una probabilidad de error inferior al 9% sólo en el caso de “Altus”, las otras marcas comerciales tienen probabilidades de error inferiores al 1%.

Comparación del Área bajo la curva de Intensidad entre las Marcas Comerciales de Resina Compuesta

Para comparar entre las distintas marcas comerciales de resina compuesta se trabajó con las estadísticas descriptivas mostradas en la Tabla IX.

En el caso sin factorizar, el Gráfico 4 deja en evidencia que las marcas “4 Seasons” y “Esthet-X” presentan una alta variabilidad, lo cual contribuye a que, en promedio, difieran respecto a las restantes marcas comerciales de resina compuesta. Luego, focalizando la atención en el caso con factorización, el Gráfico 5 muestra que las áreas bajo la curva de intensidad presentan el mismo comportamiento que en el caso sin factorizar (Gráfico 4). Ello conduce a que nuevamente las marcas “4 Seasons” y “Esthet-X” presenten, en promedio, una diferencia respecto a las marcas restantes de resina.

Gráfico 4 y 5: Gráficos de cajones con bigotes del área bajo la curva de intensidad para cada marca comercial, en el caso sin factorizar y con factorizar.



Comparación entre las Áreas bajo la curva de Intensidad de los Premolares y los Colores que tuvieron al menos 2 representantes en la Muestra

Para comparar el área promedio bajo la curva de intensidad entre los colores que aparecen en al menos 2 marcas y el de los premolares se utilizó el test no paramétrico de Mann – Whitney (1998), cuyos resultados se encuentran en el ANEXO 2 (B2). Las estadísticas descriptivas relativas a los premolares se pueden visualizar en la Tabla VII.

Tabla XI: Área promedio bajo la curva de intensidad para cada uno de los colores que tuvo en la muestra al menos 2 representantes.

Color	Obs.	Sin factorizar		Con factorizar	
		Promedio	Desv. Est.	Promedio	Desv. Est.
A1	3	2274067,92	88275,44	975598,75	141903,52
A2	4	1938022,81	333179,80	935170,11	192851,56
A3	4	2530865,50	370154,23	1185617,64	141452,33
A3.5	3	2190096,29	686845,27	1037375,88	310805,43
A4	2	1582282,56	1183282,65	776761,98	648301,86
B1	3	2129165,23	1108098,56	885338,93	396327,32
B2	3	1641636,63	781841,49	751935,86	342596,65
B3	2	2058763,59	1577542,37	794926,59	462240,17
C2	3	1700957,92	222360,61	815144,94	171294,14
Y-E	2	33069383,63	44008075,16	15030854,75	19869971,02

La Tabla XI muestra que el color “Y-E” es el que presenta una mayor área promedio bajo la curva de intensidad, tanto para el caso factorizado como para el no factorizado. En cambio, el color que muestra en el caso sin factorizar una menor área promedio es “A4” y para el caso factorizado es “B2”.

Al momento de comparar las áreas promedio de los colores con la de los premolares, el test indicó que para el caso no factorizado no se pueden establecer diferencias significativas entre las áreas. En cambio, al considerar el caso factorizado el test detecta diferencias importantes entre las áreas promedio de los premolares y de los colores “A1”, “A2”, “B2”, “Y-E” y “C2”, con un 9% de error; en los colores restantes existe evidencia para seguir estableciendo la igualdad promedio de las áreas de los colores y de los premolares.

Determinar la proporcionalidad entre las Áreas bajo las curvas de Intensidad, entre los Dientes y las Resinas Compuestas Microhíbridas

Tabla XII: Proporción área diente/resina en el caso sin factorizar y factorizado.

Datos	Proporción
Sin factorizar	1,84
Con factorizar	1,75

En la Tabla XII se puede decir que la emisión de fluorescencia de los dientes en el caso sin factorizar es 1,84 veces mayor que la de las resinas compuestas en total, y para el caso factorizado es 1,75 veces mayor.

Tabla XIII: Proporción área diente/marca en el caso sin factorizar y factorizado.

Marca	Sin factorizar	Con factorizar
4 Season	0,76	0,71
Esthet-X	1,15	1,10
Swiss Tec	7,52	10,63
Vitalescence	5,29	4,82

Altus	3,43	3,82
Amelogen P	3,90	3,69
Ceram X	4,13	3,99
Miris	3,45	3,10
Synergy Duo Shade	3,37	2,94
TPH3	3,92	3,61

En la Tabla XIII se puede ver que la menor proporción en el caso de los no factorizados y factorizados se da con la marca "4 Season", donde los dientes en estudio son 0,76 veces mayor y 0,71 veces mayor respectivamente, y la mayor proporción es entre estos con la marca Swiss Tec donde son 7,52 veces mayor en el caso sin factorizar y 10,63 veces mayor en el caso factorizado.

DISCUSIÓN

Existiendo pocas investigaciones al respecto, poca, confusa o nula información por parte de las marcas comerciales, poca ingeniería aplicada (software o hardware) específicamente al problema en estudio; nos enfocamos a determinar cuales de las resinas presentes en el mercado chileno tienen fluorescencia similar a los dientes al ser estimulados por luz UV artificial.

La investigación realizada abarcó dos tipos de mediciones, que arrojaron datos sin factorizar (espectrofluorímetro) y con factorizar (mediante la multiplicación con los valores de la curva escotópica de sensibilidad del ojo). La factorización se hizo porque la aplicación clínica de nuestra investigación se da en ambientes con poca luz donde predomina la función de las células ópticas “bastones”; en cambio el “espectrofluorímetro” responde con la misma sensibilidad a todas las longitudes de onda, según Gaete, Munte y Roman 2006. Ahora, según Poblete 2003 el ojo humano será el instrumento con que contará el odontólogo a la hora de seleccionar la resina adecuada para la estética de cada caso clínico en particular.

Se decidió considerar el tejido dentario como un todo, efectuándose las mediciones sobre una superficie del diente compuesta por esmalte y dentina. Esto fue realizado considerando que Gaete, Munte y Roman en 2006, determinaron que existen diferencias altamente significativas, tanto al considerar el peak de longitud de onda, como la intensidad, “siendo el esmalte de una longitud de onda mayor y de intensidad menor en comparación con la dentina”; lo anterior tanto de forma factorizada y no factorizada. Clínicamente esto significa que la fluorescencia total emitida por un diente tendremos a percibirla como un todo, nuestro cerebro no separa esmalte de dentina al momento de observar la fluorescencia. Además, Picossi en 1987 y Cataruzza en 2002 consideran que siendo el esmalte acromático, la reflexión y transmisión de la luz no modifican la fluorescencia, pero si el croma y el valor.

En promedio, cabe resaltar, que las áreas bajo las curvas de intensidad en los premolares tienden a ser superiores que las áreas de las resinas compuestas microhíbridas en ambos casos (con y sin factorizar por la curva escotópica de visión del ojo humano). Específicamente desde el punto de vista del ojo humano la intensidad sería mayor en los dientes en estudio, lo que difiere de Baeza y cols. en 2002 que en su análisis utilizando el ojo entrenado de “odontólogos clínicos en ejercicio de la práctica profesional” determinó que hay (o había en algunos casos) resinas compuestas que presentan mayor, similar o menor fluorescencia. Sin embargo, nuestros resultados concuerdan con Poblete, 2003 donde las resinas compuestas en estudio no poseen una fluorescencia similar a la del diente al ser expuestas a la luz U.V. y con Gomes et al. 2004 donde las 13 resinas compuestas evaluadas tampoco son similares (Alta, Media o Baja fluorescencia). Las diferencias existentes con las investigaciones citadas las atribuimos a que en ellas no se usaron sólo resinas microhíbridas, no se utilizaron en algunos casos las marcas comercializadas en Chile, luego, en dos de los casos sólo se usó la visión directa de ojos de clínicos entrenados (sin espectrofluorímetro calibrado, ni factorizando con la curva de visibilidad), a lo que hay que sumar que en un caso, como patrón, sólo se utilizó un diente para la comparación.

En relación a las resinas compuestas, la mayor área promedio bajo la curva de intensidad de fluorescencia comparando cada una de las diez marcas de resinas, en el caso sin factorizar es lograda por la marca 4 Seasons (10257962,19) seguida de Esthet-X (6850312,18). En cambio la

menor área promedio fue Swiss Tec (1043406,34). El patrón mencionado sigue siendo válido aún factorizadamente (4 Seasons con 7618291,08; Esthet-X con 3148901,33 y Swiss Tec con 326423,55). Entonces, según los valores promedio entregados, la marca de resina compuesta microhíbrida más fluorescente es 4 Seasons seguida de Esthet-X y la menos fluorescente es Swiss Tec. Al respecto, en los estudios más cercanos con estos resultados encontramos lo siguiente: Baeza y cols. 2002 determinaron que Esthet-X obtuvo el segundo valor más alto al compararlas con las demás resinas que ellos estudiaron, para el mismo producto, Gomez et al., 2004 determinaron que se encuentra en el grupo de las resinas consideradas con fluorescencia media – alta. Como inferencia podemos rescatar que es muy común el uso de Esthet-X como resina y por eso esta presente en todos los estudios mencionados en nuestro seminario. En general con estos postulados entendemos que hay pocos estudios que comparen características equivalentes cuantitativa y cualitativamente.

Cuando comparamos la emisión de fluorescencia de cada una de las marcas con el promedio de emisión de fluorescencia de los premolares, el test no paramétrico de Mann – Whitney arrojó que para el caso donde no se factorizó (por la curva de visibilidad del ojo) son iguales al área bajo la curva de fluorescencia de los premolares, las siguientes marcas: 4 Seasons, Altus, Synergy Duo Shade y TPH3. En cambio el test dice que hay diferencias significativas entre el área asociada a los premolares y las relativas a los productos Swiss Tec, Vitalescence y Miris. Al utilizar un ponderado del 10% también son diferentes Esthet-X, Amelogen Plus y Ceram X. Cuando factorizamos, no se pueden establecer diferencias significativas entre las áreas de las resinas y de los premolares para los productos 4 Seasons, Synergy Duo Shade y TPH3. Si arrojan diferencias con los premolares: Swiss Tec, Vitalescence, Altus, Amelogen Plus, Ceram X y Miris. Resumiendo, siempre son parecidas las mediciones para 4 Seasons, Synergy y TPH3 con los premolares en estudio. Para Gomez et al. 2004 que determinó el grado de fluorescencia basado en el valor del color, Synergy y TPH se consideran de fluorescencia media (entonces son similares al diente según su escala). Por otro lado, Baeza y cols. 2002 determinaron que Synergy fue superior en fluorescencia al diente natural, mientras que TPH es muy similar.

Las longitudes de onda de los premolares que generan máxima intensidad se muestran siempre, en promedio, por sobre las longitudes asociadas a las resinas (con y sin factorizar), lo que significa que los premolares tienen un peak de emisión superior al peak de las resinas compuestas, esto en valores está representado por: Caso sin factorizar; peak de premolares 448,47 nm; peak de resinas compuestas 440,08 nm (considerando los valores mínimos y máximos esto se traduce en rango violeta/azul). Caso con factorizar; peak de premolares 483,03 nm; peak de resinas compuestas 468,52 nm (considerando los valores mínimos y máximos esto se traduce en rango azul/verde). Cuando los peaks, se factorizan, se acrecientan tanto en promedio como en cada una de las marcas; o sea, el ojo lo percibe menos intenso y de un color característico. En promedio las longitudes de onda más cortas, se producen en TPH3 (463,2 nm rango azul) y Ceram X (463,4 nm rango azul), mientras que las más largas en Amelogen P (481,3 nm rango azul) y Altus (475,4 nm rango azul). Ahora, al momento de comparar en promedio el peak de los premolares con cada peak de las marcas comerciales y al usar el test no paramétrico de Mann – Whitney se tiene que en los promedios sin factorizar la longitud de onda de los premolares es diferente a 4 Seasons, Swiss Tec, Vitalescence y Altus; mientras que cuando se utiliza la factorización los premolares son iguales a Amelogen P (481,3 nm rango azul), es decir el ojo humano no distinguiría entre la máxima emisión de fluorescencia de los premolares y la resina

compuesta Amelogen P. Para Gomez et al. 2004 Amelogen en comparación con otras resinas compuestas posee un rango de fluorescencia alta. Para Poblete, 2003 la marca Amelogen posee colores indicados, desde el punto de vista fluorescente, y otros no indicados para restaurar dientes anteriores; vale destacar que en ambos estudios no se determinó el peak emisión. Gaete, Muenté y Roman en 2006 calcularon un peak promedio factorizado de 468 nm (rango azul cercano a verde) para esmalte y 461 nm para dentina (rango azul); luego al comparar con nuestros resultados (peak promedio factorizado 483,03 nm) nos damos cuenta de que también visualmente nos encontramos en el rango azul y aproximadamente 20 nm del verde.

Comparando el área bajo la curva de intensidad entre las marcas comerciales, sin factorizar los datos, queda en evidencia que las marcas 4 Seasons y Esthet-X difieren a las demás marcas comerciales; lo anterior se repite de la forma factorizada. Entonces, veríamos mayor emisión de fluorescencia en esas dos marcas y las demás serían parecidas entre sí. Esto se podría explicar tal vez por una búsqueda de la estética por parte de las marcas a la vez que buscan diferenciarse del resto. Para Baeza y cols. 2002 Esthet-X posee una valoración fluorescente 1,2 puntos (escala de 1 a 10) mayor al diente, a la vez que posee una mayor fluorescencia que el resto de las marcas evaluadas exceptuando a Synergy. Sólo 2 componentes de Esthet-X en el estudio de Poblete, 2003 no son aptos en fluorescencia para ser utilizado en restauración de dientes anteriores.

En detalle, al comparar el área bajo la curva de intensidad de los premolares y los colores que tuvieron al menos dos representantes en la muestra, primero, el color Y-E es el que presenta una mayor área promedio bajo la curva de intensidad (caso factorizado y sin factorizar); la menor área promedio sin factorizar es A4 y en forma factorizada B2. Luego, en segundo lugar, al hacer la comparación de los promedios de las áreas bajo la curva entre premolares y colores; en el caso factorizado, difieren A1, A2, B2, Y-E y C2; los demás colores poseen igualdad promedio con los premolares en estudio. No encontramos una comparación similar en otros estudios, la más parecida es la hecha por Poblete, 2003; en ese estudio un mismo color de diferentes marcas podía ser considerado o no estéticamente apto para una restauración en dientes anteriores.

Finalmente, en cuanto a la proporcionalidad del área bajo la curva de intensidad entre los dientes y las resinas compuestas microhíbridas, en este estudio, los dientes sin factorizar son 1,84 veces mayores en cuanto a fluorescencia que las resinas compuestas, mientras que de forma factorizada son mayores 1,75 veces. Luego, la resina compuesta más cercana al diente en forma proporcional (0,76 y 0,71 veces respectivamente) es 4 Season, mientras que la más diferente es Swiss Tec (7,52 y 10,63 veces respectivamente). Para Baeza y cols. 2002 el canino que sirvió de guía para evaluar la fluorescencia con respecto a las resinas compuestas fue menor en esta característica que el 20% de las resinas y superior al 80% del resto. En Poblete 2003 el 77,7% de las resinas compuestas poseen un promedio de fluorescencia inferior a los dientes evaluados y sólo el 22,2% de ellas fue superior en promedio que la fluorescencia del diente.

CONCLUSIONES

Los premolares estudiados in Vitro mediante el espectrofluorímetro ISS K2 poseen una área bajo la curva de intensidad, en promedio, mayor que el conjunto total de resinas compuestas microhíbridas analizadas; siendo esta área siempre mayor tanto para el caso sin factorizar como en el caso factorizado; a simple vista, estimulados por luz negra se distinguirán más fluorescentes que una restauración hecha con resinas compuestas microhíbridas.

Las siguientes marcas de resinas compuesta microhíbridas son las que se comportan de manera similar a los premolares al momento de evaluar su fluorescencia en los datos sin factorizar: 4 Season, Altus, Synergy Duo Shade y TPH3. Por el contrario las resinas Swiss Tec, Vitalescence, Miris, Esthet X, Amelogen Plus y Ceram X, muestran diferencias en relación a los premolares en los datos sin factorizar. Ahora al momento de factorizar los datos podemos concluir que las resinas compuestas de marca comercial 4Season, Synergy Duo Shade y TPH3, muestran un comportamiento similar a los premolares (visualmente), todas las restantes resinas en estudio se comportan de forma distinta a los premolares.

La comparación de intensidad máxima de emisión (peak de emisión) arroja que esta característica evaluada para los premolares y resinas compuestas microhíbridas, desde el punto de vista del observador posee una longitud de onda mayor siendo menor que la percibida por el instrumento. El peak de emisión es mayor en promedio, en los premolares (483 nm rango azul cercano a verde) que en las resinas compuestas microhíbridas (468 nm rango azul), siendo difícil su distinción espectral por parte del observador.

Al comparar las resinas compuestas entre sí, tanto en los datos factorizados como sin factorizar existen dos marcas de resinas compuestas que presentan un área bajo la curva de intensidad mayor que las demás (son más fluorescentes visualmente) y muestran similitud entre si. Estas corresponden a las resinas 4 Season y Esthet X. Las otras marcas comerciales evaluadas (Altus, Swiss Tec, Vitalescence, Amelogen P, Ceram X, Miris, TPH³ y Synergy Duo Shade) presentan un área bajo la curva menor y similar entre ellas.

En promedio y según la curva de sensibilidad del ojo humano, el color más fluorescente es Y-E y el menos fluorescente es B2. Comparativamente en promedio son diferentes a la fluorescencia de los premolares los colores A1, A2, B2, Y-E, C2 y, son iguales, A3, A3.5, A4, B1 y B3.

Proporcionalmente percibimos 1,75 veces más fluorescente a los dientes que a las resinas compuestas microhíbridas. Las resina compuesta microhíbrida más cercana al diente es 4 Season (0,71 veces respectivamente); mientras que la más diferente es Swiss Tec (10,63 veces respectivamente).

Finalmente no existe similitud de fluorescencia entre la totalidad de las resinas compuestas microhíbridas analizadas y los premolares, por lo tanto se rechaza la hipótesis.

SUGERENCIAS

1. Sería relevante a la investigación que realizamos en este seminario de tesis, pasar del análisis In Vitro a pruebas clínicas utilizando las mismas resinas compuestas microhíbridas que en nuestro seminario, considerando el rango étareo de los pacientes y salud oral.
2. Se podría incluir otros materiales estéticos de uso en actualidad y comparar la fluorescencia que estos poseen con las resinas microhíbridas de obturación directa.
3. De alto interés sería realizar un acabado estudio bioquímico para analizar esmalte y dentina por separado, determinando en forma precisa cuáles son las moléculas que otorgan la particularidad fluorescente al diente. Tal vez determinando cuáles son las moléculas “fluorescentes”, se las podría incorporar a los materiales estéticos restauradores y asemejarse así aún más a esta característica en forma casi biomimética.

RESUMEN

El ser humano está constantemente expuesto en su interacción con el medio a una serie de ondas y radiaciones electromagnéticas. La luz ultravioleta forma parte del espectro electromagnético de radiación y es naturalmente emitida por el sol, pero puede ser encontrada en tubos y ampollas en lugares donde concurren normalmente las personas. La luz ultravioleta al excitar un cuerpo produce una emisión de luz por parte de este; el fenómeno se denomina fluorescencia.

En el presente estudio se analizó la fluorescencia *In Vitro* entre dos grupos muestrales. El primer grupo correspondió a 124 muestras de diferentes composites microhíbridos comercializados en Chile. El segundo grupo correspondió a 30 premolares, sanos de pacientes de entre 12 y 18 años, obtenidos en diferentes centros de salud dental en la Quinta Región, recolectados en forma aleatoria entre los meses de Enero a Mayo de 2007.

Los resultados obtenidos indican que no existe similitud de fluorescencia entre la totalidad de las resinas compuestas microhíbridas analizadas y los premolares. Existiendo una fluorescencia mayor en los premolares en comparación con las resinas compuestas microhíbridas evaluadas y un comportamiento fluorescente distinto entre las marcas evaluadas. Evaluamos resinas como 4 Season y Esthet X que muestran un comportamiento fluorescente más similar al diente. Las otras marcas comerciales evaluadas (Altus, Swiss Tec, Vitaescence, Amelogen P, Ceram X, Miris, TPH³ y Synergy Duo Shade) presentan una fluorescencia distinta en comparación a los premolares.

Proporcionalmente se percibe 1,75 veces más fluorescente a los dientes que a las resinas compuestas microhíbridas. La resina compuesta microhíbrida más cercana al diente es 4 Seasons (0,71 veces respectivamente); mientras que la más diferente es Swiss Tec (10,63 veces respectivamente).

BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, M; Mateos, F. (1993). “*Óptica Fisiológica*”. Universidad Politécnica de Valencia.
- Adolfi, D., (2004) “*Estetica Natural*” Editorial Quintessence, S.L. Barcelona. Berlin Aguilar, M; Mateos, F. (1993). “*Óptica Fisiológica*”. Universidad Politécnica de Valencia.
- Abramovich, A., (1999) “*Histología y Embriología dentaria*”. Segunda Edición. Buenos Aires. Médica Panamericana.
- Al-Khateeb, S., Exterkate, R.A.M., de Josselin de Jong, E., Angmar-Mansson, B., Ten Cate, JM., (2002) “*Light-Induced Fluorescence Studies on Dehydration of Incipient Enamel Lesions*”. Caries Res 36: 25-30.
- Alfano, R., Yao, S.S., (1981) “*Human Teeth with and without dental caries studied by visible luminescent spectroscopy*”. J Dent Res 80: 120-122.
- Arens D., (1989).”*The Role of Bleaching in Esthetics. Dental Clinics of North America*” April; Vol. (2):319-35.
- Baratieri, L.; Chain, M. (2001). “*Restauraciones estéticas con resinas compuestas en dientes posteriores*”. Brasil: Sao Paulo: Artes Médicas; pp. 12-20.
- Baeza, R., (2002).”*Fluorescencia de Resinas Compuestas de Obturación Directa*”. Rev. Fac. Odont. Número 2.vol 20.
- Banerjee, A., Boyde, A., (1998) “*Autofluorescence and mineral content of carious dentine*”: Scanning optical and Backscattered Electron microscopic studies. Caries Res 32: 219-226.
- Baratieri, L.; Chain, M. (2001). “*Restauraciones estéticas con resinas compuestas en dientes posteriores*”. Brasil: Sao Paulo: Artes Médicas; pp. 12-20.
- Barrancos, J., (1999) “*Operatoria Dental*”. Tercera Edición. Buenos Aires. Médica Panamericana.
- Berne, R., Levy, M., (2001) “*Fisiología*”. Tercera Edición. Madrid. Harcourt Brace.
- Buchalla W., Lennon AM., Attin T., (2004) “*Comparative Fluorescence spectroscopy of root caries lesions*”. Eur J Oral Sci 112: 490-496.
- Cabriales, Carlos., (2004) “*Luminiscencia en polímeros semiconductores*” en Ingenierías, [en línea] Abril-junio, 2004 vol VII, n 23, disponible en: http://ingenierias.uanl.mx/23/pdfs/23_p12a16_cabriales.pdf [accesado el 27 de noviembre de 2005].
- Cattaruzza, M. (2002) *Il Colore: «Odontoiatria Conservativa Restauri Adesivi Diretti Fondamenti sul Colore e sue Applicazioni Italia Promoden*”.
- Castro, M., (1999) “*Propagación de la Luz*” disponible en: http://members.tripod.com/~Mauve_Ciel/propagacion.html [accesado el 22 de octubre de 2005].
- Craig, G., (1998) “*Materiales de Odontología Restauradora*”. Madrid. Harcourt - Brace.
- Dietschi, D., Dietschi, JM., (1996) “*Current developments in composite materials and techniques*”. Pract Periodont Aesthet Dent 8(7): 603-613.

- Dietschi, D., (2001): “*Layering concepts in anterior composite restorations*”. J. Adhes. Dent. 3: 71-80.
- Ewing, G., (1978) “*Métodos instrumentales de análisis químicos*”. México. MacGraw-Hill.
- Ferguson D.B., (1999) “*Oral Bioscience*” Nueva York Editorial Churchill - Livingstone.
- Fernández, B., (2002) “*Efectos dañinos de la radiación UV y bases fundamentales para la fotoprotección*”. Valparaíso. Universidad de Valparaíso.
- Foreman, P.C., (1980) “*The excitation and emission spectra of fluorescent components of human dentine*”. Archs Oral Biol 25: 641-647.
- Gaete, C., Munte, V., Roman, C., (2006) “*Evaluación de la Fluorescencia en la Dentición Humana*”. Tesis para optar al Título de Cirujano Dentista. Escuela de Odontología. Universidad de Valparaíso.
- Ganong, W., (2000). “*Fisiología Médica*”. Décimo Séptima Edición .México .D.F.
- García del Amo, D., Calvo, B., Vladimirovich, E., Cueto, R., García, E., (1996) “*Luminiscencia*” Universidad Politécnica de Madrid.
- Gómez de Ferraris, M.A., Campos, A., (2002) “*Histología y Embriología Bucodental*”. Segunda Edición. Madrid. Médica Panamericana.
- González, W., Vidal, F., (2005) “*Evaluación espectrofotométrica de las resinas compuestas .Estudio comparativo con guía Vitapan 3-D Master*”. Tesis para optar al Título de Cirujano Dentista. Escuela de Odontología. Universidad de Valparaíso.
- Gossens M., Mittelbach F., and Samarin A., (2000) “*The Latex Companion*”. Pearson Education Corporate.
- Hafstrom-Bjorkman, U., Sundstrom, F., ten Bosch, JJ. (1991) “*Fluorescence in dissolved fraction of human enamel*”. Acta Odontol Scand 49:133-138.
- Hollander, M., and Wolfe D., (1998) “*Nonparametric Statistical Methods*”. Wiley, & Sons Inc., 2nd edition.
- Halliday, D., Kenneth, S., Resnick, R., (2002) “*Física*”. Wiley, J. Ciudad de México. Editorial Continental.
- Harris, T., (2000) “*How Black Lights Work*”, disponible en: <http://science.howstuffworks.com/light-black1.htm>.
- Heller, E., (2002).”*Sicología del Color*”. Barcelona.
- Kvaal, S., Solheim, T., (1989) “*Fluorescence from dentin and cementum in human mandibular second premolars and its relation to age*”. Scand J Dent Res 97: 131-8.
- Lakowicz, J.R, (1999) “*Principles of fluorescence spectroscopy*”. Segunda edición. New York. Kluwer Academic.
- Lee, YK., Lu, H., Powers, JM. (2005)” *Fluorescence of layered resin composites*”. J Esthet Restor Dent 17(2): 93-100.
- Magne, P., (2004). “*Restauraciones de porcelana adheridas en los dientes anteriores*”.

- Matsumoto H.; Kitamura S.; Araki T. (1999): “*Autofluorescence in human dentine in relation to age, tooth type and temperature measured by nanosecond time-resolved fluorescence microscopy*”. Archs Oral Biol 44: 309-318.
- Merriam-Webster, (1995) Merriam-Webster's Collegiate Dictionary, 10th Edition. Springfield, MA, USA, disponible en: <http://www.noteaccess.com>.
- Miyashita, E., (2005) “*Odontología Estética el estado del arte*”. Editorial Artes Medicas Publicación.
- Monsénégo G., Burdairon G., Clerjaud B., (1993) “*Fluorescence of dental porcelain*”. J Prosthet Dent 69: 106-113.
- Nancy, A., (2003) Ten Cate's “*ORAL HISTOLOGY*”: Development, Structure and Function. Sixth Edition. Missouri.
- Permyakov, E.A., (1993) “*Luminescent spectroscopy of proteins*”. Florida. CRC.
- Phillips, I.W.; Ralph, W. (1998). “*Propiedades físicas de los materiales dentales*”. En: La ciencia de los materiales dentales de Skinner. México, D.F.: Interamericana; pp.16-44.
- Phillips, I., (2004) “*Ciencia de los materiales dentales*”. Undecima Edición.
- Poblete, A., (2003) “*Evaluación del efecto de fluorescencia en resinas compuestas*”. Tesis para optar al Título de Cirujano Dentista. Escuela de Odontología. Universidad de Valparaíso.
- Resnick, R., (2002) “*Física*”. Cuarta Edición. México. Editorial CECSA.
- Serway, R.A., (1997) “*Física*”. Tomo II. Cuarta Edición. México. McGraw-Hill.
- Serway, R.A., Jerry S., (2005) “*Física*”. México. Thomson.
- Skoog, D.A., Holler, F.J., Nieman, T.A., (2001) “*Principios de análisis instrumental*”. Quinta Edición. Madrid. McGraw Hill.
- Spitzer, D., ten Bosch J.J., (1976) “*The total luminescence of bovine and human dental enamel*”. Calcif Tissue Res 20: 201-208.
- Steenbecker, O., (2006) “*Principios y bases de los biomateriales en operatoria dental estética adhesiva*”: propiedades, principios, fundamentos. Valparaíso. Universidad de Valparaíso.
- Sundström F., Fredriksson K., Montán S., Hafström-Björkman U., Ström J., (1985) “*Laser-induced fluorescence from sound and carious tooth substance*”: Spectroscopic studies. Swed Dent J 9: 71-80.
- Touati, B., Miara, P., Nathanson, D., Giordano, Russell (2000) *Odontología estética y restauraciones cerámicas*. Barcelona. Masson.
- Valdés, M., (1999) “*La Radiación Solar*” Instituto de Geofísica, Universidad Autónoma de México. Mayo 1999, disponible en: <http://www.igeofcu.unam.mx/divulgacion/geofisicosas/geofisicosas5.pdf>
- Van der Veen, M.H., ten Bosch, J.J., (1995) “*Autofluorescence of bulk sound and in vitro demineralized human root dentin*”. European J Oral Sci 103: 375-381.
- Vanini, L. (1996): “*Light and color in anterior composite restorations*”. Practical Periodont & Aesthet Dent; 8: 673-682.

- Williams, R.A.D., Elliot, J.C., (1990) “*Bioquímica dental básica y aplicada*”. Segunda Edición. México. El Manual Moderno.

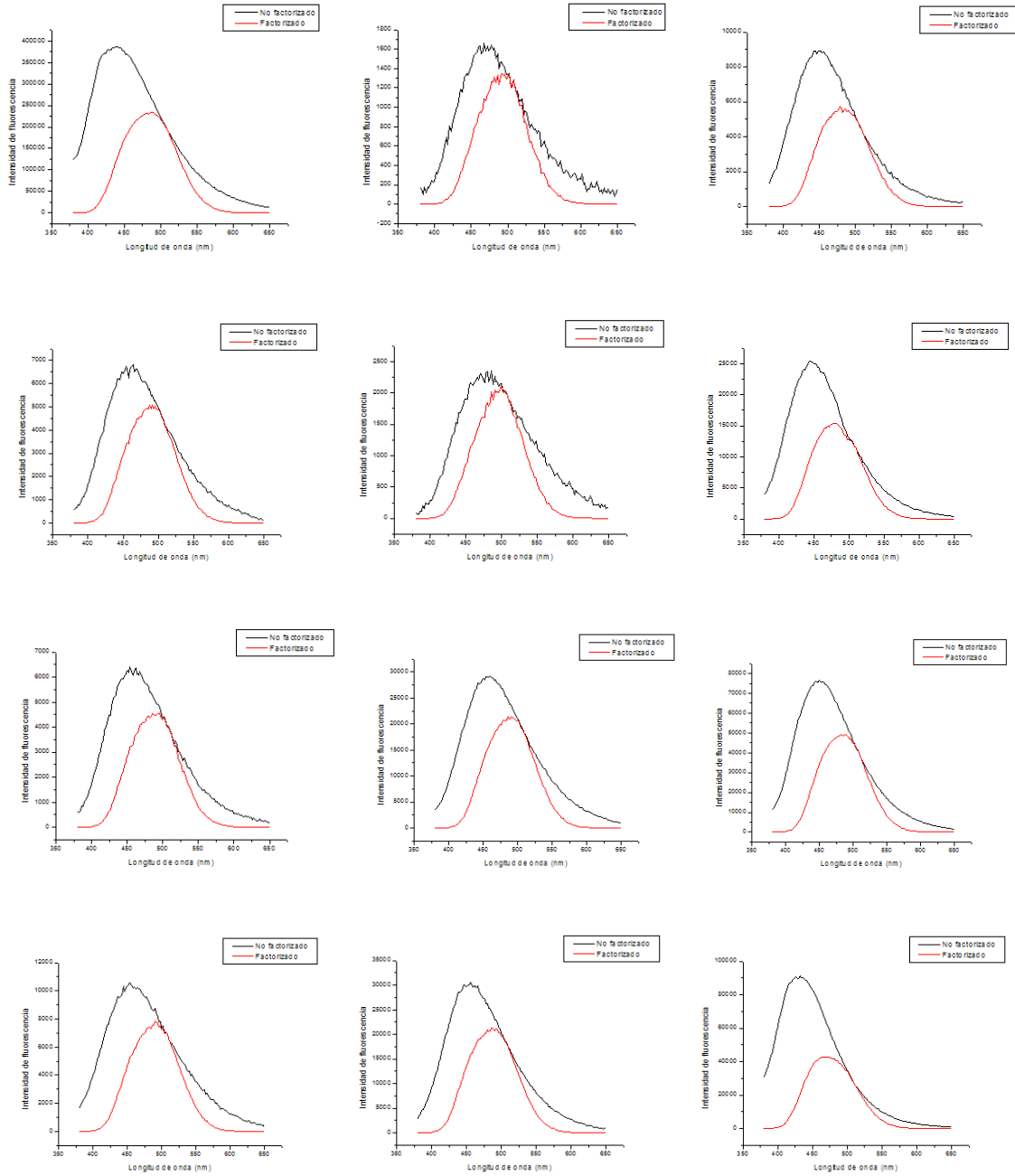
FOTOGRAFIAS

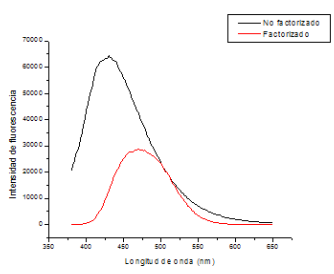
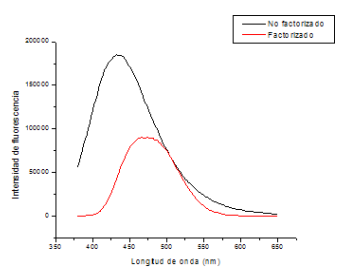
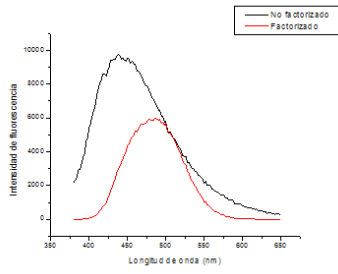
- Fig.1: Longitud de onda (disponible en http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/physical_science/basic_tools/wavelength.sp.html&du=hig).
- Fig.2: El espectro electromagnético (Rubio, 2003).
- Fig.3: Ampolleta fluorescente de luz negra (disponible en: http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Black_light_bulb.jpg).
- Fig.4: La luz blanca está compuesta de ondas de diversa frecuencia. Cuando un rayo de luz blanca pasa por un prisma, se separa en sus componentes de acuerdo a longitud de onda.
- Fig.5: Esquema del ojo humano (Disponible en: www.uam.es)
- Fig.6: El ojo humano (Disponible en: www.google.com).
- Fig.7: MEB de células ópticas (Disponible en: www.uam.es).
- Fig. 8: Curva de visibilidad fotópica V_λ (CIE 1931) y curva de visibilidad escotópica V'_λ (CIE 1951). Extraído de: *Óptica Fisiológica*. M., Aguilar (1993) pag. 69.
- Fig.9: Esquema del fenómeno de reflexión (Rubio2003).
- Fig.10: Esquema del fenómeno de refracción (Rubio, 2003).
- Fig.11: Cuerpos de prueba de diferentes composites representando el fenómeno de transmisión (Rubio, 2005).
- Fig.12 y Fig.13: Disco de Airy (patrón de difracción de los anillos concéntricos en escala de grises). Fenómeno de difracción (disponible en: www.wikipedia.es. Rubio, 2005).
- Fig.14: Fenómeno de opalescencia dentaria (Obtenido de *Estética Natural*. Adolphi, Dario. Quintessence, 2004).
- Fig.15 y Fig.16: Fenómeno de color (Obtenido de *Estética Natural*. Adolphi, Dario. Quintessence, 2004 y Rubio, 2005).
- Fig.17: Emisión fluorescente de compuesto químico estimulado con luz u.v. (Rubio, 2005).
- Fig. 18 y Fig.19: Fluorescencia dentaria mediante estimulación por luz negra (Rubio, 2005).

- Fig. 18: Espectrofluorímetro ISS K2 del Departamento de Química y Ciencias Matemáticas de la casa central de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Carrasco – Ibáñez, 2007).

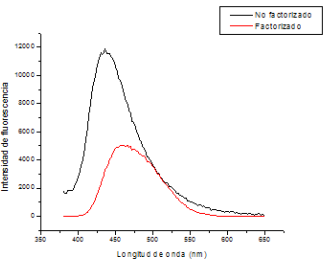
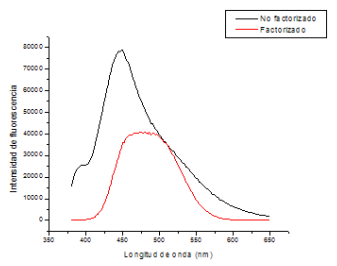
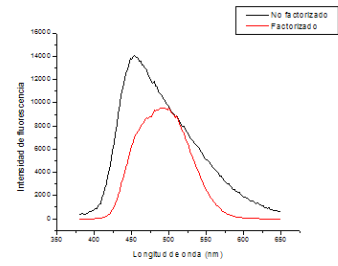
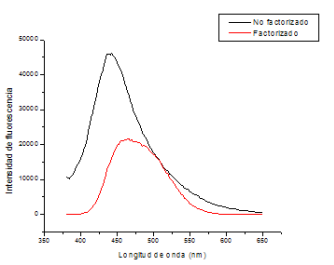
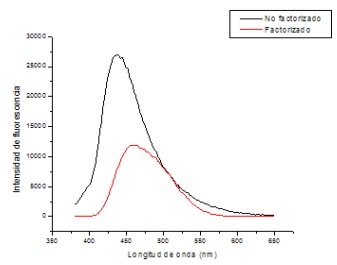
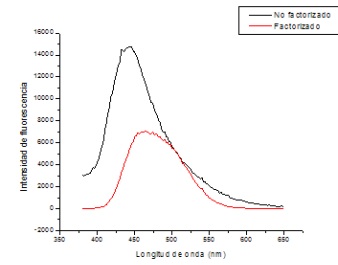
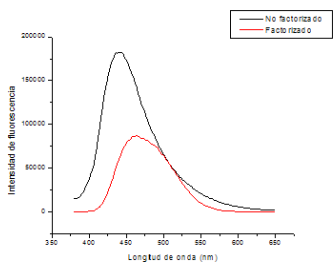
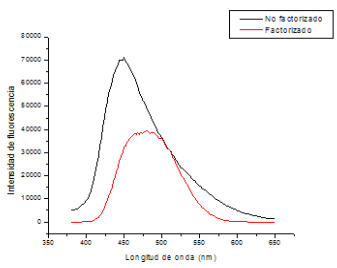
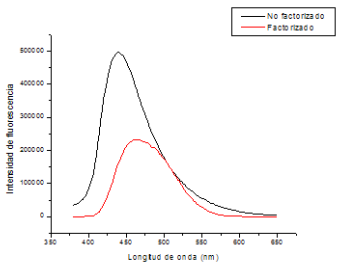
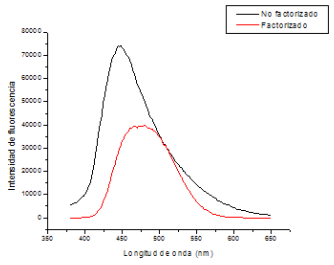
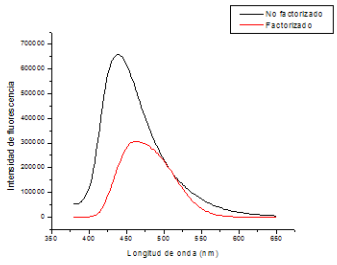
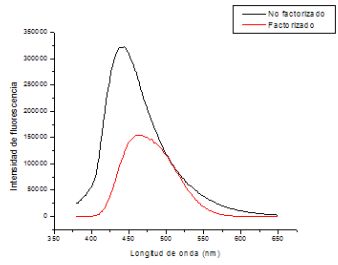
ANEXOS

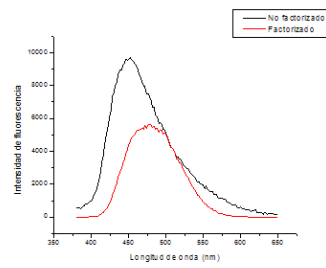
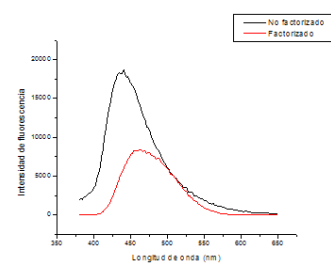
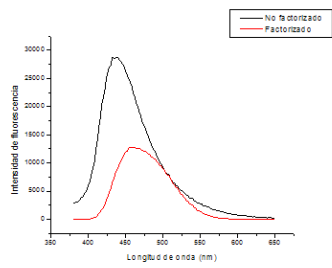
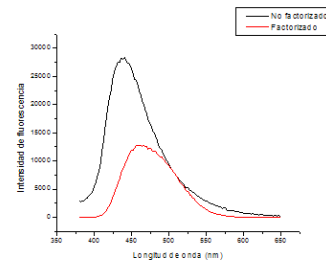
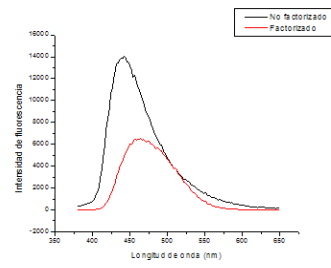
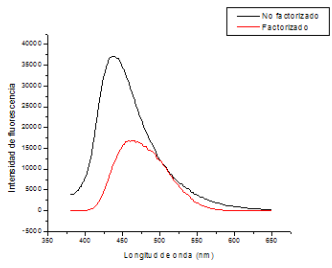
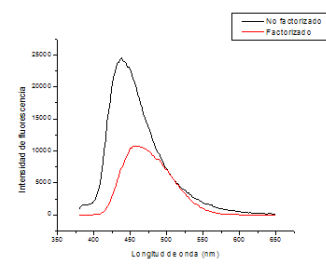
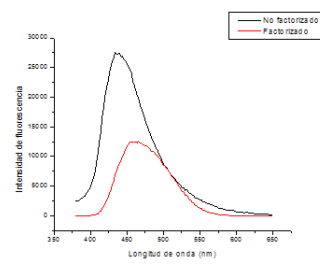
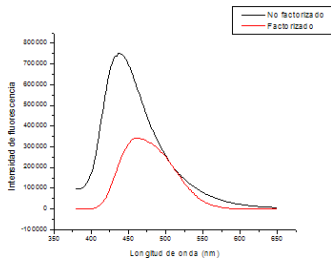
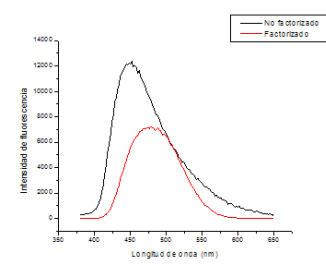
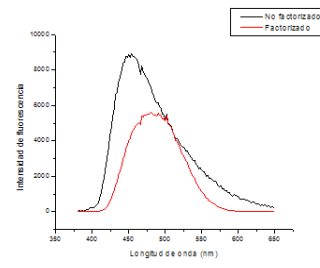
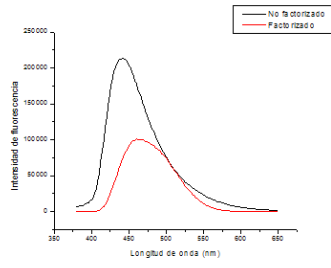
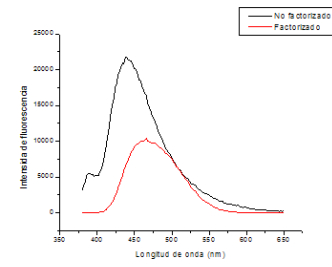
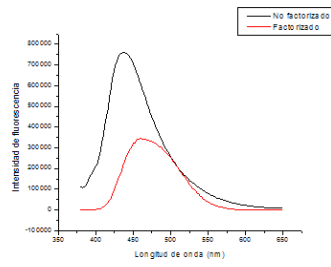
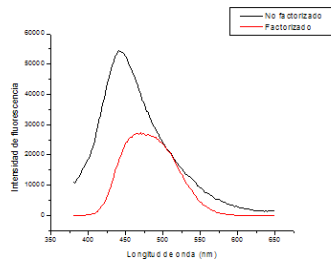
ANEXO 1: Gráficos de Curvas de Intensidad de Fluorescencia (Áreas bajo la curva) Premolares

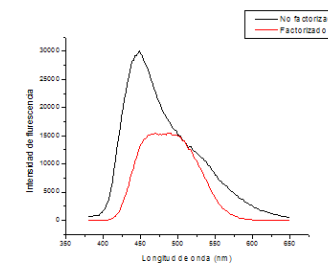
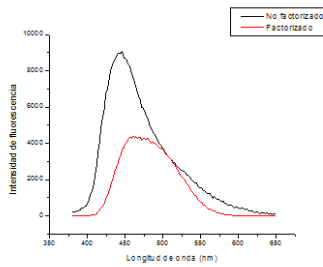
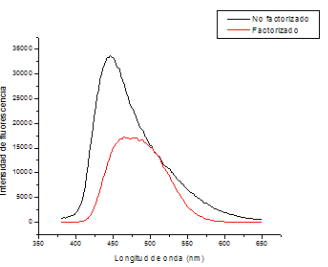
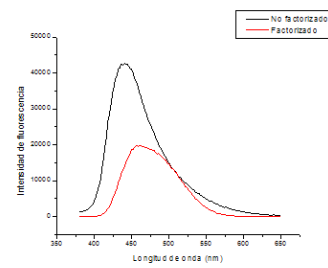
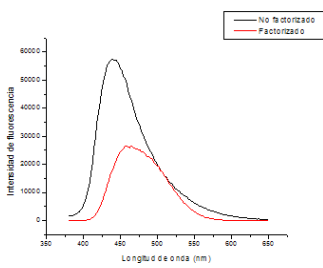
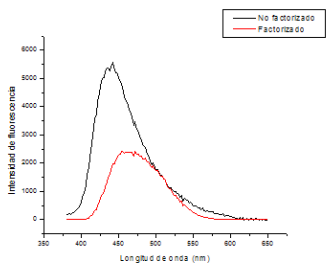
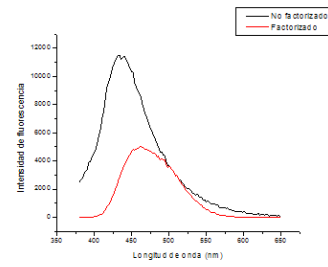
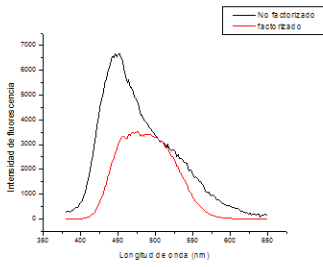
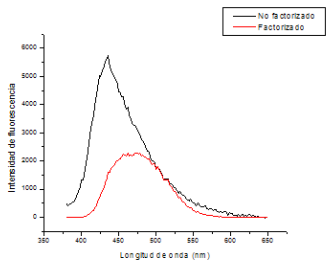
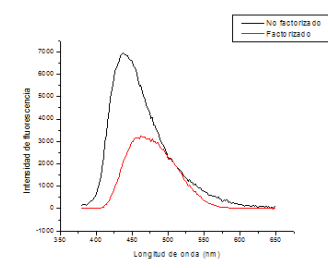
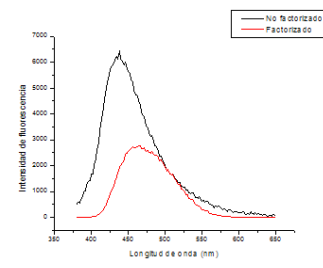
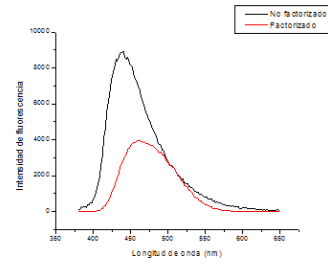
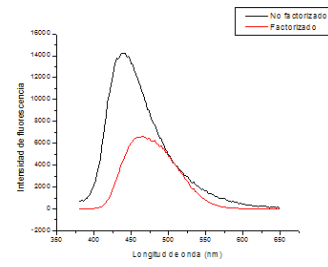
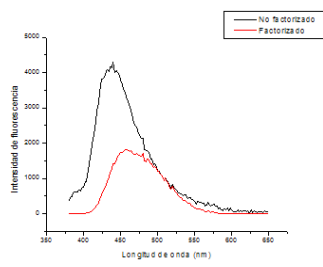
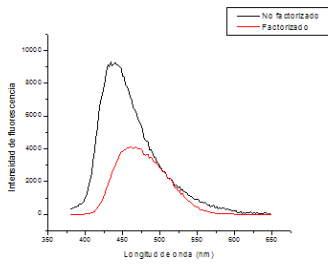


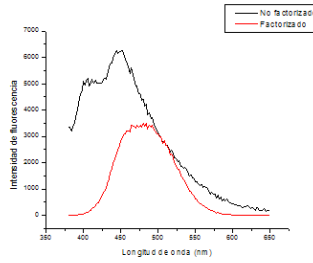
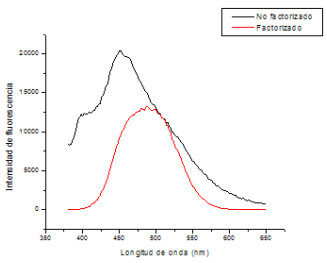
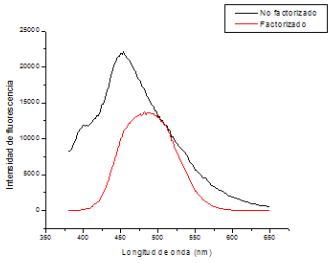
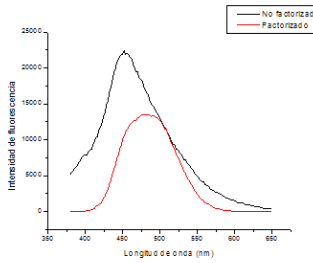
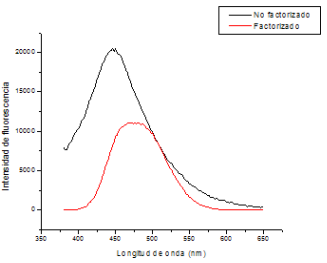
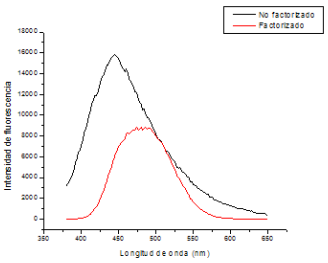
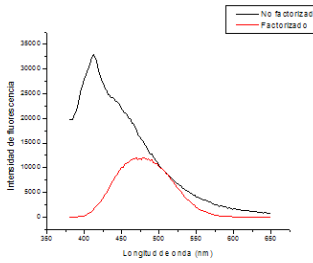
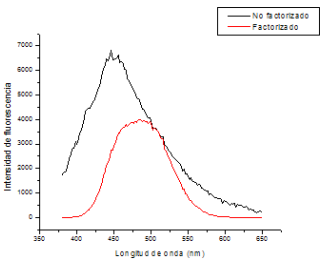
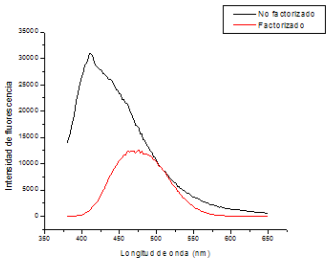
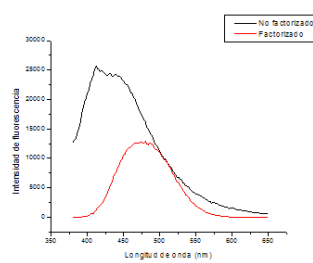
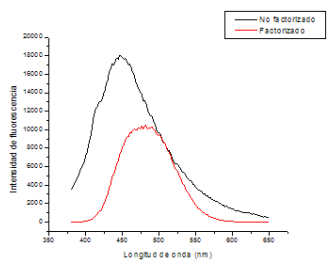
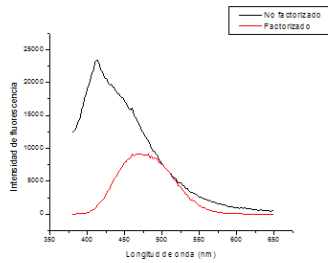
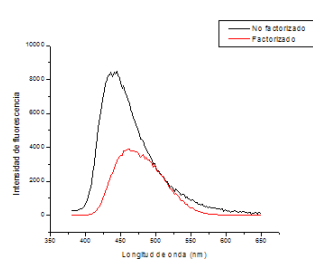
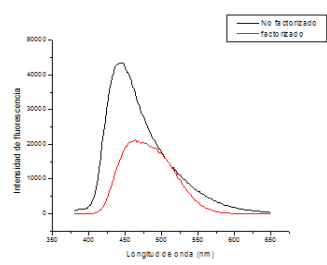
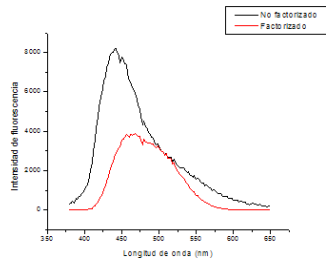


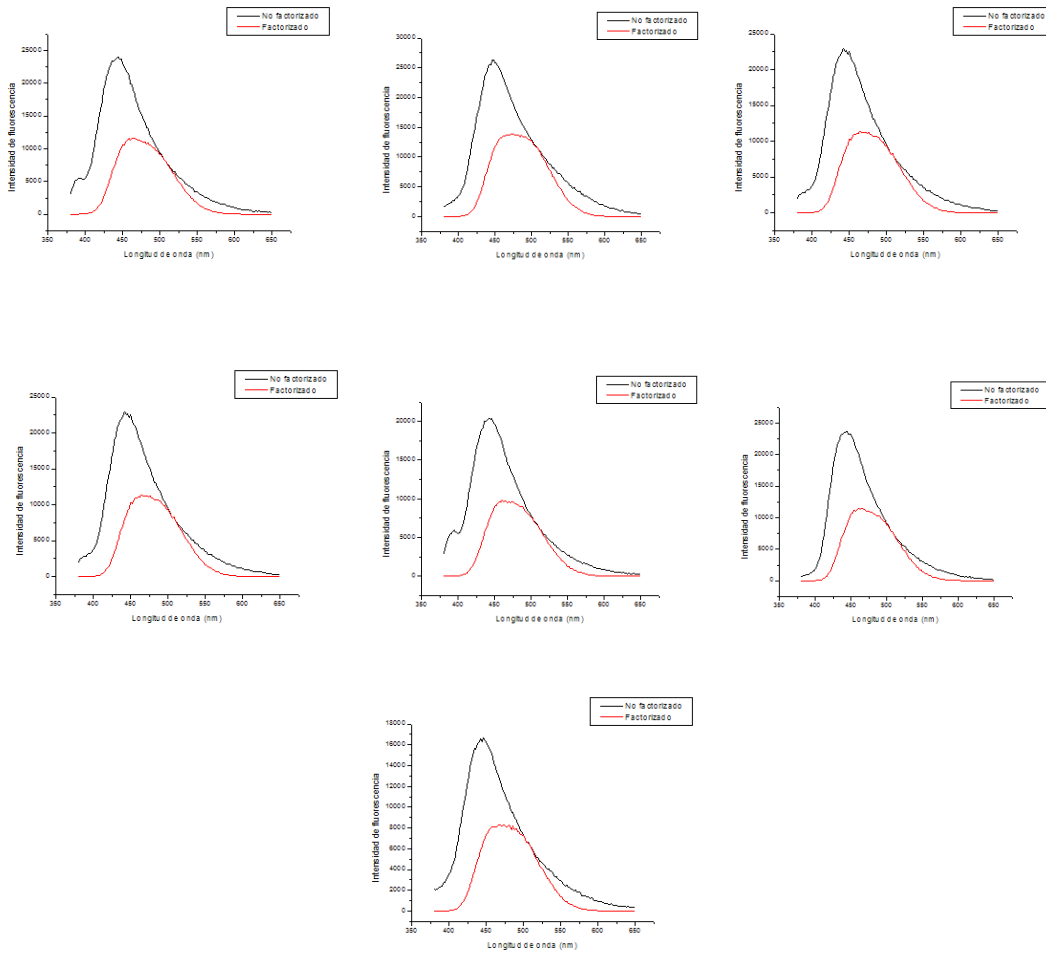
Resinas compuestas: Orden correlativo según Tabla III.











ANEXO 2: Pruebas no paramétricas de comparación

A. Pruebas no paramétricas de comparación para el área bajo la curva.

A1. Premolar vs. Resina compuesta.

Caso	Z	Valor-p	Decisión
Sin factorizar	3,161	0,0016	Se rechaza H_0
Con factorizar	3,472	0,0005	Se rechaza H_0

A2. 1er Premolar superior vs. 1er Premolar inferior.

Caso	Z	Valor-p	Decisión
Sin factorizar	1,320	0,1869	No se rechaza H_0
Con factorizar	1,320	0,1869	No se rechaza H_0

A3. Tipo de premolar vs. Resina compuesta.

Tipo de premolar	Sin factorizar			Con factorizar		
	Z	Valor-p	Decisión	Z	Valor-p	Decisión
1ro. Inferior	3,006	0,0026	Se rechaza H_0	3,031	0,0024	Se rechaza H_0
1ro. superior	1,1953	0,0509	Se rechaza H_0	2,328	0,0199	Se rechaza H_0

A4. Premolar vs. Marca comercial de resina compuesta.

Marca comercial	Sin factorizar			Con factorizar		
	Z	Valor-p	Decisión	Z	Valor-p	Decisión
4 season	-0,332	0,7398	No se rechaza H_0	-0,507	0,6124	No se rechaza H_0
Esthet-X	-1,832	0,0669	Se rechaza H_0	-2,112	0,0347	Se rechaza H_0
Swiss Tec	-2,504	0,0123	Se rechaza H_0	-2,971	0,0030	Se rechaza H_0
Vitalescence	-3,516	0,0004	Se rechaza H_0	-3,690	0,0002	Se rechaza H_0
Altus	-1,590	0,1119	No se rechaza H_0	-2,094	0,0363	Se rechaza H_0
Amelogen P	-1,934	0,0532	Se rechaza H_0	-2,220	0,0264	Se rechaza H_0
Ceram X	-1,861	0,0627	Se rechaza H_0	-2,133	0,0329	Se rechaza H_0
Miris	-2,142	0,0322	Se rechaza H_0	-2,293	0,0218	Se rechaza H_0
Synergy	-1,414	0,1573	No se rechaza H_0	-1,508	0,1314	No se rechaza H_0
TPH3	-1,508	0,1314	No se rechaza H_0	-1,650	0,0990	No se rechaza H_0

B. Pruebas no paramétricas de comparación de longitudes de onda que generan intensidad máxima.

B1. Test no paramétrico de comparación de longitudes de onda que generan intensidad máxima en premolares y en cada marca comercial.

Marca comercial	Sin factorizar			Con factorizar		
	Z	Valor-p	Decisión	Z	Valor-p	Decisión
4 season	-1,676	0,0938	Se rechaza H_0	-4,847	0,0000	Se rechaza H_0
Esthet-X	-1,446	0,1482	No se rechaza H_0	-4,005	0,0001	Se rechaza H_0
Swiss Tec	-2,953	0,0031	Se rechaza H_0	-3,298	0,0010	Se rechaza H_0
Vitalescence	-2,234	0,0255	Se rechaza H_0	-5,591	0,0000	Se rechaza H_0
Altus	-2,524	0,0116	Se rechaza H_0	-1,750	0,0801	Se rechaza H_0
Amelogen P	0,467	0,6406	No se rechaza H_0	-0,520	0,6027	No se rechaza H_0
Ceram X	-1,244	0,2135	No se rechaza H_0	-3,984	0,0001	Se rechaza H_0
Miris	-1,351	0,1766	No se rechaza H_0	-3,728	0,0002	Se rechaza H_0
Synergy	-0,425	0,6705	No se rechaza H_0	-2,647	0,0081	Se rechaza H_0
TPH3	-0,827	0,4085	No se rechaza H_0	-3,426	0,0006	Se rechaza H_0

B2. Test no paramétrico de comparación entre el área promedio de los premolares y de cada color que tuvo al menos 2 representantes en la muestra.

Marca comercial	Sin factorizar			Con factorizar		
	Z	Valor-p	Decisión	Z	Valor-p	Decisión
A1	1,066	0,2863	No se rechaza H_0	2,104	0,0354	Se rechaza H_0
A2	0,241	0,8096	No se rechaza H_0	1,929	0,0537	Se rechaza H_0
A3	0,562	0,5742	No se rechaza H_0	1,099	0,2717	No se rechaza H_0
A3.5	0,188	0,8507	No se rechaza H_0	-0,157	0,8752	No se rechaza H_0
A4	0,312	0,7551	No se rechaza H_0	1,015	0,3100	No se rechaza H_0
B1	1,317	0,1880	No se rechaza H_0	1,633	0,1025	No se rechaza H_0
B2	0,627	0,5305	No se rechaza H_0	1,696	0,0898	Se rechaza H_0
B3	0,975	0,3297	No se rechaza H_0	0,078	0,9377	No se rechaza H_0
C2	0,220	0,8262	No se rechaza H_0	2,010	0,0444	Se rechaza H_0
Y-E	0,741	0,4589	No se rechaza H_0	2,342	0,0192	Se rechaza H_0

ANEXO 3: Imágenes, espectrofluorímetro y r.c. microhíbridas estimuladas con luz negra.



Fig. 19: Espectrofluorímetro ISS K2 del Departamento de Química y Ciencias Matemáticas de la casa central de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Carrasco – Ibáñez, 2007).

Esthet-X

Dentsply

A1

EA1

A2

EA2

A3

EA3

A3.5

EA3.5

A4

EA4

B1

EB1

B2

EB2

B3

EB3

B5

EB5

C1

EC1

C2

EC2

C3

EC3

Esthet-X

Dentsply



C4

EC4



C5

EC5



D2

ED2



D3

ED3



UNIVERSAL



W/ BLANCO



XL



W-O



A2-O



A4-O



B2-O



C1-O

Esthet-X

Dentsply

C4-O

D3-O

C-E

W-E

Y-E

A-E

G-E

4 Seasons

Ivoclar-Vivadent

A1 ENAMEL

A1 DENTIN

A2 ENAMEL

A2 DENTIN

4 Seasons

Ivoclar-Vivadent

A3 ENAMEL

A3 DENTIN

B2 ENAMEL

B2 DENTIN

C3 ENAMEL

C3 DENTIN

WHITE

BLEACHXXL

BLUE

CLEAR

LOW

MEDIUM

4 Seasons

Ivoclar-Vivadent

HIGH

Swiss Tec

Coltene-Whaledent

A1 ENAMEL

A2 ENAMEL

A3 ENAMEL

A3,5 ENAMEL

B2 ENAMEL

D3 ENAMEL

Altus

Confi Dental

A1

A2

A3

B1

Altus

Confi Dental

B2

B3

C2

Vitaescence

Ultradent

DENTINA A1

VA1

DENTINA A2

VA2

DENTINA A3

VA3

DENTINA A3,5

VA3,5

DENTINA A4

VA4

DENTINA A5

VA5

DENTINA B1

VB1

DENTINA B2

VB2

Vitaescence

Ultradent

TRANS FROST (T-1)

TRANS SMOKE (T-2)

TRANS MIST (T-3)

TRANS YELLOW (T-4)

TRANS ICE (T-5)

TRANS AMBER (T-6)

TRANS ORANGE (T-7)

TRANS BLUE (T-8)

TRANS GRAY (T-9)

PEARL FROST (P-1)

PEARL NEUTRAL (P-2)

PEARL SMOKE (P-3)

Vitaescence

Ultradent



PEARL AMBER (P-4)



OPAQUE WHITE (O-1)



OPAQUE SNOW (O-2)



IRB

Amelogen P

Ultradent



A1



A2



A3



A3,5



A4



A5



B1



C2

Ceram X

Dentsply

A1, B1

A2, B2

A3, D3

A3,5, B3, B4

A4, C4

C1, D2

C2, C3, D4

Miris

Coltene-Whaledent

ENAMEL NEUTRAL TRANS

ENAMEL IVORY TRANS

ENAMEL IVORY REGULAR

ENAMEL NEUTRAL REGULAR

ENAMEL WHITE REGULAR

Miris

Coltene-Whaledent

ENAMEL WHITE BLEACH

DENTIN SHADE 1

DENTIN SHADE 2

DENTIN SHADE 3

DENTIN SHADE 4

DENTIN SHADE 5

DENTIN SHADE 6

DENTIN SHADE 7

EFFECT BLUE

TPH²

Dentsply

A2

A3

A3,5

B2

TPH³

Dentsply



YE

Synergy Duo Shade

Coltene-Whaledent



A1/D2



A2/B2



A3/D3



A3,5/B3



C2/C3

FOTOGRAFÍAS EN ORDEN DE APARICIÓN.

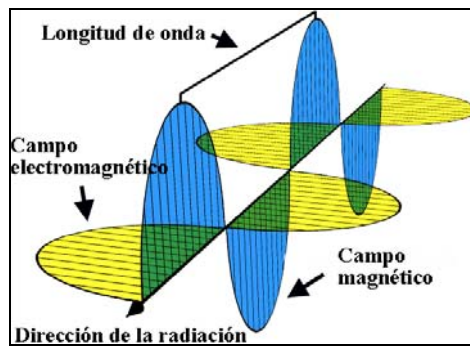


Fig. 1: Longitud de onda (disponible en http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/physical_science/basic_tools/wavelength.sp.html&edu=hig)

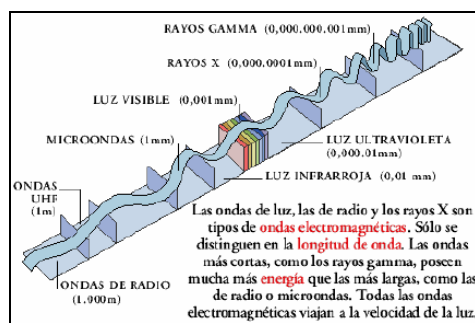


Fig. 2: El espectro electromagnético (Rubio, 2003).



Fig. 3: Ampolleta fluorescente de luz negra (disponible en http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Black_light_bulb.jpg).

FOTOGRAFÍAS EN ORDEN DE APARICIÓN.

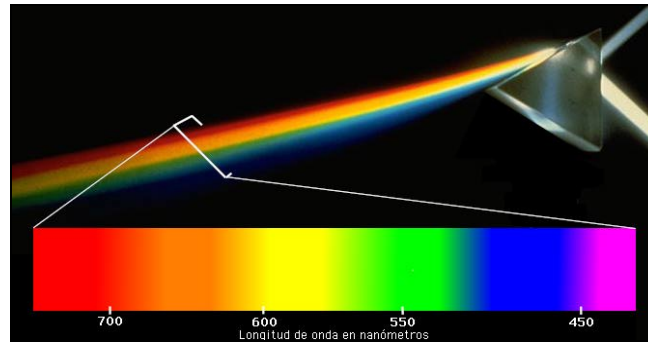


Fig. 4: La luz blanca esta compuesta de ondas de diversa frecuencia. Cuando un rayo de luz blanca pasa por un prisma, se separa en sus componentes de acuerdo a longitud de onda.

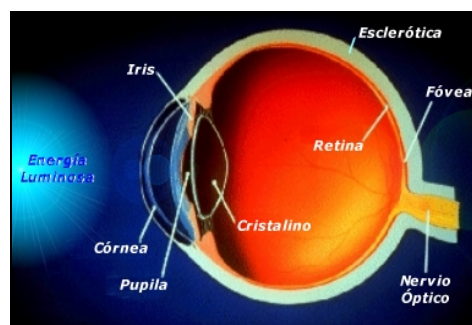


Fig. 5: Esquema del ojo humano (Disponible en: www.uam.es).

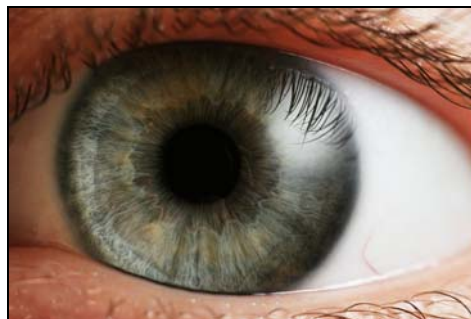


Fig. 6: El ojo humano (Disponible en: www.google.com).

FOTOGRAFÍAS EN ORDEN DE APARICIÓN.

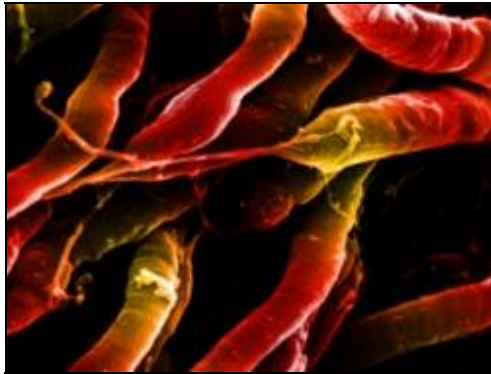


Fig.7: MEB de células ópticas (Disponible en: www.uam.es).

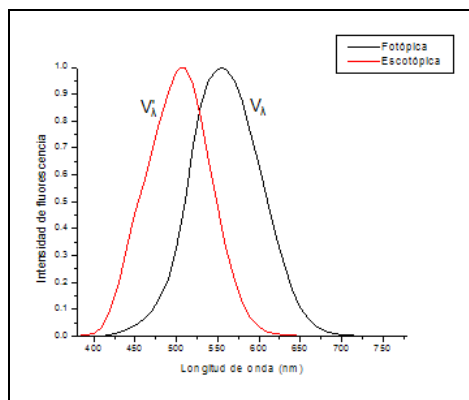


Fig.8: Curva de visibilidad fotópica V_λ (CIE 1931) y curva de visibilidad escotópica V'_λ (CIE 1951).

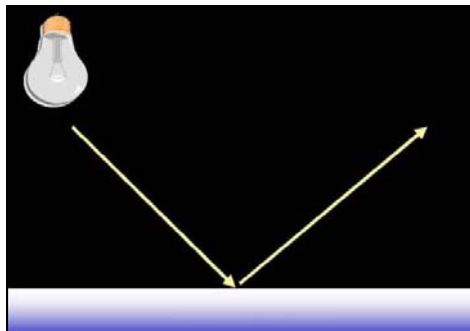


Fig.9: Esquema del fenómeno de reflexión (Rubio, 2003).

FOTOGRAFÍAS EN ORDEN DE APARICIÓN.

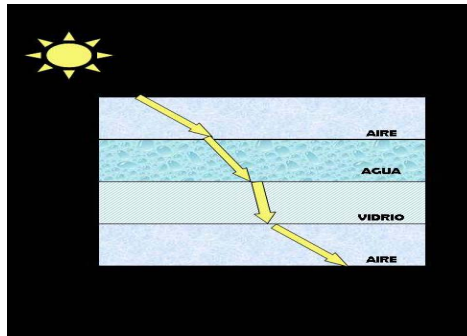


Fig.10: Esquema del fenómeno de refracción (Rubio, 2003).



Fig. 11: Cuerpos de prueba de diferentes composites representando el fenómeno de transmisión (Rubio, 2005).

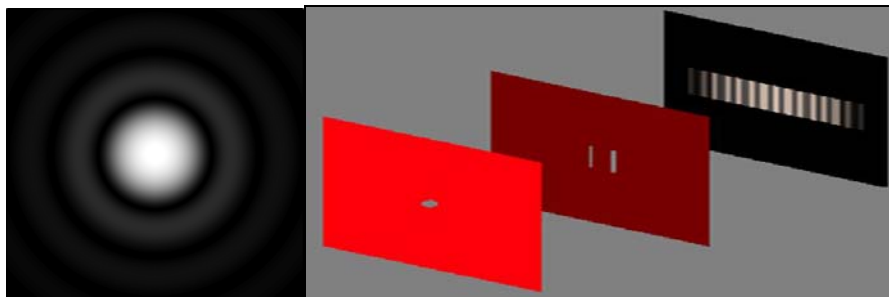


Fig. 12 y Fig. 13: Disco de Airy (patrón de difracción de los anillos concéntricos en escala de grises). Fenómeno de difracción (disponible en: www.wikipedia.es. Rubio, 2005).

FOTOGRAFÍAS EN ORDEN DE APARICIÓN.



Fig. 14: Fenómeno de opalescencia dentaria (Obtenido de Estética Natural. Adolfi, Dario. Quintessence, 2004).



Fig. 15 y 16: Fenómeno de color (Obtenido de de Estética Natural. Adolfi, Dario. Quintessence, 2004 y Rubio, 2005).



Fig. 17: Emisión fluorescente de compuesto químico estimulado con luz u.v. (Rubio, 2005).

FOTOGRAFÍAS EN ORDEN DE APARICIÓN.

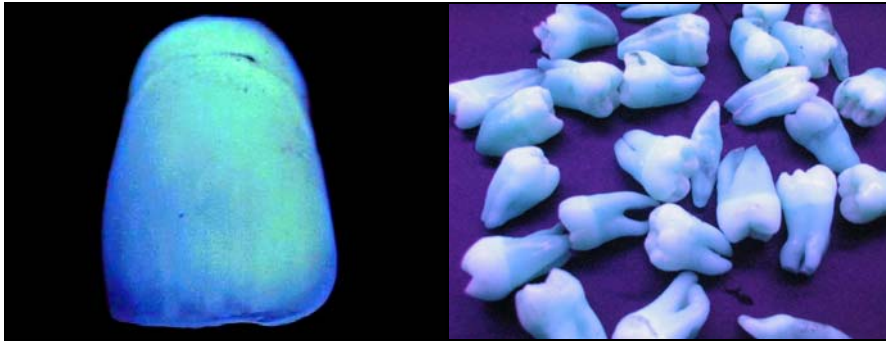


Fig. 18 y 19 Fluorescencia dentaria mediante estimulación por luz negra (Rubio, 2005).



Fig. 20: Espectrofluorímetro ISS K2 del Departamento de Química y Ciencias Matemáticas de la casa central de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Carrasco – Ibáñez, 2007).