



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

ANÁLISIS DE BLOQUEADORES SOLARES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

FISICO

P R E S E N T A:

GILBERTO ANDRÉS MARABOTO ZÁRATE



**DIRECTOR DE TESIS:
DRA. BEATRIZ ELIZABETH FUENTES
MADARIAGA
2011**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Hoja de Datos del Jurado

1. Datos del alumno

Maraboto

Zarate

Gilberto Andrés

56 77 33 00

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

400004000

2. Datos del Tutor

Dra.

Beatriz Elizabeth

Fuentes

Madariaga

3. Datos del sinodal 1

Dr.

M en C.

Alicia

Zarzosa

Pérez

4. Datos del sinodal 2

Dr.

Juan Carlos

Alonso

Huitrón

5. Datos del sinodal 3

Dr

Saúl

Hernández

Quiroz

6. Datos del sinodal 4

Fis.

Hector de Jesus

Cruz-Manjarrez

7. Datos del trabajo escrito

Análisis de bloquadores solares

Estudio comparativo

41 pp

2011

2011

Análisis de bloqueadores solares

Estudio comparativo

Se analizaron 18 muestras tomadas de bloqueadores, bronceadores y pantallas solares. Se compararon los resultados de sus curvas de absorción y se verificó si hay cambios al variar el factor de protección solar.



Contenido

Introducción	3
Capítulo 1. Marco teórico	5
1.1 Espectro electromagnético.....	6
1.2 Radiación ultravioleta	7
1.3 Espectroscopía.....	9
1.2 Espectros de absorción y emisión	12
1.5 El Sol	13
1.6 Atmósfera terrestre.....	15
1.7 Capa de ozono	18
Capítulo 2. Bloqueadores y filtros solares	20
2.1 Bloqueadores y filtros solares	21
2.2 Historia del bloqueador.	21
2.3 Ingredientes activos	23
2.4 Factor de protección solar.....	26
2.5 Factores de riesgo/beneficio de la exposición solar	30
Capítulo 3. El experimento.....	35
3.1 Antecedentes.....	36
3.2 Metodología.....	37
Capítulo 4. Resultado	41
Capítulo 5. Análisis de resultados	52
5.1 Comparación en la zona UVB.....	53
5.2 Comparativo en la zona UVA.....	53
5.3 Resultados adicionales	56
Capítulo 6. Discusión y conclusiones	59
Bibliografía	67
Índice	70

Introducción

En años recientes se ha oído sobre radiación ultravioleta; la moda inició por allá de los años 80 donde algunos científicos, incluido el premio Nobel mexicano Mario Molina, hablaron de un adelgazamiento en la capa de ozono y el descubrimiento de un hoyo en algún punto de la atmósfera.

A partir de ese momento se inició una eliminación de las causas que se encontraron como las responsables de ese adelgazamiento y se habló de los peligros que la radiación ultravioleta causa sobre la superficie terrestre, en especial sobre la piel. Si bien es cierto esta radiación puede ser que haya aumentado con el paso de los años y el calentamiento global, pero también hay que hacer notar que ha acompañado al hombre desde su aparición sobre la Tierra.

Se han desarrollado tratamientos para enfermedades que en algún momento se suponían incurables, elevando el promedio de la expectativa de vida cada vez más; sin embargo, el cáncer hasta nuestros días ha sido una de las enfermedades terminales que le ha ganado la batalla a la ciencia. En muchos casos se han encontrado formas de prevenirlo o de cómo se supone se puede prevenir, de tal suerte que se recomienda dejar de fumar, evitar la obesidad, comer frutas y verduras, evitar el café, alcohol y cierto tipo de alimentos, cuidarse de las enfermedades sexualmente transmisibles y cuidarse del sol.

Para cuidarse del sol y como dicen en inglés “be safe in the sun”, se desarrollaron productos tópicos que bloquean y evitan que la radiación ultravioleta (UVB y UVA) lleguen a nuestro cuerpo produciendo daños que van desde la quemadura por sol, el envejecimiento de la piel y el tan temido cáncer.

En el presente trabajo se explica la naturaleza de la radiación ultravioleta, su interacción con la piel y la forma en que ésta debe protegerse y se comparan experimentalmente diferentes bloqueadores solares comerciales de diversos factores de protección solar.

A lo largo del escrito habrá no sólo aclaraciones de preguntas, sino además nuevas dudas; dudas que son las que hacen investigar y encontrar nuevos y mejores métodos para hacer más confortable y de ser posible, prolongada la vida.

Existe, ha existido y existirá una controversia sobre qué tan bueno y qué tan malo resulta la exposición al sol, qué tiempo es lo adecuado, con qué tipo de protección, si produce cáncer o no... Sería iluso tratar de dar en este texto una respuesta definitiva; después de todo queda a criterio personal la decisión de si es o no perjudicial o si pudiera resultar o no beneficioso el exponerse a la radiación solar. Sin embargo, a continuación se presentarán los argumentos y resultados de estudios sobre el tema. Los estudios demuestran tanto los resultados benéficos como perjudiciales.

Las marcas comerciales de bloqueadores solares presentan una gran variedad de “niveles” de protección acorde al número que se conoce como factor de protección solar.

Sin embargo, ante esto surge la curiosidad de comprobar si existe diferencia entre estos factores o en su caso, la forma es que están relacionados. Para probar esta hipótesis, se colocaron muestras de varios productos de protección solar en un espectrofotómetro, se midió la absorbancia en el intervalo ultravioleta poniendo énfasis en el UVB y el UVA, para así poder obtener la diferencia de absorción de los diferentes productos. A través de esta variable se determinara si existe una diferencia entre ellos.

Se espera encontrar un orden cardinal en los índices de protección solar, aunque no necesariamente una relación entre ellos.

Capítulo 1

Marco teórico

1.1 Espectro electromagnético

El espectro electromagnético es un intervalo de frecuencias que comprende desde las ondas de radio hasta las ondas de corta longitud y alta energía, como la radiación gamma (desde kilo hasta nano metros), siendo un espectro continuo e infinito. Así pues, una longitud de onda muy amplia tendrá una frecuencia pequeña, dentro de la amplia gama del espectro electromagnético se clasifica según su longitud de onda en el vacío en:

- Ondas de radio
- Microondas
- Infrarrojo
- Región visible
- Ultravioleta
- Rayos X
- Rayos gamma

Una onda electromagnética se caracteriza por su longitud de onda (λ), frecuencia (ν) y energía (E), las cuales están relacionadas de la siguiente manera²²:

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$
$$\nu = \frac{E}{h}$$
$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Dependiendo de la energía que tengan las ondas, será la manera en que interactúen con los objetos. En un laboratorio de espectrografía se pueden detectar ondas de longitudes que van desde los 2 nm hasta los 2500 nm, y con ello determinar una serie de propiedades químicas y físicas de cada uno de los elementos químicos.

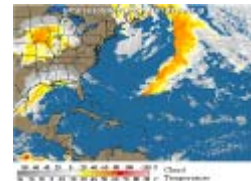
La radiación electromagnética es un espectro continuo, lo cual significa que no tiene bandas ni líneas en su intervalo, sino que hay una continuidad de frecuencias sin interrupciones.

Siendo un espectro continuo es difícil separar en qué parte se cambia de un tipo de radiación a otra y es común que haya algún tipo de sobreposición en los límites, como el caso de los rayos X y gamma que, estando en frecuencias muy cercanas, se diferencian por la forma en que son producidos. Las longitudes de onda importantes para el presente trabajo son:

- Infrarrojo

Cubre una región de alrededor de 1 mm hasta los 750 nm, los cuales se han dividido en tres partes,

- Infrarrojo lejano: de 1 mm a 10 μm
- Infrarrojo medio: de 10 a 2.5 μm



- Infrarrojo cercano: de 2500 a 750 nm
- Región visible

Imagen infrarroja de satélite

Aquí emiten el sol y las estrellas la mayor parte de su radiación. Esta zona es producida por la absorción y emisión de energía de los electrones al realizar los cambios de niveles energéticos. Varía en un intervalo de entre los 380 nm a los 760 nm, y lo conocemos como luz, por ser los que nuestros ojos perciben.



- Región ultravioleta

Este será explicado más adelante ya que será de interés especial como parte esencial del tema. De forma rápida, se puede decir que se encuentra entre las frecuencias del violeta y los rayos X y es capaz de romper enlaces químicos. Producen las quemaduras “de Sol” y hasta ahora se considera el principal factor del desarrollo del cáncer de piel, ya que promueve una mutación en el ADN de las células cutáneas.

Hay que remarcar que el espectro electromagnético es continuo y que no necesariamente tiene fronteras definidas entre cada región. A lo largo de la historia, se reintentó hacer esta separación; sin embargo se notó que algunas frecuencias interactuaban de la misma manera que otras fuera de la región establecida.

1.2 Radiación ultravioleta

La región ultravioleta comprende una zona del espectro electromagnético que varía de rango entre los 10 nm a los 400 nm, con energías de 3 eV a 124 eV. Su nombre proviene del hecho de que está por encima de la frecuencia del color violeta, que es una frontera de color visible para nuestros ojos.

La luz UV es producida naturalmente por el sol; también la crean las luces “negras” y los arcos eléctricos. Se conoce que es la principal causa de cáncer de piel y de quemaduras solares.^{5, 43, 47} De ahí el gran auge de los cosméticos protectores de radiación UV en los últimos años, por la presunción de un incremento en la radiación que llega a la tierra por el adelgazamiento de la capa de ozono.

Estos rayos fueron descubiertos por Johann Wilhelm, un físico alemán que en 1801 observó que más allá del violeta del espectro visible, había aún algo que oscurecía de forma efectiva un papel mojado con solución de cloruro de plata. Originalmente los llamó “rayos de-oxidante” para diferenciarlos de los “rayos de calor” del otro lado del espectro. A estos rayos se les conoció, durante el siglo XIX, como “rayos químicos”, por el efecto que tenían al producir reacciones químicas. Con el paso de los años se fueron desechando los términos hasta tener el nombre que reciben hoy día de “rayos ultravioleta e infrarrojos”.

La ISO (International Organization for Standardization) ha publicado en su guía ISO 21348²⁹ el proceso para determinar las radiaciones solares. Estas guías son la que actualmente se utilizan para caracterizar materiales en su mayoría de los que serán usados en el espacio exterior. ISO divide los rayos UV a grandes rasgos en:

Nombre	Abreviatura	Longitud de onda (nm)	Energía del fotón (eV)
Ultravioleta A, onda larga, luz negra	UVA	400-315	3.10-3.94
Cercano	NUV	400-300	3.10-4.13
Ultravioleta B, onda media	UVB	315-280	3.94-4.43
Medio	MUV	300-200	4.13-6.20
Ultravioleta C, onda corta, germicida	UVC	280-100	4.43-12.4
Lejano	FUV	200-122	6.20-10.2
Vacío	VUV	200-10	6.20-12.4
Bajo	LUV	100-88	12.4-14.1
Súper	SUV	150-10	8.28-12.4
Extremo	EUV	121-10	10.2-12.4

Mucho se ha discutido en cuanto a los beneficios y prejuicios de la radiación UV sobre el cuerpo humano. Hoy día existen diversos estudios que señalan ventajas y desventajas sobre la exposición al sol; sin embargo, este tema será abordado en capítulos posteriores a mayor detalle en la sección de efectos sobre la exposición a rayos UV.

Además de las emisiones producidas por el sol, que abarcan la zona de UVA, UVB y UVC, tenemos varias formas de producción artificial de las cuales se desprenden diversas aplicaciones y usos; algunos ejemplos de esto son²⁰:

- En materia de seguridad, una gran cantidad de documentos oficiales como pasaportes, licencias, tarjetas de crédito, cheques, billetes, etc., incluyen marcas de agua que sólo son visibles bajo las lámparas de emisión UV.



- En la medicina forense, es común su uso en la detección de fluidos corporales como semen, sangre, orina o saliva, sin importar el color de la superficie o material donde esté depositado, ajustando el poder de la radiación acorde a lo requerido.

- En algunas lámparas fluorescentes, hechas a base de mercurio a baja presión, en las que el gas es excitado por una corriente, emitiendo radiación UV que al pasar por una cobertura de material fosforescente la convierte en luz visible.



- En la astronomía la mayoría de los objetos muy calientes emiten UV, que sólo puede ser visto con telescopios desde el espacio, ya que esos rayos son bloqueados por nuestra atmósfera.

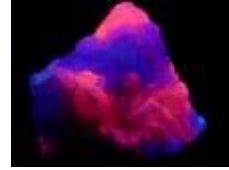
- En las lámparas caza insectos que también están emitiendo radiación UV a bajas energías, ya que la mayoría de los insectos tiene mayor rango de vista en estas longitudes de onda.



- En el control de plagas; Algunas empresas usan métodos con luz UV para seguir el rastro de orina de las ratas, o mejorar la búsqueda de algunas especies de arácnidos que brillan bajo esta luz.
- Algunas empresas usan este tipo de luz para la detección del grado de limpieza, para verificar la eficiencia de la limpieza o

para comprobar el estado de higiene de las instalaciones.

- En el análisis de los componentes y pureza de minerales, ya que estos brillan de diferentes colores al ser iluminados con luz UV.
- En el tratamiento médico llamado foto quimioterapia que usa UVA.



- En la manufactura de semiconductores, circuitos integrados y tarjetas de circuito impresas usan un proceso basado en rayos UV, llamado fotolitografía



- En los procesos de esterilización de agua y alimentos, ya que la radiación UV inhibe la reproducción de microorganismos.

- En los detectores de incendios actuales se utilizan sensores de UVC, ya que la mayoría de las flamas emiten algo de esta radiación, y dado que esta banda es bloqueada en su totalidad por la atmósfera, pueden ser usados en interiores y exteriores.
- En los serpentarios se usa la luz UV para que los reptiles puedan metabolizar el calcio.
- En las camas de bronceado, que modulan el tipo de radiación UV con la que puedes obtener el bronceado perfecto sin exponerte a los peligros que supone el sol.



1.3 Espectroscopia

Acorde a la definición, la espectroscopia es el estudio de la interacción entre la radiación y la materia en función de su longitud de onda.

Haciendo un poco de historia, durante el siglo XVII se creía que la luz era incolora; sin embargo al pasarla por un prisma aparecían los colores del arco iris, pero se acreditaba este efecto al prisma, es decir que el prisma era el productor de color. De 1670 a 1672 Newton³⁸ dedicó a realizar experimentos de la refracción de la luz, demostrando que la luz blanca se podía descomponer en espectro de 7 colores, además que si esos colores los hacía pasar a través de unos lentes y otro prisma podría recomponerlos produciendo luz blanca de nuevo. También logró probar que la luz de color no cambia sus propiedades cuando se le separa sin importar que se le refleje, disperse o transmita, permanece siempre del mismo color. Newton también demostró que el color es el resultado de la luz interactuando con los objetos y no que los objetos fueran los productores del color, a esto último se le conoció como la teoría del color de Newton.

Más tarde Young y Fresnel²⁴ combinaron la teoría de Newton con la teoría de las ondas Huygens para demostrar que el color no era más que luz a diferentes longitudes de onda. Al ser la luz una onda, existe una relación entre frecuencia y longitud y esta relación determina la velocidad de la onda. Acorde al medio en el que viaja varían estas cantidades dando lugar a los colores que se ven de la luz blanca. Planck describió la relación de la frecuencia y de la energía a través de su constante.

La constante de Planck, denotada como h , es una constante física que se usa en la mecánica cuántica, nombrada en honor a Max Planck, la cual describe la proporción que existe entre un fotón y su frecuencia. Con esta relación Planck describió que, bajo ciertas condiciones la energía no podría tomar cualquier valor, sólo algunos múltiplos. Esta constante tiene dimensiones de energía por tiempo es decir Joule por segundo. La constante de Planck tiene un valor aproximado de 6.626×10^{-34} J s.



En espectroscopía se hace referencia al “espectro”, una palabra latina que significa imagen o aparición, para describir los colores del arco iris que se producían al separar la luz visible a través de un prisma. El término fue evolucionando y fue usado también para otro tipo de ondas hasta que ahora es aplicado a cualquier señal que pueda ser descrita en términos de frecuencias.

En esencia el rojo, naranja, amarillo, verde, azul, índigo y violeta se consideran los colores que componen la luz visible; sin embargo, fuera de este rango existen más frecuencias de ondas que nuestros ojos no son capaces de ver pero acompañan diariamente a la radiación solar que llega a la atmósfera. Por debajo del color rojo están los infrarrojos y por encima del violeta los ultra violeta.

Dependiendo del tipo de espectroscopía que se desea realizar existen varios métodos y técnicas de medición. Las podemos clasificar por naturaleza de excitación que queremos medir:

- Electromagnética
- Electrónica
- Acústica
- Dieléctrica
- Mecánica

La primera se usa para la interacción de la materia con la radiación electromagnética; la electrónica es para interacciones de rayos de electrones; la tercera es para las ondas sonoras; la dieléctrica es de uso común con campos eléctricos externos, mientras que la mecánica se usa más para cuestiones que involucran fuerzas mecánicas externas como la torsión de materiales.

Para el caso del presente estudio, la espectroscopía de interés es la electromagnética, ya que se analizará la interacción de la luz con diferentes materiales de bloqueadores solares.

Otra clasificación que resulta de interés para este estudio en particular son las diferentes formas de medición que existen. Éstas están clasificadas según el tipo de interacción, si es atómico o molecular, y son:

- De absorción
- De emisión
- De dispersión

Como su nombre lo indica, la absorción nos hará saber qué frecuencias del espectro electromagnético son absorbidas por la sustancia; en el caso de la emisión verificaremos si la sustancia emite algún tipo de frecuencia una vez que absorbe energía; y la espectroscopía de dispersión mide la cantidad de luz que una sustancia dispersa a ciertas longitudes de onda, ángulos de incidencia y ángulos de polarización. Este último método es utilizado en la famosa espectroscopía Raman.

A continuación se explicará la técnica de la absorción, que es la que resulta de utilidad para el fin buscado. Como se menciona líneas arriba, esta técnica se basa en la absorción de la radiación en función de la longitud de onda cuando interacciona con una muestra. La muestra absorbe o refleja los fotones del campo que la radia. La intensidad de la absorción varía acorde a la frecuencia y como resultado se obtendrá un patrón de absorción a lo largo del espectro electromagnético.

Cada elemento químico tiene un diferente espectro de absorción, por eso es muy usado este método para identificar elementos que estén presentes en líquidos y gases. Aquí podemos ver el verdadero poder de la espectrografía: el poder darnos la habilidad de diferenciar entre diferentes sustancias, ya que cada una tiene un espectro único.

Para medir el grado de absorción de un material no queda más que comparar, mediante una gráfica, los valores de las frecuencias conforme se avance en el espectro. Podemos obtener una relación de transmisión según la potencia que se detecte, llamada "Transmitancia" y descrita así²⁴:

$$T = \frac{I}{I_0}$$

Donde I es la irradiancia una vez que pasa por el material e I₀ la irradiancia al emitirse radiación. Este valor varía entre 0 y 1, siendo 0 que absorbe toda la onda y 1 el valor para una transmisión máxima, por eso se puede escribir en términos del porcentaje entre 0 y 100.

Entonces se puede usar el término de "absorbancia" (A) que se define como el negativo del logaritmo de base 10 de la transmitancia. En algunos lugares encontramos que también se le llama a la absorbancia "densidad óptica".

$$A = -\log_{10} T$$

Como tal, la absorbancia puede llegar a tener valores que van desde 0, que le corresponde a la total transmisión, hasta el infinito. El qué tan lejos pueda llegar depende de la precisión de los aparatos que se usen.

Tabla 1.1 relación entre transmitancia y absorbancia

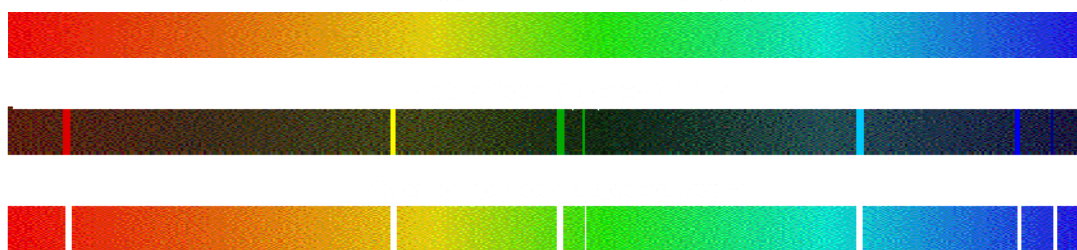
Porcentaje de luz absorbida	Transmitancia	Absorbancia
0	1.00	0
90 %	0.1	1
99 %	0.01	2
99.9 %	0.001	3

99.99 %	0.0001	4
99.999 %	0.00001	5
etc.		

Como se puede ver, se puede llegar tan lejos como la tecnología permita, o el interesado quiera. En general se alcanza el tope de la absorbancia al llegar a 3, ya que como están relacionadas las variables de forma logarítmica, un ligero cambio en la transmitancia implica un enorme en la absorbancia.

1.2 Espectros de absorción y emisión

Como ya se mencionó, los elementos producen un único patrón de espectro, ya sea por emisión o por absorción. Se verá primero cómo es que sucede el espectro de absorción, que está determinado básicamente por la composición atómica y molecular del material. La radiación incidente es absorbida, si tiene la energía suficiente para ser igual a la diferencia entre dos estados cuánticos.



Líneas de un espectro de absorción

Las líneas que se muestran en este espectro provienen del cambio del estado rotacional de una partícula, lo que se conoce como rotacionales. Por otro lado, las líneas vibracionales, como su nombre lo indica, corresponden al cambio del estado vibracional. Las líneas electrónicas aparecen cuando hay un cambio en el estado del electrón y suelen aparecer en las regiones del visible y ultravioleta. Por último tenemos las absorciones de rayos x, que son producidas por la excitación de la capa interna de electrones en los átomos. Sólo falta agregar que se puede dar una combinación de estas líneas, produciendo nuevos patrones.

Las líneas rotacionales generalmente aparecen cuando se usan frecuencias en el orden de las microondas y sólo son útiles cuando la muestra se encuentra en estado gaseoso, ya que en la fase sólida el movimiento rotacional es modificado por las colisiones de las partículas. Para obtener un espectro rotacional se requiere que las moléculas tengan un momento dipolar, ya que éste será el que provoque en el campo eléctrico en la microonda un torque, causando que rote a mayor o menor velocidad.

Cuando un átomo dentro de una molécula está en movimiento periódico, mientras la molécula tenga un movimiento de rotación y translación constante, ocurre una vibración molecular, lo que da lugar a las líneas vibracionales. La frecuencia del periodo se le conoce como frecuencia de vibración.

Para entender en la totalidad estas formas es necesario profundizar en campos de la mecánica cuántica, lo cual queda algo lejos de los fines aquí buscados; por ahora, con esta información será suficiente para tener una idea de lo que sucede a nivel molecular cuando vemos las líneas espectrales por absorción.

Un fenómeno donde diariamente vemos este tipo de absorción, aunque no necesariamente lo percibimos como espectro sobre una imagen, es en el efecto que causa la atmósfera sobre la radiación solar al “filtrar” algunas frecuencias, impidiendo que alcancen la superficie terrestre. Este fenómeno se verá con mayor detalle en secciones posteriores. Existe otro tipo de interacción: espectro de emisión. Éste es la intensidad relativa de cada frecuencia de radiación por los átomos cuando regresan a su estado base; una vez más, esto provoca que el espectro sea único para cada elemento siendo muy útil en la identificación de compuestos en una mezcla.

Cuando los electrones de un átomo son excitados de cualquier manera, los niveles de energía aumentan; sin embargo, eventualmente tiene que volver a su estado base, provocando que conforme va cayendo el nivel de energía, se emitan fotones de energías iguales al cambio de nivel. Dependiendo de la longitud de onda con la que se emite el fotón producirá una onda electromagnética que, si es el caso, se ve como luz de colores.

Este principio de excitación y emisión es el que rige las lámparas de neón multicolores, así como muchas luces de diferentes gases. Para fines espectroscópicos se busca analizar la longitud de onda de los electrones emitidos basados en el color de la luz, ya que sólo pueden ser emitidos fotones de ciertas longitudes de onda basados en el cambio de nivel energético, que es $E=h\nu$; donde E es el nivel de energía, h la constante de Planck y ν la longitud de onda.

1.5 El Sol

El Sol es la estrella central de nuestro sistema planetario³⁹, con alrededor de 1, 392,000 Km de diámetro. Éste nos provee de calor y luz día con día. Está constituido principalmente de hidrógeno con helio, unidos con una mezcla de elementos como hierro, oxígeno, carbón, neón, etc.



Atardecer en la ciudad

Desde la tierra vemos que su color varía entre rojo y amarillo, según el clima y posición en el cielo. Sin embargo, este color se debe al efecto de la dispersión que sufre la luz en la atmósfera; el color de este astro es blanco. Los astrónomos lo conocen como una estrella de clasificación⁴⁶ G2V, o estrella amarilla. El G2 nos dice que está en el intervalo de temperaturas de alrededor de los 5778 K y la V representa un número 5 romano, y nos dice que es de las estrellas que producen energía por la fusión nuclear del núcleo del hidrógeno a helio.

Una serie de complejos procesos químicos y de reacciones nucleares se llevan a cabo dentro del sol en sus diferentes capas; toda estrella tiene un ciclo de vida, movimientos de rotación y translación y campos magnéticos. Sin embargo, lo que nos interesa por ahora del sol es la parte del espectro que llega a la tierra, que es lo que interactúa con nosotros, sin importar cómo es producido.

Entre la Tierra y el Sol hay alrededor de 149 millones de kilómetros, que varían durante la trayectoria de la tierra en su órbita. La luz recorre esta distancia en aproximadamente 8 minutos, iniciando con una intensidad de 1368 W/m^2 . Esta intensidad es atenuada por nuestra atmósfera y recibimos unos 1000 W/m^2 , aproximadamente, según las condiciones meteorológicas.

Ver directamente al Sol sin protección alguna causa una ceguera temporal y eventualmente, un daño en la retina por la cantidad de intensidad de luz que penetra al ojo. También se ha relacionado que la constante exposición a los rayos UV produce el opacamiento del cristalino siendo un factor que contribuye a la formación de cataratas. Para hacer observaciones directas al sol se requieren lentes con capacidad de bloquear los rayos UV y de disminuir la intensidad de los rayos solares.

La radiación solar, como se ha comentado, es filtrada por la atmósfera terrestre. La WMO (World Meteorological Organization) usa el término "sunshine"⁴⁸, traducido literalmente como "resplandor solar", para definir el brillo del disco solar cuando excede la luz de fondo del cielo. Para fines del ojo humano, esto es cuando los objetos iluminados por el sol se les forma una sombra. Sin embargo, esta definición requería de mejoras, así que en el 2003 se definió la duración del "sunshine" como un periodo resultando de la suma de sub-periodos, donde la irradiancia del sol excede los 120 W/m².

Existe una relación para calcular la cantidad de radiación solar que llega a la Tierra y una forma de hacer la corrección por la atenuación atmosférica. Para la superficie extraterrestre tenemos que:

$$E_{ext} = E_{sc} \left[1 + 0.034 \cos\left(2\pi \frac{dn - 3}{365}\right) \right]$$

donde dn es el número del día del año, es decir para el 1° de enero dn=1, para el 1° de febrero dn=32, etc. Se usa un menos tres después del día porque se ha visto que el perihelio se alcanza alrededor del día 3 de enero; E_{sc} es la constante de iluminación solar, igual a 128×10^3 lx. Para poder obtener la estimación de la radiación que llega a la superficie terrestre tenemos que:

$$E_{dn} = E_{ext} e^{-cm}$$

donde c es el coeficiente de extinción atmosférica y m es la masa óptica relativa del aire. La masa del aire es la longitud del camino que sigue la luz a través de la atmósfera. Este número es relativo al zenit en el nivel del mar, donde por definición es 1, incrementándose conforme aumenta el ángulo entre la fuente y el zenit, alcanzando un valor máximo de 38 en el horizonte. Este número puede ser menor conforme aumenta la altura con respecto al nivel del mar, aunque esta diferencia es mínima. Para fines prácticos podemos calcular este índice con la fórmula de la atmósfera plana paralela, que se describe como $X = \sec z$, donde z es el ángulo del zenit.

Mientras que el coeficiente de extinción atmosférica varía con la altitud y lugar donde se mida, está compuesto de tres fenómenos: la dispersión de Rayleigh²⁴, por las moléculas de aire, la dispersión por aerosoles y la absorción molecular principalmente causada por el oxígeno y el ozono. La cantidad de extinción depende de la altitud del objeto, siendo menor en el zenit y aumentando conforme se llega al horizonte. Se calcula multiplicando la curva de extinción atmosférica estándar por la media de la masa del aire, calculada durante la observación.

La razón de flujo de la radiación electromagnética por unidad de área que incide en un plano perpendicular a los rayos a una distancia de una unidad astronómica, que se

conoce como la constante solar. Una unidad astronómica es aproximadamente la distancia entre el sol y la tierra, así que cuando se requiere calcular la constante solar fuera de la tierra, solamente se ajusta usando la ley del inverso del cuadrado de la distancia.

La constante solar incluye todo tipo de radiación y varía acorde a la época del año en alrededor de un 7%, de los 1.412 Kw/m² en enero a los 1.321 Kw/m² en el mes de julio. Considerando que la tierra tiene una sección transversal de 127, 400,000 km², la potencia de los rayos que llega a la tierra es de 1.740x10¹⁷ W ± 3.5%, que es el equivalente a aproximadamente a 1.96 calorías por minuto por centímetro cuadrado.

En estos valores está incluida toda la sección del espectro electromagnético que emite el sol, el cual está formado por frecuencias que abarcan desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. Nuestra estrella del sistema donde habitamos se aproxima a la radiación del cuerpo negro teniendo una temperatura de 5800 K, aproximadamente.

El espectro solar¹⁰ va desde los 100 hasta los 10⁶ nm, implicando que se compone de las siguientes regiones:

- Ultravioleta C o UVC, de los 100 a 280 nm, en su mayoría es detenido por la atmósfera.
- Ultravioleta B o UVB, entre los 280 a 315 nm, también absorbido pero en menor grado.
- Ultravioleta A o UVA, entre 315 a 400 nm, casi no es detenido en la atmósfera.
- Luz visible, desde los 400 hasta los 700 nm.
- Infrarrojo, de los 700 hasta los 10⁶ nm, que se dividen en:
 - Infrarrojo A, 700-1400 nm
 - Infrarrojo B, 1400-3000 nm
 - Infrarrojo C, 3000 nm – 1 mm

1.6 Atmósfera terrestre

Proveniente del griego “atmos”, vapor, y “sphaira”, esfera, es una capa de gases que rodea a un cuerpo con suficiente masa para mantenerla ahí por acción de la gravedad.³¹

En el caso de la atmósfera terrestre, ésta tiene la propiedad de absorber los rayos UV, mantener el calor de la superficie terrestre y evitar grandes cambios de temperatura entre el día y la noche.

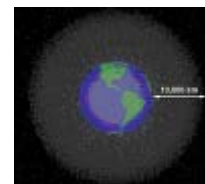
La atmósfera está compuesta en un 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno, .93% de argón, .038% de bióxido de carbono, 1% de vapor de agua y una muy pequeña cantidad de gases diversos. Se ha calculado su masa alrededor de 5x10⁸ kg, de los cuales las tres cuartas partes tienen un espesor de 11 km.⁴¹



Tierra vista del espacio

Las principales capas que constituyen la atmósfera son:

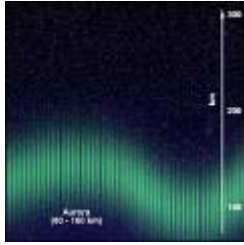
- Exósfera. La capa exterior de la atmósfera. No tiene un límite definido con el espacio exterior. Las partículas en esta zona están tan separadas que es complicado que colisionen entre



Atmosfera

ellas. Las partículas se mueven en ésta con puro viento solar y está compuesta principalmente por hidrógeno y helio.

- Termósfera. La temperatura se incrementa conforme se va ascendiendo en esta zona, pudiendo llegar hasta los 1500°C. La estación espacial internacional está orbitando en esta zona a una altura de 350 km aproximadamente. Su límite superior varía entre los 350 y 800 km, dependiendo de las condiciones solares. En esta capa es donde se producen las auroras, también la radiación ultravioleta produce la ionización del aire.



Termosfera

- Mesósfera. Aquí los meteoros son quemados en su

ingreso a la tierra y la temperatura comienza a disminuir con la altura.

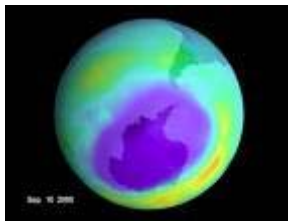
Es el lugar más frío de la tierra con una temperatura de alrededor de los -100°C.

- Estratósfera. Tiene aproximadamente 51 km de espesor y una temperatura que aumenta con la altura. Aquí se provocan las turbulencias y mezclas de aires, ya que la presión es de alrededor de una milésima de la que hay a nivel del mar.
- Tropósfera. Está alrededor de los 7 km de alto en los polos, y a los 17 km en el ecuador. Es la capa que inicia en la superficie terrestre y tiene temperaturas variables, según el clima de la región, ya que es calentada por el calor que emana la tierra.



Luces del norte

Dentro de estas regiones atmosféricas se encuentran diferentes secciones que se caracterizan por sus propiedades y los fenómenos que ocurren en cada zona:



Capa de ozono

- Capa de ozono. Está en la parte más baja de la estratósfera, entre los 15 y los 35 km, y tiene una concentración de 2 a 8 partes por millón.
- Ionósfera. Está entre los 50 y mil kilómetros, entre la exósfera y termósfera. Como su nombre lo dice, es la zona que se ioniza con la radiación solar y es aquí donde se forman las auroras.
- Homósfera y heterósfera. Está definida la zona por la composición química y su homogeneidad. La homósfera incluye a la tropósfera, estratósfera y mesósfera, y de este punto hacia arriba, se convierte en la heterósfera, donde la composición varía con la altitud.
- La capa planetaria fronteriza. Es la parte más cercana a la tierra. Su homogeneidad varía acorde a las condiciones climáticas y las turbulencias que se presentan en la zona.

Esta capa⁴¹ que cubre a la Tierra tiene propiedades como masa y densidad. Se ha calculado la densidad del aire a nivel del mar, alrededor de los 1.2 kg/m³. Este cálculo proviene de mediciones como la temperatura, presión y humedad, utilizando la ecuación de estado para el aire. La densidad atmosférica cambia acorde a la altitud de manera inversa. La masa de la atmósfera ha sido estimada según el National Center for Atmospheric Research en 5.1480x10¹⁸ kg con un rango de 1.2 a 1.5 x10¹⁵ producido por el vapor de agua.

La presión atmosférica se definió como 1 a nivel del mar, y se creó la unidad “atmósfera”. Esto equivale a 101.3 kPa, 760 torr o mmHg, 14.7 psi, ó 1.01 bar. Conforme se va ganando altura sobre el nivel del mar, la densidad de la atmósfera va disminuyendo a tal grado que a 5.6 km ha caído un 50%; como resultado de esto, la presión también va decreciendo de manera exponencial con el peso, esto es un aproximado de un factor de dos cada 5.6 km y un factor de e cada 7.64 km. Debido a los cambios de temperatura, peso molecular promedio y gravedad en las diferentes alturas, cada una de las zonas atmosféricas tiene su propia ecuación de modelado para el cálculo de la presión, ya que cada una se comportaría diferente que la que está más o menos cerca de la tierra (70 km aprox.).

En la atmósfera se producen varios fenómenos ópticos con la radiación solar. Estos efectos los percibimos como colores del cielo, auroras, etc.; el más común de ellos, que vemos a diario, es la dispersión que se da al interactuar los fotones. El fenómeno que da el color al cielo y al sol visto desde la tierra se llama dispersión de Rayleigh.

La dispersión de Rayleigh²⁴, nombrada así por su descubridor, Lord Rayleigh consiste en una interacción entre la radiación por partículas de mucho menor longitud de onda que la luz visible y ocurre cuando la luz viaja en sólidos o líquidos transparentes y con mucho mayor frecuencia en los gases. En una aproximación el tamaño de las partículas está parametrizado en una relación x , en función de la dimensión r y la longitud de onda:

$$x = \frac{2\pi r}{\lambda}$$

lo anterior funciona bien cuando $x \approx 1$. Las partículas de mayor tamaño se pueden explicar con la teoría de Mie; para las partículas que están dentro de esta aproximación se puede hacer la descripción de su intensidad con la siguiente relación:

$$I = I_0 \frac{1 + \cos^2 \theta}{2R^2} \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^4 \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right)^2 \left(\frac{d}{2} \right)^6$$

Donde R es la distancia a la partícula, θ es el ángulo de dispersión, n el índice de refracción de la partícula y del diámetro de la partícula; y el coeficiente de dispersión de Rayleigh se escribe como:

$$\sigma_s = \frac{2\pi^5}{3} \frac{d^6}{\lambda^4} \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right)^2$$

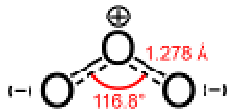
Como se ha mencionado nuestro cielo no es azul, ni el sol amarillo, sino que el color es producto de esta dispersión. A esto se le conoce comúnmente como luz celeste, luz celeste difusa o radiación celeste; la atmósfera dispersa las longitudes de onda cortas mucho más que las largas y, dado que, las más cortas longitudes que llegan son las azules, éstas son más difundidas que las rojas, lo cual provoca ese tono azul que se aprecia en el cielo lejos de donde está el sol. Sin embargo, cerca del amanecer y del atardecer como los rayos dispersos quedan tangentes a la tierra, son dispersos lejos de donde podemos ver, quedando sólo los colores de las ondas largas, es decir las tonalidades rojas con las que se ilumina el cielo.



Atardecer

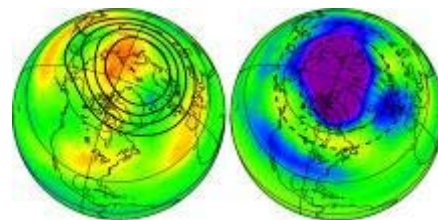
1.7 Capa de ozono

Durante mucho tiempo la capa de ozono era desconocida para la humanidad. Charles Fabry y Henri Buisson descubrieron su existencia en 1913 y fue hasta 1976 cuando se dieron los primeros reportes sobre una hipótesis de su extinción, comprobado después de innumerables estudios, que los responsables de este fenómeno eran los CFC (Clorofluorocarbonos). Estos se fueron prohibiendo con el paso de los años y la Organización de las Naciones Unidas, en su programa del medio ambiente, le ha dado seguimiento desde 1981, reportando una recuperación en el agujero de la capa.^{26, 36}

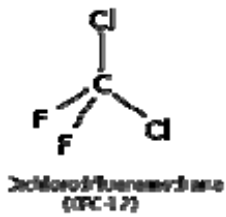


En ella se concentra, como su nombre lo indica, la mayor cantidad de ozono (O_3). Absorbe entre un 93% y 99% de la radiación de longitud de onda ultravioleta proveniente del espacio. Como se ha descrito, esta capa está localizada en la sección inferior de la estratósfera entre los 10 y 50 km sobre la superficie terrestre.³⁵

El ozono es un gas que se forma³⁶ naturalmente cuando las partículas de oxígeno son impactadas por un fotón de luz ultravioleta de 240 nm. Esta energía es la suficiente para romper el enlace del O_2 , los átomos se unen a una molécula de oxígeno produciendo tres átomos de oxígeno juntos, formando el ozono. Esta nueva molécula, al ser golpeada por luz ultravioleta de entre 310 y 220 nm, se disocia de nuevo y un átomo de oxígeno se libera produciendo de nuevo la molécula de O_2 . Este proceso se reproduce de forma continua en la atmósfera y es llamado el ciclo del ozono-oxígeno.

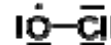
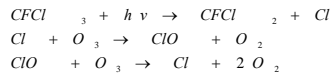
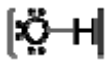


Evolución del agujero en la capa de ozono



Como es de conocimiento popular, durante mucho tiempo parecía que la capa de ozono se terminaría. En algún momento se calculó que la capa se reducía en un 4% por década desde los años 70, siendo más notorio este desgaste en la región antártica, lo cual es entendible dado que se ha visto el ciclo del ozono-oxígeno; sin embargo, este ciclo, que es de por sí más lento en esa zona, se ve mayormente afectado por la producción y existencia de ciertos gases.

Estos gases que afectan las concentraciones de oxígeno principalmente son los radicales libres de OH^\cdot , NO^\cdot , Cl^\cdot y Br^\cdot . En los años de uso del CFC se aumentó la cantidad de estos radicales que, al estar en la estratósfera destruyen las moléculas de ozono.

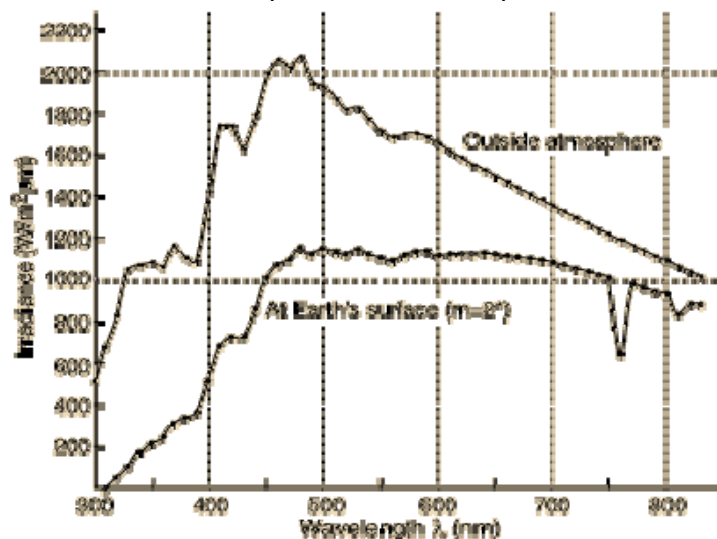


Reacciones químicas de la destrucción de las moléculas de ozono

El efecto de estas reacciones es una disminución de ozono en la zona. Este fue sólo un ejemplo de cómo el cloro afecta a la capa; sin embargo, como se mencionó antes hay muchos más gases que producen efectos catalíticos sobre el ozono.

Los efectos que produce la reducción del ozono sobre la tierra y, en especial, sobre la piel será visto más adelante, ya que la principal consecuencia de relevancia para este fin es la alta radiación UV que llegaría a la superficie terrestre, siendo que también implicaría un aumento en el calentamiento global que tanto ha estado en boga los últimos años.^{12, 13}

En la siguiente imagen de la irradiancia solar contra longitud de onda, una gran parte los la radiación ultravioleta es absorbida por el ozono o dispersada en la atmosfera,



lo cual implica que una persona promedio con una superficie corporal de 1.9 m^2 recibe mientras esta asoleándose al medio día en la playa, una energía equivalente a 3705 cal/min; al cabo de una hora, ha recibido 222300 calorías. En el siguiente capítulo se presenta las opciones para la protección de la radiación ultravioleta de una persona bajo el sol.

Capítulo 2

Bloqueadores y filtros solares

2.1 Bloqueadores y filtros solares

Mucho se habla hoy día de la importancia del uso de un bloqueador solar o filtro solar. Se dice que el sol diario puede producir no sólo quemaduras sino también aumentar el riesgo del desarrollo de enfermedades cancerígenas.³

Pero, ¿es cierto este aumento en el riesgo? ¿Realmente los productos que se comercializan resultan de ayuda a su prevención? ¿Llegará el momento de tener que usar estos cosméticos de manera cotidiana al salir de una sombra por unos minutos?²⁴

Antes de continuar se verá algo de historia y funcionamiento de estos filtros para ver su forma de acción y cómo se fueron desarrollando.

Los bloqueadores solares comerciales actualmente son vendidos en diferentes presentaciones y grados de protección solar. Los hay en gel, loción y recientemente en aerosol. Su función primordial es bloquear los rayos UV provenientes de la radiación solar, protegiendo a la piel de quemaduras. Su uso se recomienda en particular para pieles de color claro, que son más susceptibles a este daño.

También, en el mercado se pueden encontrar productos que se conocen como bronceadores, en presentaciones para interiores y exteriores. Los de interiores no cuentan con factores de protección solar ya que sólo se usan en camas y tratamientos de bronceado que ofrecen los spa y salones que se dedican a este servicio. Los bronceadores para exterior, además de contar con productos que bloquean selectivamente los rayos ultravioleta, cuentan con otros productos químicos que estimulan la producción de melanina, dando a la piel el tono deseado como resultado final. Más adelante se hablará de la melanina en la sección de riesgos/beneficios de exposición a la radiación solar.

2.2 Historia del bloqueador.

Hay varios que reclaman el éxito de la creación del primero bloqueador solar, sin embargo se han encontrado papiros egipcios que indican que ya en aquella época se usaban sustancias, como salvado de arroz, jasmín y extracto de lupino (*Lupinus spp.*), para mantener la piel clara, ya que se le consideraba más sana que la piel oscura.

En las épocas previas al siglo XIX se creía que las quemaduras en la piel por exposición al sol eran producidas por el calor; sin embargo, a inicios del siglo XX el avance en la ciencia permitió el descubrimiento de los efectos del sol y su radiación sobre la piel.

Carl W. Scheele publicó, en 1777, resultados de sus estudios donde la demostración fue que un papel mojado en solución de cloruro de plata se tornaba negro ante la exposición solar y que éste cambio se veía más afectado cuando era bajo la luz azul que la roja. En 1801 Johann W. Ritter, basado en los trabajos de Scheele, descubrió el rango del espectro ultravioleta y lo llamo infra violeta.⁴⁴

Para 1820 Everard Home buscó la respuesta del por qué la gente con piel oscura estaba mejor protegida en climas cálidos que la gente de piel blanca. Su intuición lo llevó a exponer sus manos al sol, cubriendo una de ellas con una tela negra. El resultado que obtuvo fue que la mano sin protección sufrió quemaduras mientras que la mano cubierta registró una temperatura más elevada. Así fue como concluyó que la melanina de las pieles oscuras protegía a la piel absorbiendo el calor.

Llegando a 1922, Karl Hausser y Wilgelm Vahle experimentaron con la piel cubriéndola con diferentes filtros sólidos cuando era expuesta al sol. Llegaron a la conclusión de que las quemaduras eran producidas entre los 280 y 315 nm. Sus experimentos llevaron a la producción de los primeros intentos de bloqueadores solares en 1928.

Muchos fueron los intentos de creación de bloqueadores efectivos y comerciales, pero fue hasta alrededor de 1930 donde Eugene Schueller, fundador de L'Oreal, tuvo éxito. Sin embargo, al mismo tiempo Franz Greiter creó una crema que llamó "Gletscher crème" (crema glaciaria). De tal suerte que hoy día no existe una versión oficial de quién fue el inventor original, sin embargo en la mayoría de los casos la invención se otorga a Schueller.

Benjamin Greene, por 1940, en los Estados Unidos preparaba en el horno de su hogar una sustancia roja gelatinosa, la cual, después de probar su efectividad en su propia cabeza calva, envió a las tropas durante la segunda guerra mundial con el nombre de "red vet pet". El nombre es derivado de "red veterinary petroleum-based". Esta nueva sustancia, no tan efectiva como los bloqueadores de hoy día, era algo pegajosa y manchaba la ropa lo cual la hizo sumamente impráctica para su comercialización. Poco tiempo después, Greene mejoró su fórmula haciéndola más amigable para el consumidor y así fue como nació Coppertone.

Con el nacimiento de Coppertone se generó menos miedo a las quemaduras por sol, provocando que el asolearse se volviera muy popular en esa época. Claro es que aquella crema era buena para prevenir quemaduras solares, pero no proveía una eficaz protección contra la radiación solar.

Franz Greiter no desistió en sus intentos de mejorar su crema y para 1962 desarrolló un método para medir lo que hoy conocemos como factor de protección solar (FPS), o FPS por sus siglas en inglés. Desde ese momento la industria del protector solar se convirtió en un gran negocio a nivel mundial, dejando ventas durante 1990 por cerca 525 millones de dólares.⁴⁴

Ya con tecnologías actuales las grandes compañías de ropa, en especial las deportivas, han incursionado en el desarrollo de materiales y han introducido al mercado ropa que cuenta también con FPS. Si se suma la protección que ofrecen la ropa, lentes, gorras y lociones se logra una barrera impenetrable contra la radiación solar mientras se esté expuesto al sol.

2.3 Ingredientes activos

En la lengua inglesa existen dos palabras para referirse a estos productos: “sunblock” y “sunscreen”, que si se traducen sería algo así como “bloqueador solar” y “pantalla solar” respectivamente. Aunque en la mayoría de los casos se usan indistintamente, ambos funcionan de manera distinta. Los “sunblock” protegen la piel reflejando los rayos solares. Generalmente estos productos son sustancias blanquecinas algo pegajosas pero muy efectivas, habitualmente se ven al aplicarse sobre el rostro dejando algunos rastros blancuzcos sobre la piel. Por otro lado, los “sunscreen” son una solución química que en los Estados Unidos está clasificada por la FDA¹⁷ (Food and Drug Administration) como una “drug” (medicamento) que absorbe la radiación ultravioleta que puede dañar la piel.

En general se tratarán como la misma sustancia ya que cada uno logra el objetivo deseado en diferentes formas. Con el avanzar de este texto se harán las diferencias necesarias cuando el caso así lo requiera.

Los bloqueadores solares están formados principalmente de:

- Compuestos químicos orgánicos como el oxibenceno, que absorbe la luz ultravioleta.
- Partículas inorgánicas que reflejan, dispersan y absorben los rayos UV; de uso muy común son el dióxido de titanio y el óxido de zinc.
- Partículas orgánicas que absorben la luz tal como los compuestos orgánicos pero con un mayor número de cromóforos, que es la parte de un átomo o molécula responsable del color y que es una sustancia con muchos electrones capaces de absorber energía.

Los ingredientes activos de un bloqueador solar generalmente incluyen moléculas aromáticas conjugadas con grupos carbonilos. Esta estructura permite la absorción de alta energía de los rayos UV y la liberación como rayos de baja energía, previniendo así el daño al no llegar radiación a la piel.⁴⁰

Hay que señalar ahora brevemente qué son una molécula aromática y un grupo carbonilo. Cuando nos referimos a una molécula aromática no es justamente que sea la que produce o emita el olor; en la química orgánica se le llama la aromaticidad a la propiedad de los hidrocarburos cíclicos conjugados, en la que los electrones de los enlaces dobles son libres de poder circular de un enlace a otro, ya sea simple o doble, dando una estabilidad mayor a la molécula que cuando permanecen fijos en su enlace. A estos hidrocarburos también se les conoce por hidrocarburos aromáticos, sin embargo el profundizar en este tema es ya cuestión de bastantes cursos de química orgánica. Por ahora basta con saber esto, y que el grupo carbonilo es un grupo funcional que consiste en un átomo de carbón, con un doble enlace, a un átomo de oxígeno.

Esta unión de compuestos aromáticos y carbonilos, además de la propiedad antes mencionada, no sufre cambios significativos bajo la luz, permitiendo una absorción de UV por mayor tiempo sin sufrir una foto degradación de forma significativa, a excepción de la

avobenzona, la cual se conjunta con otras sustancias como el helioplex, avotriplex para disminuir su velocidad de degradación.

La FDA tiene una lista de los principales ingredientes activos aprobados de los diferentes protectores solares que actualmente existen en el mercado:

Filtro UV	Nombre
Acido p-Aminobenzoico	PABA
Padimate O	OD.PABA, octydimethyl-PABA, σ -PABA
Ácido Phenylbenzimidazole sulfónico	Ensulizole, eusolex 232, PBSA, Parsol HS
Cinoxato	2-ethoxyethyl p-methoxycinnamato
Dioxybenzone	Benzopheonono-8
Oxybenzone	Benzopheonono-3, Eusolex 4360, Escalol 567
Homoslate	Homomethyl salicylicato, HMS
Menthyl anthranilate	Meradimato
Octocrylene	Eusolex OCR, 2-cyano-3, acido 3diphenyl acrylico, 2-ethylhexylester
Octyl methoxycinnamato	Octinoaxato, EMC, OMC, Ethylmethoxycinnamato, Escalol 557, 2-ethylhexyl-paramethoxycinnamato, Parsol MCX
Octyl salicylato	Octisalato, 2-ethylhexyl salicylato, Escalol 587
Sulisobenzone	Acido 2-hydroxy-4-methoxybenzophenone-5-sulfínico, acido 3-benzoyl-4-hydroxy-6-methoxybenzenesulfónico, Benzophenono-4, Escalol 577
Trolamine salisylato	Triethanolamine salicylato

Filtro UV	Nombre
Avobenzone	1-(4-methoxyphenyl)-3-(4-tertbutylphenyl)propano-1, 3-dione, BMDBM, Parsol 1789, Eusolex 9020
Ecamsule	Mexoryl SX, acido terephthalydine dicamphor sulfinico
Dióxido de titanio	CI77891
Oxido de Zinc	
4-methybenzylidene camphor	Enzacamene, parsol 5000, eusolex 6300, mbc
Tinosorb M	Bisotrizole, methylene bis-benzotrazolyl tetramethylbutylphenol, MBBT
Tinosorb S	Bis-ethylhexyloxyphenol methoxyphenol trazine, bemotrizinol, BEMT, anisotrazine
Neo heliopan AP	Bisdisulizole disodium, disodium phenyl dibenzimidazole tetrasulfonate, bisimidazylate, DPDT
Mexoryl XL	Drometrizole trisiloxane
Benzophenone-9	Uvinul DS 49, CAS 3121-60-6, sodium dihydroxy dimethoxy disulfobenzophenone
Uvinul T 150	Octyl triazone, ethylhexyl triazone, EHT
Uvinul A Plus	Diethylamino hydroxybenzoyl hexyl benzoato
Uvasorb HEB	Iscotrizinol, diethybenzamalonnate, polysilicone-15
Isopentenyl-4-methoxycinnamate	Isoamyl p-methoxycinnamate, IMC, neo heliopan E1000, amiloxate

Como se aprecia en la tabla anterior, los ingredientes activos que componen a los bloqueadores solares son muy diversos, por lo que explicar el funcionamiento de cada uno de ellos implica mucho trabajo y fuera del alcance de este texto. Como se vio en

párrafos previos, su forma de actuar sobre la piel se basa en dos principios: absorber rayos o reflejarlos y dispersarlos. En algunos casos se usa la Fotoliasa, una enzima que es capaz de reparar los daños producidos por los rayos UV sobre el ADN de la piel.

Según el FDA, en su informe sobre bloqueadores solares OTC^{17, 19} (“over the counter”, es decir que son bloqueadores que son vendidos de forma libre sin necesidad de receta médica) existe una dosificación para el uso de estos productos. La indicación de aplicación recomendada es de 2 mg/cm² en la piel expuesta y se deben realizar aplicaciones cada 2 ó 3 horas, o cuando se tenga contacto con agua, sudor o se haya secado o frotado la piel.⁹

Sin embargo, estudios sugieren que se tiene que aplicar cada 2 horas para mantener el efecto deseado, ya que de no hacerlo se ha relacionado con un daño celular mayor que si no se usa ningún tipo de bloqueador, dado que cuando el poder del bloqueador se ha agotado éste empieza a producir radicales libres derivados de las reacciones químicas provocadas por la interacción del bloqueador y la piel.²³

Aunado a esto hay que considerar que no todos los individuos usan la cantidad apropiada de producto, ya que en la mayoría de los casos sólo se usa de la mitad a un cuarto de la dosis recomendada. Esto impacta directamente en el factor de protección que indica el fabricante, ya que en este mismo estudio se verificó que el FPS puede disminuir en un factor que va desde la raíz cuadrada hasta la raíz cuarta, acorde a cómo se haya disminuido la dosis recomendada.^{28, 33}

2.4 Factor de protección solar

Los bloqueadores solares en sus inicios sólo se crearon para evitar quemaduras por la radiación proveniente del sol. Conforme se fueron descubriendo más efectos se fueron mejorando las técnicas y productos. De tal forma que hoy día hay una gran variedad de productos según el fin que deseemos y qué tanto se busca quemarse o broncearse. Así nació la necesidad de tener una medida para poder comercializar estos productos y tener públicos específicos a quién dirigirlos. No será la misma cantidad de protección la que requiera alguien de piel muy clara, morena o totalmente oscura.

El FPS o factor de protección solar es hoy día la medida que se obtiene en pruebas de laboratorio para indicar la efectividad del bloqueador. Entre más elevado sea este número más protección ofrecerá contra la radiación solar. Este número es definido por la FDA como cuánta energía solar se requiere para producir una quemadura de sol en una piel protegida relativa a la cantidad de energía solar que se requiere para producir la quemadura solar en una piel desprotegida. En general esta medida resulta muy relativa, ya que varios factores dependen de la eficacia del producto usado. Las principales causas de afectación son el tipo de piel, la cantidad de bloqueador aplicado y la frecuencia de reaplicación.¹⁸

Un error popular es que se piensa que el FPS es directamente proporcional al tiempo de exposición. Es decir que si en la piel de una persona se producen quemaduras por sol en una hora, al usar un bloqueador con FPS 15 no implica que pueda estar 15 veces más tiempo expuesto al sol sin sufrir alguna quemadura. Este factor, más que estar relacionado con el tiempo, está relacionado con la cantidad de energía solar que se recibe; por ejemplo, una hora de exposición solar a las 9 de la mañana es el equivalente a 15 minutos de la una de la tarde, como se vio en páginas anteriores. También hay que tomar en cuenta la altitud geográfica, ya que las altitudes más bajas registran la mayor cantidad de energía solar.^{11, 14}

Antes de entrar en detalle sobre el FPS, hace falta definir qué es lo que se considera oficialmente una quemadura por sol. Se dice y se han hecho estudios sobre la exposición de rayos UV y su consecuencia sobre la piel, la que se vuelve susceptible a desarrollar tumores benignos. Hasta ahora, esto ha sido teóricamente controlado con el uso de bloqueadores. Sin embargo acorde a otros estudios, estos bloqueadores no previenen el cáncer en la piel, ya sea porque no bloquean los suficientes rayos ultravioleta o por que las personas se confían en la protección y exceden el tiempo de exposición del que el producto usado resulta efectivo.^{9, 43}

Hay quien recomienda una ligera exposición al sol diariamente, de tal forma que los niveles de melanina, la substancia protectora del cuerpo contra las quemaduras solares, se eleven cotidianamente y generar una mayor protección natural a las quemaduras solares. Cuando esto no es posible y se supera la producción de melanina, por radicación UV ya sea de forma natural o artificial, el ADN de las células es dañado y un mecanismo protector extra se activa enviando una señal de sustitución de células. Cuando esta sustitución no puede ser llevada a cabo normalmente y existen errores en las replicas del ADN nos da como resultado un melanoma maligno. Claro, lo anterior resulta la versión fatalista de la exposición solar, en general este proceso sucede de forma cotidiana y nos ha sucedido muchas veces cuando después de una prolongada exposición al sol ocurre el normal cambio de piel.^{4, 33, 47}

Cuando la radiación UVB llega a la piel, en particular al ADN celular, se produce un daño en la formación de los dímeros de tiamina-tiamina.² El daño alerta a las defensas del cuerpo, que entre otras cosas, envían una mayor cantidad de melanina para proteger de mayor daño y la reparación del ADN dañado. La melanina transforma los fotones de UV en energía calorífica sin generar radicales libres, cumpliendo su función como foto protector contra el daño celular.

Una quemadura por sol es caracterizada por eritema, o enrojecimiento de la piel, acompañada de dolor en la zona y alrededores. También habrá, según la severidad de la quemadura, edema, comezón, despellejamiento, erupción y, en algunos casos, náusea y fiebre. Además se puede notar una emanación de calor de la zona afectada mientras dura el proceso de sanación. En los casos de una exposición prologada la quemadura puede llegar a ser la que se conoce de segundo grado, y se manifiestan con la aparición de llagas, ampollas y una fuerte deshidratación en la zona.

El proceso de regeneración de una quemadura por sol es el mismo que la provocada por otro factor. Dependiendo del origen, el color rojizo puede aparecer de inmediato o hasta 2 a 6 horas después de la exposición. El dolor llegará a su máximo de 6 a 48 horas después y la quemadura habrá sido reparada en un lapso de entre 24 y 72 horas. La pérdida de piel puede durar de 3 a 8 días, acompañada de comezón y ardor ligero.

Muchas son las recetas y remedios caseros que han sido heredados para el tratamiento y curación de las quemaduras. El primer paso es no volver a exponer la parte afectada al sol en lo que la regeneración tisular se lleva a cabo, lo cual nos lleva al principal y mejor remedio para su curación: tiempo, sólo darle tiempo a la lesión es lo que llevará a su mejoría. Del mismo modo en caso de existir llagas o ampollas sobre la piel, es importante no reventarlas ni tratar de forzar su reparación ya que esto afecta el proceso natural de recuperación. Existen una serie de medicamentos que pueden ser usados para el alivio de los síntomas colaterales producidos por el daño, los más comunes son el uso de lidocaína y benzocaina como anestésicos tópicos para aliviar el dolor causado por la piel en recuperación. También es común el uso de cremas y ungüentos con aloe vera y vitamina E que se dice son útiles para la rehidratación. La hidrocortisona resulta el tratamiento médico preferido para reducir la inflamación y la comezón de las heridas.

Entre las recetas caseras se ha demostrado que ninguna de estas es efectiva ante el tratamiento de quemaduras, ni la piel de cebolla, ni la mantequilla u alguna otra sustancia comestible. De los procesos rescatables que se usan en casa, el tomar baños de agua no demasiado fría, el uso de compresa de telas mojadas igualmente en agua fría y evitar el uso de hielo sobre las lesiones son los de mayor recomendación. En caso de que una ampolla se rompa hay que evitar quitar el pedazo de piel que queda encima y tratar de drenar la mayor cantidad de líquido y cubrir con una gasa no demasiado apretada. Y siempre estar atento de posibles infecciones de la piel cuando por las heridas haya porciones de piel viva expuesta al ambiente.

Una vez que se vio lo que es una quemadura, hay que retomar el tema del FPS. Como se mencionó en sus inicios sólo se veía la preocupación de evitar la quemadura, sin embargo con los descubrimientos y avances de la ciencia se llegó a descubrir que los rayos UVB no son los únicos que provocan daños a la piel. Si bien son los responsables de las quemaduras, los UVA provocan un daño invisible de corto plazo pero muy terrible con el paso del tiempo. Hoy día no se cree que ni los bloqueadores de amplio espectro, que dicen ser capaces de bloquear UVA y UVB, logren evitar el riesgo del melanoma maligno.

En algunos países se han implantado normas para la venta de bloqueadores solares y la manera en que son etiquetados, dado que la confusión que genera un número FPS estaba provocando un aumento en el número de casos de melanoma. Así fue como en la comunidad europea sólo se permite que existan productos con la indicación que su FPS es 60+, Australia tiene un límite superior de 30+, mientras que en México desconocemos de esa regla, los Estados Unidos propusieron un sistema de "estrellas" para indicar el nivel de protección. En EUA es requerido un test *In vivo* para la determinación y comprobación de la efectividad del FPS¹⁵, sin embargo también es posible realizar estudios *In vitro* a través de un espectrofotómetro, donde se determina la transmitancia a

lo largo de todo el espectro UVB poniendo especial énfasis en las longitudes de onda que causan la quemaduras.

Ya que sólo los UVB son los que causan daños inmediatos, el FPS de un producto sólo hace mención sobre la protección sobre esos efectos. Así que un bloqueador, por muy alto FPS que indique, sólo será la cantidad de energía de UVB que absorberá pero no mencionará nada sobre sus beneficios contra los UVA.

Se desarrolló un método *In vivo* para medir el grado de bloqueo de los productos sobre el espectro UVA. Este método consiste en medir el grado de obscurecimiento de la piel o el nivel de bronceado en vez de usar el nivel de eritema o enrojecimiento que se usa para la medición del FPS. Se nombró como “pigmento persistente de obscurecimiento” (Persisting Pigment Darkening o PPD), y resulta el método predilecto por L’Oreal. Otras organizaciones como Colipa⁷ (The European Cosmetics Association) han publicado un método de medición *In vitro* para los UVA, mientras que en EUA se está promoviendo una ley que obligue a que un protector solar, para que pueda ser comercializado, contenga un factor de protección UVA de al menos 1/3 del FPS, incluyendo un sello que llevarán esos productos.³⁴

En el Reino Unido e Irlanda, la compañía Boots creó un sistema de estrellas, para indicar el grado de protección que ofrecen sus productos, en el cual se mezcla de alguna forma la cantidad de protección entre UVB y UVA. Era el de 1 estrella el menos protector y 5 el máximo. Esta clasificación se obtiene a través del análisis *In vitro* del producto en un espectrofotómetro; la Colipa mejoró este proceso poniendo más requisitos para la prueba con lo que cambio la clasificación a la actual de 3 estrellas mínimo 5 máximo. La FDA, en el 2007, propuso el seguir esta clasificación de los productos para facilitar su información de venta a los consumidores; sin embargo, aún no es puesta en operación.^{4, 7, 16, 17}

Acorde con la sociedad americana del cáncer³ un FPS de 15 bloquea alrededor de un 93% de radiación UVB, mientras que un FPS 30 un 97%, un 50 alrededor de 98%, sin embargo no dice nada sobre la zona de UVA; y que lo que indica el FPS, no es más que el tiempo que puede permanecer una persona protegida bajo el sol basado en el tiempo que le toma el mostrar una queadura de piel sin protección; es decir si una persona sin protección se quema a los 15 minutos usando un FPS 15 se quemará ahora a los 225 minutos, mientras que si se usa un FPS de 80 se podrá permanecer en el sol antes de ver la primera quemadura por un periodo de 1200 minutos. Sin embargo, no obstante estos resultados la organización recomienda se re aplique cada dos horas y no exponerse al sol en las horas medias del día.³

Hoy día, en el mercado mexicano encontramos bloqueadores solares que nos dan un índice de protección solar de hasta 120 o más, mientras que en otros países se ha frenado este índice o se ha cambiado por un sistema de fácil comprensión. Lo anterior lleva a pensar que aún existe una malicia por aprovecharse del consumidor que busca “lo mejor y más poderoso” en la mayoría de sus compras.

2.5 Factores de riesgo/beneficio de la exposición solar

Existen daños severos, y en algunos casos letales, que se dice se producen de una prolongada exposición a la radiación solar, o más bien a rayos ultravioleta. El primero y más frecuente es el basaloma o carcinoma de células basales, el cual aparece principalmente en la cara. Aunque no es letal sí tiene efectos severos como son sangrados, destrucción de la zona afectada y el desfiguro que provoca al dañar las células faciales. Su nombre viene de que las células que sufren el daño son las del estrato germinativo basal, la última capa de la piel.

Otro daño es el cáncer de piel escamo celular, el cual aparece como parches grandes y rojizos sobre la piel en general de más de una pulgada, los cuales son descamativos y con costra. Este tipo de cáncer es de mayor crecimiento que el basal pero aun así es lento, teniendo además la diferencia que es factible que se haga una metástasis a órganos internos. La forma más común de tratamiento de este padecimiento es la remoción del área afectada, si es que ésta no es muy amplia; en ese caso se procede con raspado, electro desecación, radiación o quimioterapia.

Cuando estas células son estimuladas se produce un proceso que se llama melanogénesis, el cual da ese color bronceado, que en las pieles blancas al tener un nivel bajo no presenta cambios significativos. Sin embargo si en este proceso se llega a alterar, en especial por la exposición a rayos UVB, la melanogénesis da como resultado el daño del ADN produciendo los melanomas. El color de la piel no va en relación a la cantidad de melanocitos que tenga un individuo, sino a la actividad que estos tengan, lo cual es regulado por procesos hormonales. En el caso de las personas albinas, sufren ya sea de una baja producción de melanina, llamada hipomelanismo, o bien de su total ausencia, denominada amelanosis.

Ahora que ya se tiene un poco de idea de los principales padecimientos que puede sufrir la piel por la posible exposición prolongada a los rayos UV, se verán algunos factores y argumentos del riesgo/beneficio.

La principal discusión se centra en que algunos de los ingredientes que contienen los bloqueadores solares pueden llegar a ser los detonantes de un cáncer. También, se discute que la falta de rayos ultravioleta provoca la falta de vitamina D en el cuerpo, y sobre la protección que de manera incompleta brindan los bloqueadores solares ya sea por no cubrir todo el espectro, por errores en la dosificación o exceso de confianza en el bloqueador aumentado los tiempo de exposición solar.^{22, 23, 28, 33}

Han existido un sin número de estudios sobre la relación que existe entre el melanoma maligno y el uso de bloqueadores. En dichos documentos se compara a los usuarios que gustan cotidianamente del uso del producto con los que casi nunca lo aplican, encontrando que quien gusta de frecuentemente aplicar bloqueadores durante sus baños de sol aumentan su tiempo de exposición teniendo de cualquier forma no sólo el mismo

riesgo si no un poco mayor del desarrollo del melanoma en comparación a quien sufre rápidamente una quemadura por sol.^{9, 14, 21}

En otros estudios sólo se logra concluir que las personas de piel más clara recurren con mayor frecuencia al uso de bloqueadores. Sin embargo también tienen mayor presencia de algún tipo de cáncer; pero ha sido imposible poder localizar una relación entre causa y efecto sobre esta conducta. La mejor relación que se menciona es el hecho de que el constante uso de cosméticos impide que se desarrollen los mecanismos naturales de defensa del cuerpo, de tal manera que cuando el efecto del bloqueador termina la piel se ha visto expuesta a una mayor cantidad de radiación UV no bloqueada por el producto más la que se suma a la que recibirá con el tiempo de exposición excesivo, sin decir que el uso constante disminuye la capacidad de producción de melanina progresivamente. Sin embargo estas conclusiones siguen siendo de manera correlacional más que efecto causal.²⁸

Recientemente se ha relacionado a un ingrediente de los bloqueadores solares como el principal causante de cáncer: el PABA (ácido 4-amino benzoico), el cual causa daño al ADN al ser expuesto a la luz. Al poco tiempo de haber llegado a este resultado el PABA fue prohibido en estos productos. Al igual que el PABA, otro ingrediente, el PBI (Fenilbenzimidazol) causa el mismo daño al estar en contacto con la luz y las bacterias o keratinocitos humanos.²³

Una de las complicaciones con los productos tópicos de la piel es la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS por sus siglas en inglés). De estas especies de las que más se habla hoy en día es la de los radicales libres; En los anuncios comerciales los fabricantes de cremas antiarrugas ofrecen eliminarlos, haciéndolos los responsables de las arrugas. En general este tipo de especies son iones de oxígeno y peróxidos.

La forma en que los ROS (Reactive Oxygen Species) actúan se debe a que contienen un número impar de electrones en su capa de valencia, produciendo la oxidación. Estos elementos están presentes en las reacciones naturales del cuerpo. Sin embargo, cuando se alcanzan altos niveles de estrés por causas ambientales, como son la prolongada exposición a rayos UV o calor extremo, los niveles de las ROS se elevan causando entonces las reacciones que resultan perjudiciales para las células de la piel.

Sin embargo, la naturaleza es sabia y dotó al cuerpo de mecanismos naturales de defensa contra los ROS. A través del uso de enzimas y de moléculas antioxidantes el organismo neutraliza los peligros. Como se dijo antes, cuando por alguna razón los niveles de los ROS rebasan la capacidad de neutralización estos pueden llegar a producir daños al ADN.

Algunos de los ingredientes que componen los bloqueadores solares se han relacionado con la generación de los radicales libres ante la exposición a la luz de frecuencias que corresponden a la radiación UVA. Una vez que se ha tenido el tiempo de absorción del producto en la piel, en especial de octocrileno, octinoxato y oxibenzona, se ha demostrado

que la cantidad de ROS es mucho mayor que en los usuarios que no gustan del uso de bloqueadores.

En párrafos anteriores se mencionó que la FDA considera a los filtros solares como “drugs”, esto es el equivalente a un medicamento, mientras que la comunidad europea los tiene clasificados como cosméticos y son regulados por la Colipa. Esta diferencia se debe a que del 1% al 10% de los ingredientes activos son absorbidos por el cuerpo a través de la piel. Para la FDA esto ya es considerado como una droga ya que involucra procesos en el interior del cuerpo y provoca que se tenga que desechar por la orina. Al haber absorción corporal se tiene otro efecto que no había sido considerado antes: la cantidad de sustancia que se encuentra al interior del organismo aumenta de manera gradual al aplicarse producto. Esto conlleva a que se tenga que considerar el tiempo y frecuencia de aplicación con el tiempo de exposición, ya que provocará un mayor aumento en el número de ROS que se generen.

La vitamina D también se ha visto envuelta en el desarrollo de los bloqueadores solares. En diversos estudios se señala la deficiencia de esta vitamina por el constante bloqueo de los rayos solares que son un factor importante en la formación de esta vitamina. Los productos que indican un FPS de 8 pueden reducir en un 95% la producción vitamínica. En resumen, la vitamina D se forma cuando el compuesto 7-dehidrocolesterol es irradiado con luz, produciendo una vitamina liposoluble. Por supuesto, siempre la ingesta de vitamina suplementaria en forma oral puede llegar a ser una opción ante la ausencia de producción de forma natural, sin embargo nunca será tan recomendable como si desarrollo natural.

La deficiencia de la vitamina D es el principal causante del ablandamiento de los huesos, conduciendo a la conocida osteoporosis; también se tiene una mayor predisposición enfermedades autoinmunes. Cabe señalar que también se ha notado la misma deficiencia de esta vitamina en personas que están expuestas por tiempos muy prolongados a la luz solar.

Así que hasta ahora no hay una conclusión si resulta bueno o malo la exposición o no a la luz solar. Se ha visto en algunos casos que bastan alrededor de 10 a 15 minutos bajo los rayos solares dos o tres veces por semana cuando existe un índice de UV mayor a 3 para producir la vitamina D suficiente para un balance adecuado. Aun así, usando productos bloqueadores solares, si estos reducen en un 95% la producción, quiere decir que solo habrá un 5% en el lapso de los 15 minutos; lo cual implica que entonces bastaría ahora el exponerse a la luz solar por alrededor de 3.5 a 5 horas para lograr los niveles deseados.

En 1981, en Australia se inició una campaña que se denominó “Slip-Slap-Slop”, que se basaba en la recomendación de “slip on a shirt, slop on sunscreen, and slap on a hat”, es decir, usar una camisa, untarse bloqueador, y usar un sombrero. La campaña era promovida por una gaviota de nombre Sid, la cual a los pocos años también recomendaba usar lentes oscuros y buscar la sombra; aumentando a “Slip, Slop, Slap, Seek, Slide” agregando el “Seek shade, slide on some sunnies”.

Aunado a los riesgos/beneficios sobre la exposición a los rayos solares, el factor social también se involucra en esta discusión y lo que conlleva un bronceado. Primero hay que saber que la palabra bronceado, según el diccionario significa dar color de bronce, o bien, dicho de la acción del sol o de un agente artificial: Dar color moreno a la piel. Se puede deducir entonces que broncearse es oscurecer la piel sin importar si es un método natural o artificial, o si fue de manera voluntaria o involuntaria.

Aunque suene algo raro de inicio, casi todos nos bronceamos de manera involuntaria, como se vio anteriormente este oscurecimiento es provocado por el aumento de melanina en la zona expuestas a la radiación UV; hoy día se cuenta con camas de bronceado que pueden emparejar el color de la piel para lograr un bronceado uniforme, evitando esas líneas que según regiones y culturas, resultan molestas o poco atractivas, o bien se han desarrollado cremas blanqueadoras de piel para regresar al “tono natural” según profesan algunos comerciales.

Se tenga o no la necesidad o gusto de oscurecer o aclarar nuestra piel, el principal punto es la exposición al sol. Quien gusta de tener el color bronce en la piel o quien solamente desea eliminar las líneas de bronceado o marcas de sol, requerirá del uso de cremas de bronceado específicas teniendo que pasar mucho tiempo bajo la superficie solar. Hay casos como los europeos donde no tienen la misma cantidad de sol que países con un clima más estable, esto llevó a la necesidad de la creación de lámparas artificiales emisoras de radiación UVB, para que en el interior de una cama de bronceado se consiga el resultado deseado, inclusive mejorando lo que se puede producir con el sol.

Las primeras camas de bronceado que se tienen registradas datan de 1978, pero no fueron comerciales y populares hasta mediados de los 80 y puestas bajo una regulación en EUA en 1999. Desde sus primeros diseños, las camas de bronceado no han sido modificadas en muchos aspectos. En general siguen siendo los mismos principios de funcionamiento, sólo se han mejorado las lámparas para lograr cada vez un mejor efecto más duradero y en menor tiempo de sesión.

Mucho se ha discutido sobre el beneficio o perjuicio que producen estas lámparas bronceadoras, ya que su funcionamiento se basa en la emisión de rayos UV, los cuales no por ser artificiales dejan de ser perjudiciales. La ventaja que ofrecen estas camas es que en cuestión de un corto tiempo se obtiene lo que no siempre se logra con los rayos solares, ni siquiera en tiempos mayores.

Además de las camas de bronceado y bronceadores para exterior, existen cremas de bronceado instantáneo, a través de un compuesto de nombre dihidroxiacetona, que fue descubierto sin la intención de buscarlo al usarse como medicamento para los que padecían una falta de habilidad para almacenar glicógeno. Cuando algunos pacientes vomitaban al darles el medicamento vía oral, Eva Wittgenstein, la responsable de los pacientes, notó que las partes del cuerpo que habían sido tocados por la émesis se tornaban café a las pocas horas. Como todo buen descubrimiento, al principio resultó impráctico, sin embargo con el paso de los años se mejoró el producto hasta que la

mayoría de los bronceadores cuentan un pequeño porcentaje de DHA entre sus ingredientes activos.

Como hay quienes buscan el bronceado perfecto, hay quienes les desagradan algunos tonos de piel. La industria cosmética ha desarrollado cremas que hoy día se venden como aclaradoras de piel, que se basan en la inhibición de la enzima tiroxinasa, que es la responsable de convertir la tirosina en melanina. Aunque la investigación sobre estos productos continua, es difícil encontrar un producto químico artificial que logre igualar a los blanqueadores naturales. El ácido kojico que se produce por un microbio llamado *Aspergillus oryzae* es no sólo un blanqueador natural sino también un antibiótico. Otro blanqueador natural es el extracto de mora y la vitaminas C y E; muchos producto bloqueadores solares incluyen alguno de estos ingredientes para minimizar los efectos de la exposición al sol.

En el capitulo siguiente se presenta la metodología para la evaluación del parámetro de la absorbancia, de cada producto.

Capítulo 3

El experimento

3.1 Antecedentes

Las principales reguladoras de cosméticos y medicamentos se han dado a la tarea, por varios años, de buscar el mejor método de medición de la eficacia de un bloqueador solar *In vitro*⁷. Generalmente los bloqueadores eran probados *In vivo* —ya sea bajo los efectos directos del sol basado en tiempos de exposición—o bajo luces artificiales donde puede ser controlada la longitud de onda y la energía de la radiación. Los métodos *In vivo* resultan de utilidad para una referencia práctica; sin embargo estos varían de persona a persona y de piel a piel. De esto surgió la necesidad de clasificar tipos de piel acorde a su color y la forma en que se queman o broncean.

Otro problema surge del método *In vivo*. Aunque es de gran ayuda para la medición de los efectos de los bloqueadores de la radiación UVB, el método resulta inoperante para obtener resultados con la radiación UVA, ya que los efectos de esta frecuencia se basan en la interacción del producto con la piel y células donde es aplicada.³⁴

La Colipa⁸ utiliza los dos métodos, mismos que han sido aceptados de manera internacional por la FDA y otros organismos reguladores a nivel mundial.

Para el método *In vitro* se coloca una muestra del producto acorde al tamaño del sustrato según la dosis recomendada. El sustrato es una placa de plexiglás con una de las caras con asperezas de tal forma que la mezcla quede uniforme sobre la superficie y sea más complicado que fluya. La emulsión se deja reposar unos minutos en la obscuridad total para después exponerla a los rayos UV a las frecuencias, tiempos y energías predeterminadas según lo que se desee medir.

Las energías y frecuencias son acorde al momento de la radiación solar que se quiere simular, mientras que el tiempo de exposición varía con el FPS que se está midiendo. La preparación del equipo se hace previo a la aplicación de la mezcla sobre la placa, ya que esto se hará lo más alejado de la luz solar posible y de preferencia de cualquier emisión de luces que se sospeche emite radiación UV, para garantizar que el producto no pierda eficacia en lo que se inician las mediciones.

El método *In vivo*, para la Colipa⁷ y para algunos otros organismos, se realiza con voluntarios que cumplan con algunos requisitos de piel. El método para esta medición se le conoce como *Persistent Pigment Darkening Method* o PPD (método de obscurecimiento persistente de pigmentos). Éste utiliza la radiación UV, para lo cual se expone la piel de los voluntarios—quienes tienen secciones de piel que van sin protección, pasando por los diferentes niveles de FPS hasta alcanzar el máximo a ser evaluado.

Los tiempos de exposición pueden ser estimados antes del experimento, o bien ser medidos directamente. Sin embargo esto es un proceso largo ya que cada individuo tiene que pasar aproximadamente unos 8 meses sin exposición al sol para poder ser parte del experimento de nuevo.

Así que se han estipulado tiempo aproximados, basados en la experiencia y las mediciones previas. Los tipos de piel que tiene Colipa⁸ se basan en dos escalas, la primera es conocida como la de Fitzpatrick y la segunda se basa en la calcificación de colores, conocida como CIELab.

La escala de Fitzpatrick clasifica a las pieles según su reacción ante las quemaduras y el bronceado en los primeros 30-45 minutos de exposición al sol, siendo:

Tipo I: se quema siempre fácilmente y nunca se broncea

Tipo II: se quema siempre fácilmente y se broncea un mínimo

Tipo III: se quema moderadamente y se broncea de forma gradual

Tipo IV: se quema mínimamente y se broncea siempre bien

Tipo V: rara vez se quema y se broncea profundamente

Tipo VI: nunca se quema y esta pigmentada profundamente

Para los fines de las mediciones se prefiere usar personas con tipo I, II y III sin bronceado previo. Sin embargo esta escala resulta algo subjetiva ya que se basa en la experiencia y juicio del responsable de las mediciones para realizar la clasificación.

La escala basada en la clasificación de CIELab, se considera el *Individual Topology Angle* o ITA (Ángulo topológico individual), que se obtiene de los valores de la escala CIELab, de la siguiente manera:

$$ITA^{\circ} = [\text{Arc Tangente } ((L-50)/b)] 180/\pi$$

Donde L y b son los parámetros de la escala CIELab, quedando la clasificación:

Muy clara: $ITA^{\circ} > 55^{\circ}$

Clara: $ITA^{\circ} > 41^{\circ}$ a 55°

Intermedia $ITA^{\circ} > 28^{\circ}$ a 41°

Cobrizo $ITA^{\circ} > 10^{\circ}$ a 28°

Café $ITA^{\circ} > -30^{\circ}$ a 10°

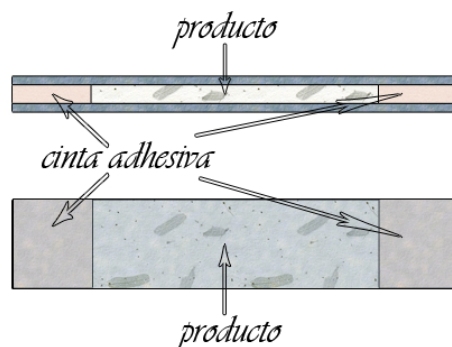
Negra $ITA^{\circ} \leq -30^{\circ}$

En esta escala se buscan individuos que tengan una ITA° mayor que 28° .

3.2 Metodología

En el presente estudio se midió la forma en que los bloqueadores solares interactúan con la radiación ultravioleta; usando un espectrofotómetro se midió la absorbancia de diferentes muestras de bloqueadores solares (sunblock), pantallas solares (sunscreen) y bronceadores solares (suntan). En todos los casos el fabricante hace referencia a un FPS.

- Se utilizó un espectrofotómetro de la marca Milton Roy Spectronic Genesys 5, con las siguientes especificaciones:
 - Rendija espectral: 5 nm
 - Rango de longitud de onda: 200-1100 nm
 - precisión: +/- 1 nm
 - incertidumbre: +/- 0.5 nm
 - Display: Gráfica, LCD retro iluminado.
 - Velocidad de escaneo: 300 nm/min (1pt/1nm) o 900 nm/min (1pt/3nm)
 - Lectura fotométrica: Absorbancia y % Transmitancia
 - Rango fotométrico: -0.1 a 4.0 A; 0-125%T
- Se ordenaron los productos de manera ascendente acorde a su factor de protección solar.
- Se usaron cubreobjetos de vidrio crown de un espesor de 170 micras.
- Se realizó el proceso de estabilización que requiere el aparato verificando que hubiera lectura de cero al estar sin ningún tipo de muestra.
- Se utilizó cinta adhesiva de presión invisible para separación entre los cubreobjetos, la cual se midió con un vernier digital obteniendo un grosor de 50 micras.
- En los extremos del cubreobjetos se colocó cinta adhesiva para crear un espacio de separación -de 50 micras- entre ambos.
- Se midió como referencia dos cubreobjetos con la separación entre ellos vacía.
- Se colocó la muestra en el hueco que se formó entre los cubreobjetos quedando una preparación como se aprecia en el siguiente diagrama.



- Se obtuvo el espectro de absorbancia de 200 nm hasta 500 nm para cada una de las muestras, en modo de barrido rápido (1 punto cada 3 nm).
- Se almacenó el archivo en formato ASCII para después ser exportado a Microsoft Excel.
- El proceso se repitió para cada muestra.

- Se hicieron y midieron muestras nuevas de algunos bloqueadores con lo que se tuvo mayor referencia y se corroboró que los resultados son reproducibles.
- Se expusieron muestras al sol durante 120 minutos, tomando medidas cada 30 minutos.
- Se hicieron y midieron muestras con grosores 50, 100, 150 y 200 micras, así como de una muestra sin cinta adhesiva como separación.
- Los datos obtenidos se analizaron y graficaron usando Microsoft Excel.

Los productos medidos se enlistan en la siguiente tabla:

	Producto	FPS	Tipo	Ingredientes activos	Cad.
1	Suntan lotion	4	Crema bronceadora	Octinoxato, oxibenzona	N/A
2	Coppertone	4	Crema bronceadora	Octinoxato, oxibenzona	Sep-07
3	Bannana boat	30	Crema protectora	Octocrileno, oxibenzona, Avobenzona	Sep-12
4	Coppertone	30	Crema protectora	Avobenzona, homosalato, octisalato, octocrileno, oxibenzona	N/A
5	No-ad	30	Crema bloqueadora	Octisalato, oxibenzona, octinoxato	Oct-08
6	Sunny day	30	Crema bloqueadora	Octocrileno, oxibenzona, avobenzona	Jun-12
7	Coppertone	30	Crema bloqueadora	salicilato de octilo, octocrileno, oxibenzona, homometil salicilato	Dic-08
8	Hawaiian Tropic	45+	Crema bloqueadora	Octinoxato, octisalato, dióxido de titanio	N/A
9	Coppertone	45	Crema bloqueadora	Octocrileno, octinoxato, oxibenzona, salicilato de octilo, sulfato de bario	Dic-08
10	Coppertone	45	Crema bloqueadora	Oxibenzona, octinoxato, salicilato de octilo, homosalato	N/A
11	Bannana Boat	50	Crema protectora	Octocrileno, oxibenzona, avobenzona	Dic-12

12	Nivea niños	50	Crema bloqueadora	Octinoxato, dióxido de titanio, etilhexil triazona	N/A
13	Coppertone	50	Crema protectora	Avobenzona, homosalato, octisalato, octocrileno, oxibenzona	Abr-12
14	Hawaiian Tropic	60+	Crema bloqueadora	Octocrileno, oxibenzona, avobenzona	N/A
15	Hawaiian Tropic	70	Crema bloqueadora	Octocrileno, oxibenzona, avobenzona	Feb-12
16	Coppertone	70+	Aerosol protector	Avobenzona, homosalato, octisalato, octocrileno, oxibenzona	Oct-10
17	Bannana Boat	80	Crema protectora	Homosalato, salicilato de octilo, octocrileno, oxibenzona, avobenzona	Oct-12
18	Bannana Boat	85	Aerosol protector	Avobenzona, homosalato, octocrileno, oxibenzona	Nov-11

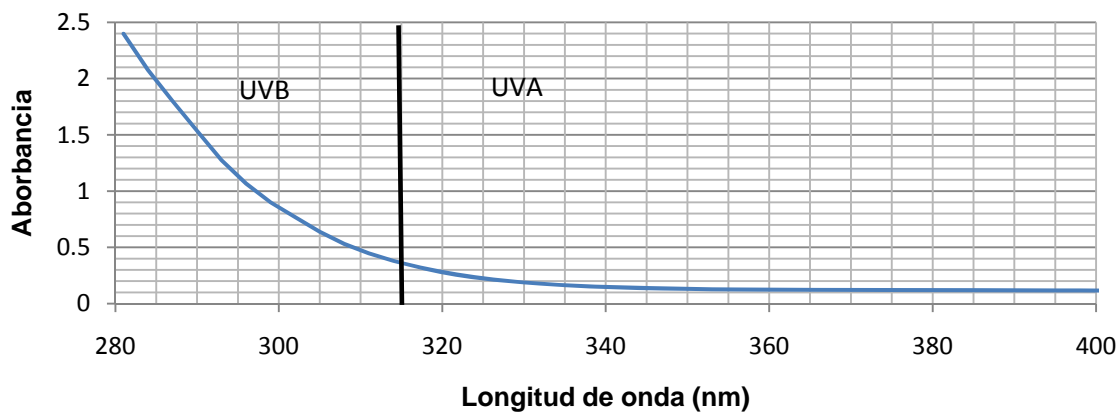
Los espectros de absorción de cada muestra se presentan en el siguiente capítulo.

Capítulo 4

Resultados

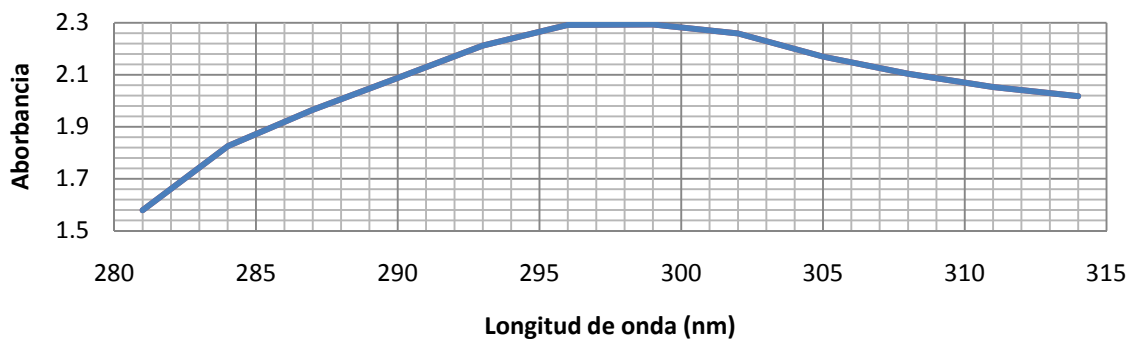
Se muestran los espectros de absorción, iniciando con los cubreobjetos que sirvieron de sustrato.

Gráfica 1. Cubreobjetos

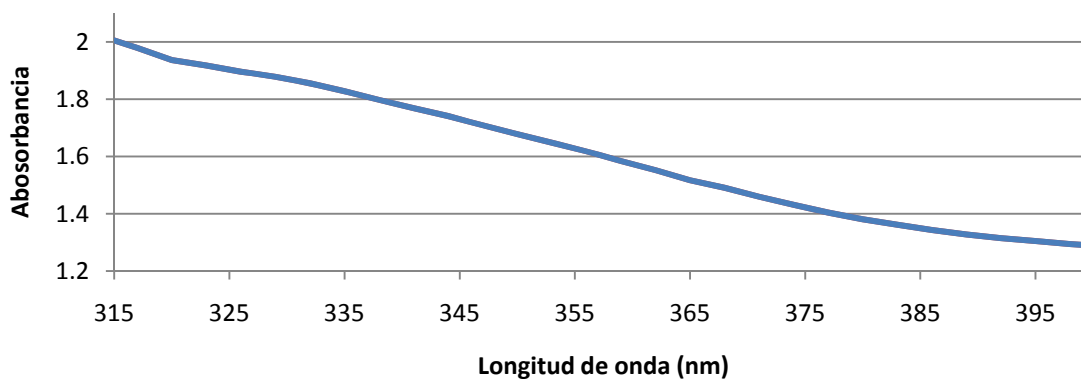


Factor de protección solar 4

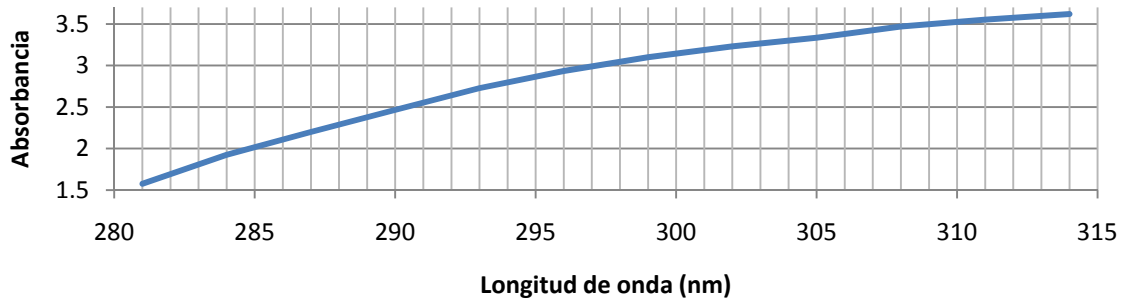
Muestra 1. Sontan lotion UVB



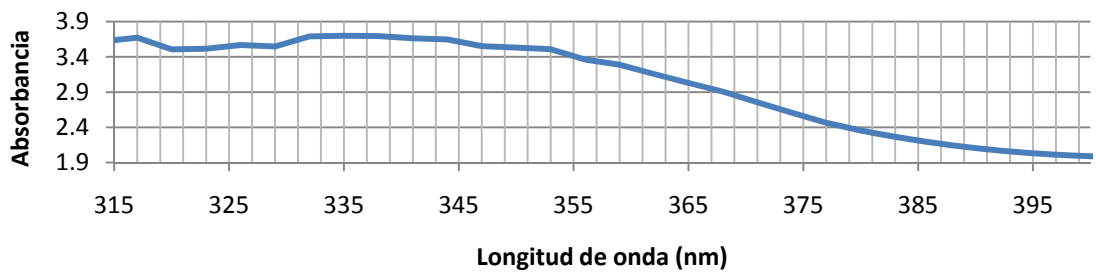
Muestra 1. Sontan Lotion UVA



Muestra 2. Coopertone UVB

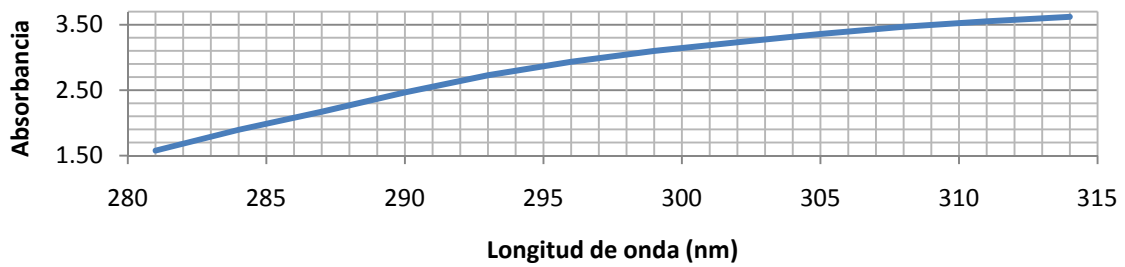


Muestra 2. Coopertone UVA

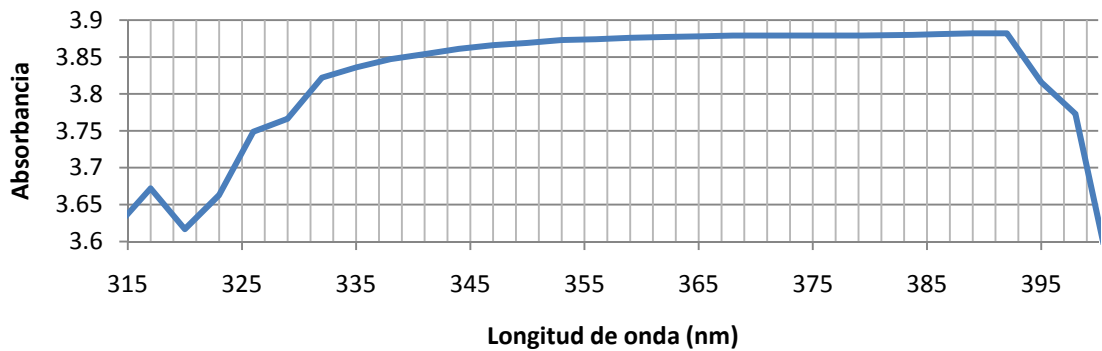


Factor de protección solar 30

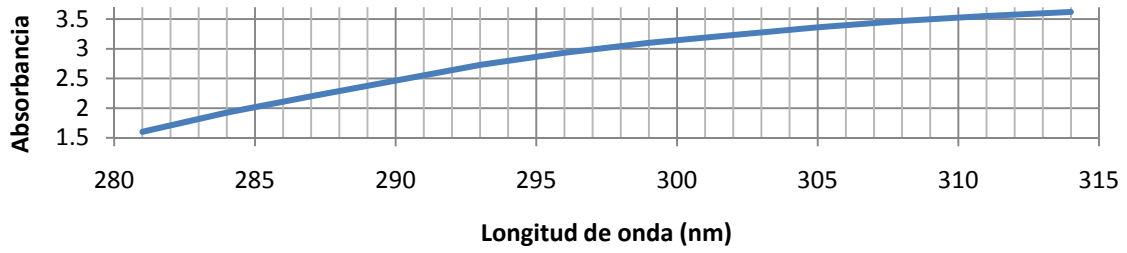
Muestra 3. Bannana boat UVB



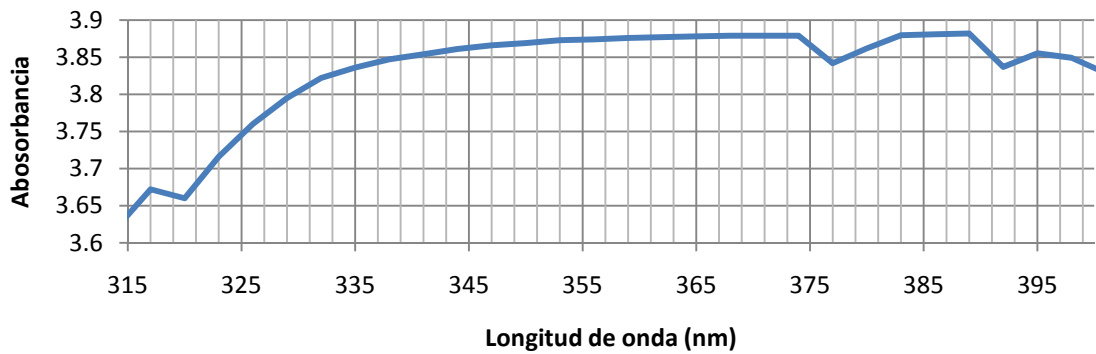
Muestra 3. Bannana Boat UVA



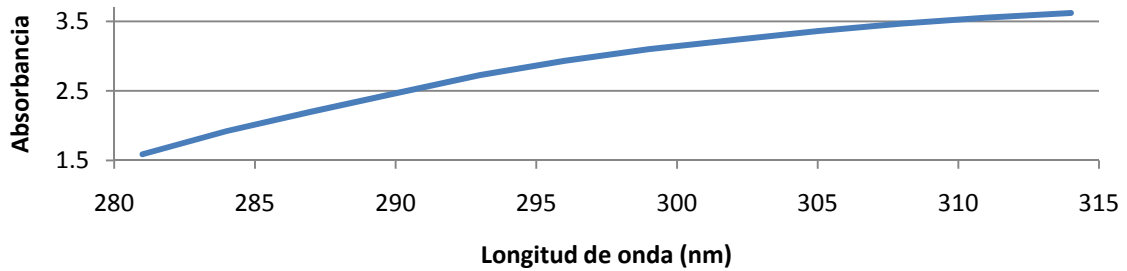
Muestra 4. Cooperton UVB



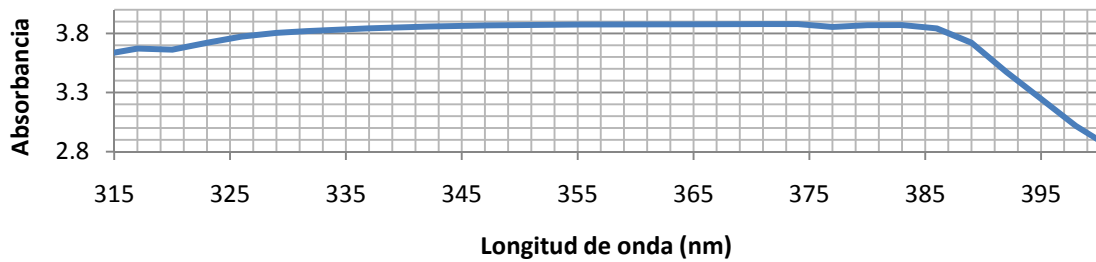
Muestra 4. Coopertone UVA



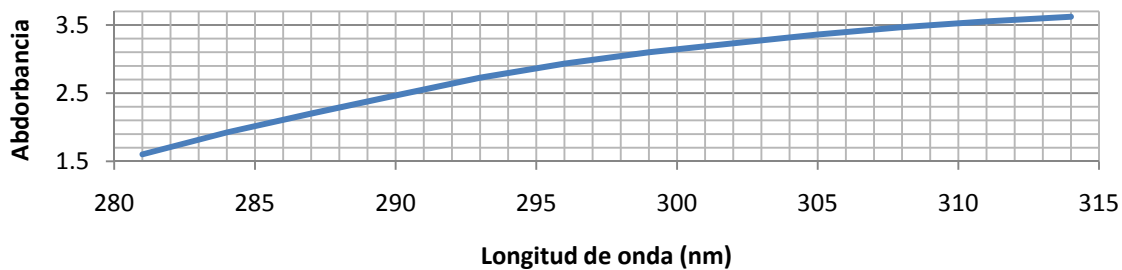
Muestra 5. No-Ad UVB



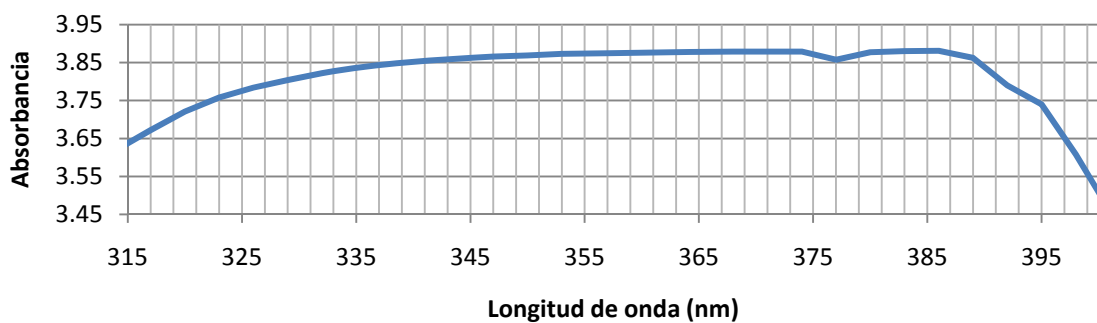
Muestra 5. No-ad UVA



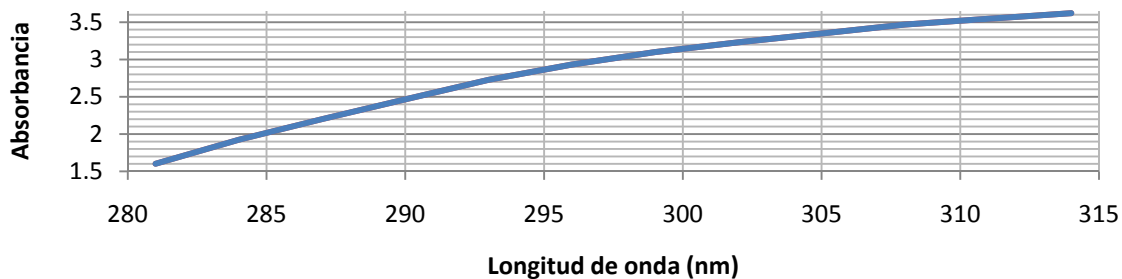
Muestra 6. Sunny day UVB



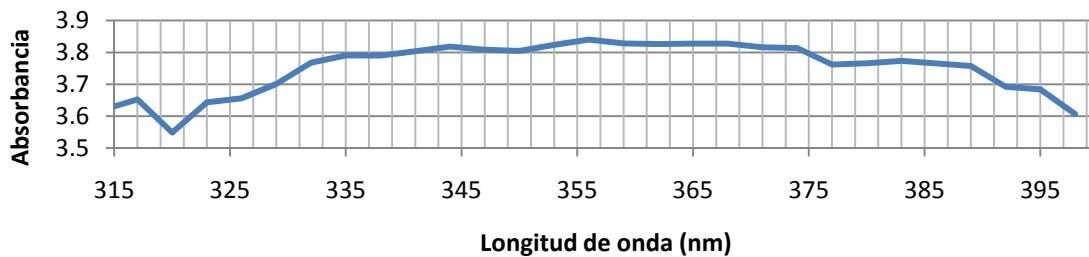
Muestra 6. Sunny day UVA



Muestra 7. Coopertone UVB

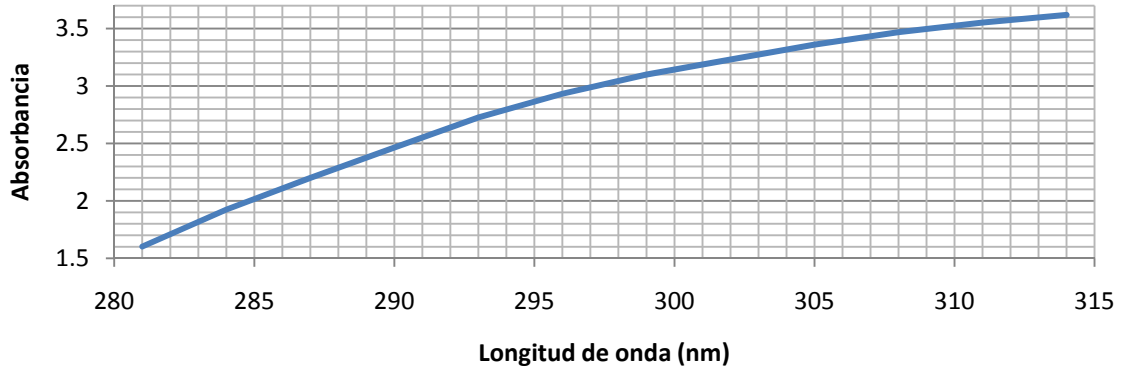


Muestra 7. Coopertone UVA

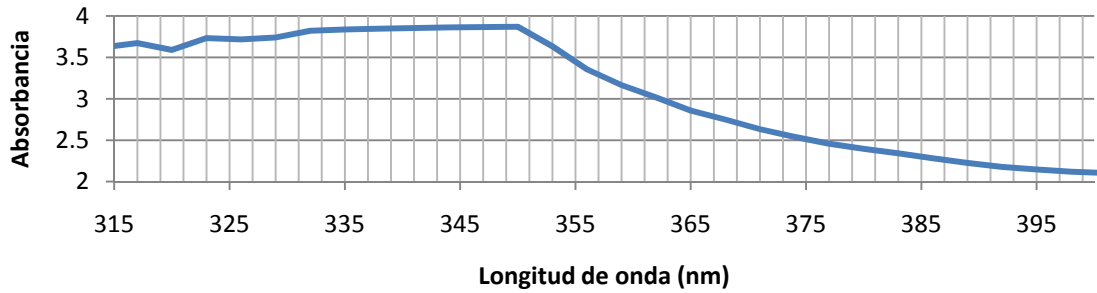


Factor de protección solar 45

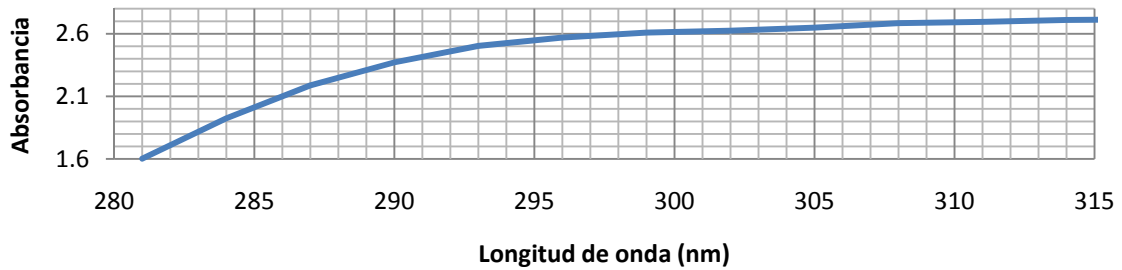
Muestra 8. Hawaiian tropic UVB

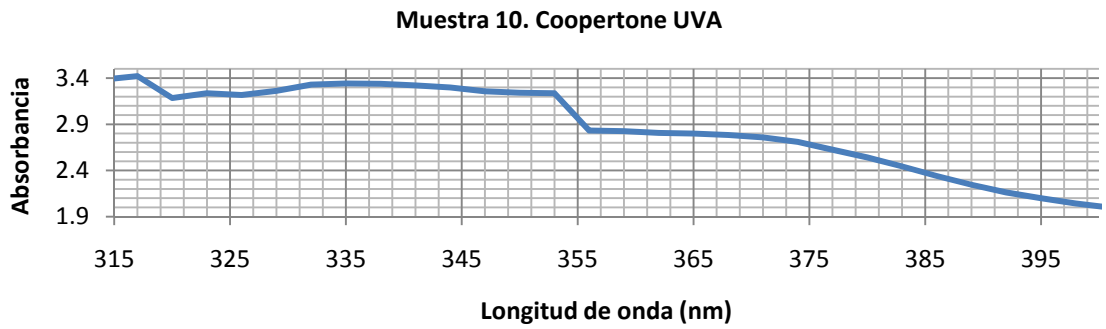
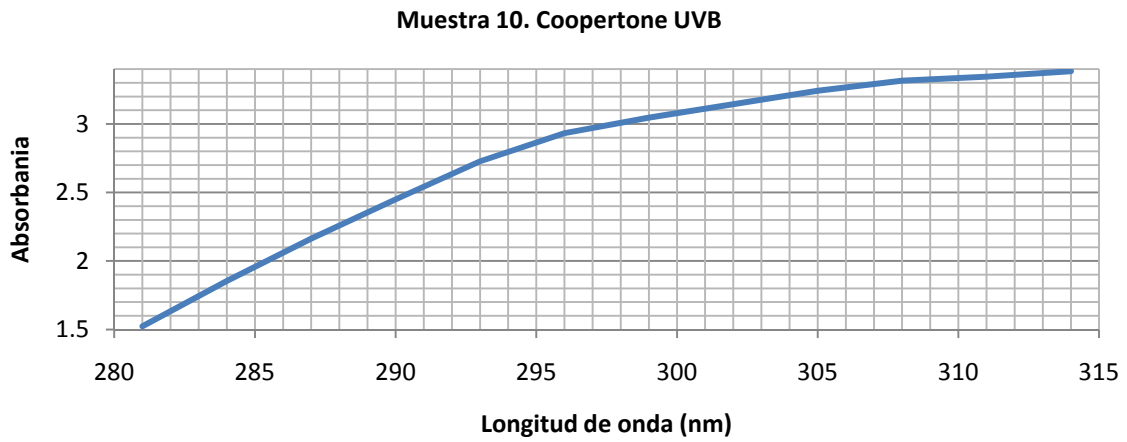
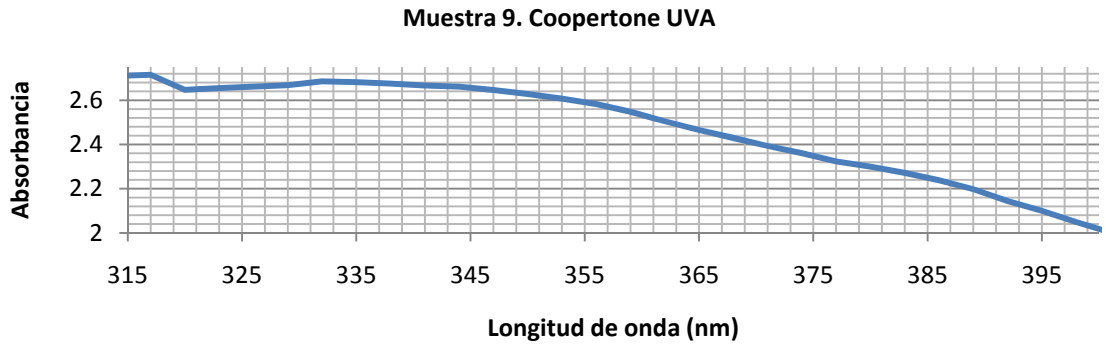


Muestra 8. Hawaiian tropic UVA

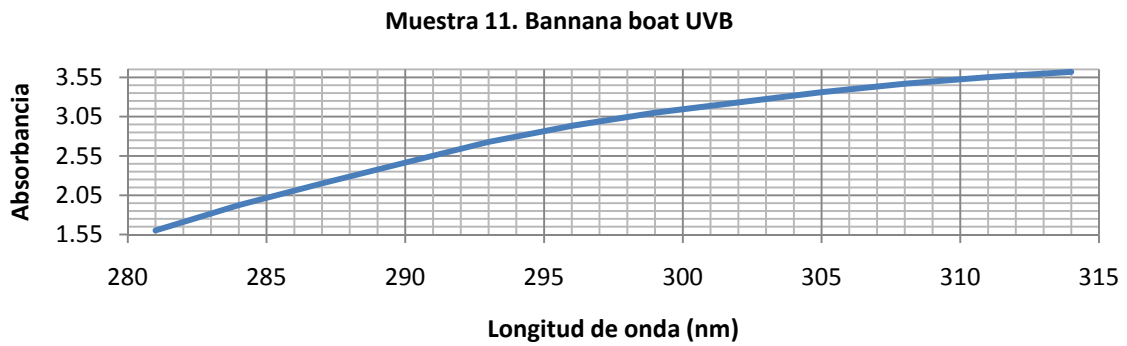


Muestra 9. Coopertone UVB

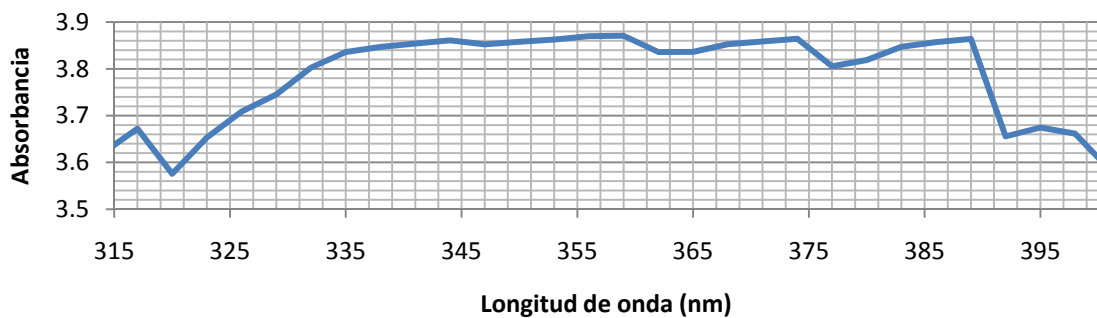




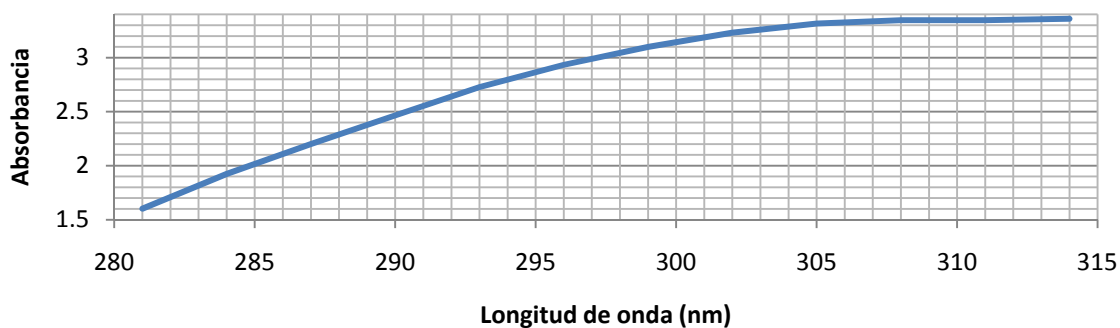
Factor de protección solar 50



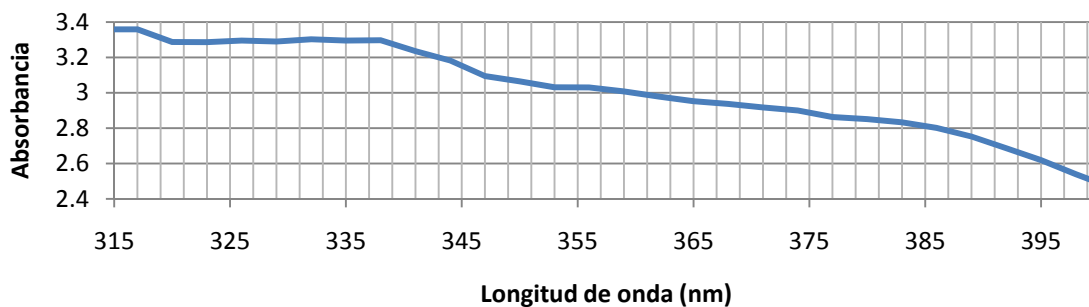
Muestra 11. Bannana boat UVA



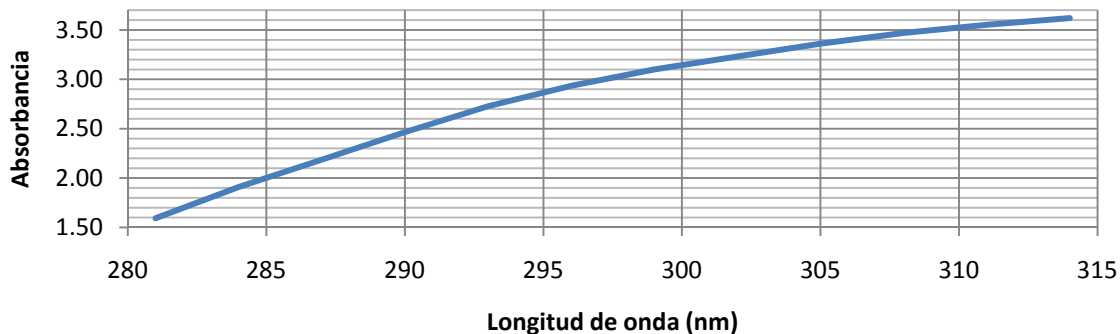
Muestra 12. Nivea UVB



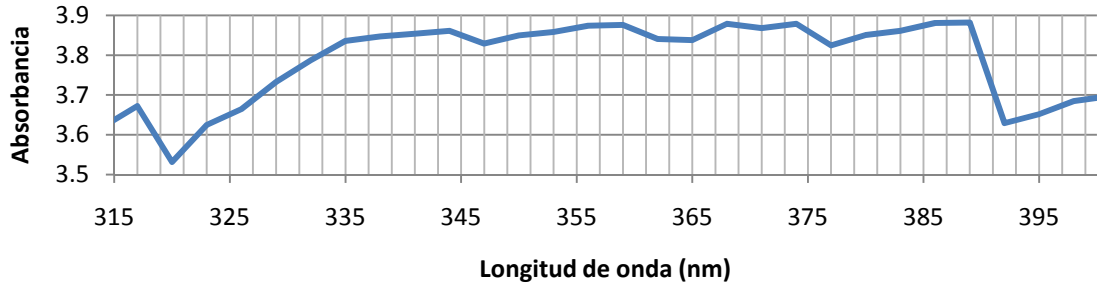
Muestra 12. Nivea UVA



Muestra 13. Coopertone UVB

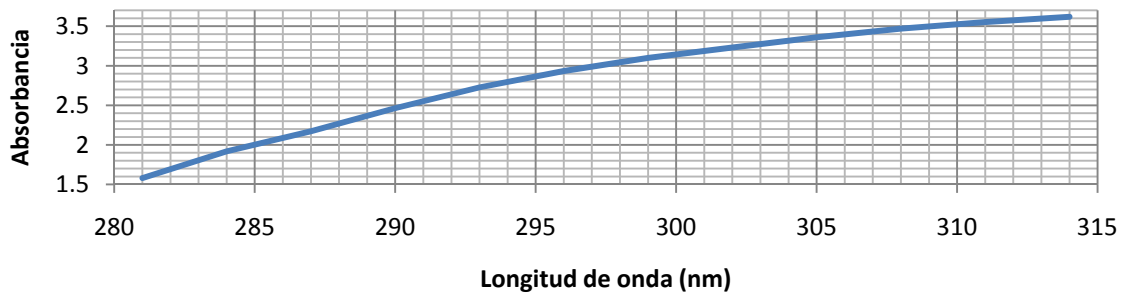


Muestra 13. Coopertone UVA

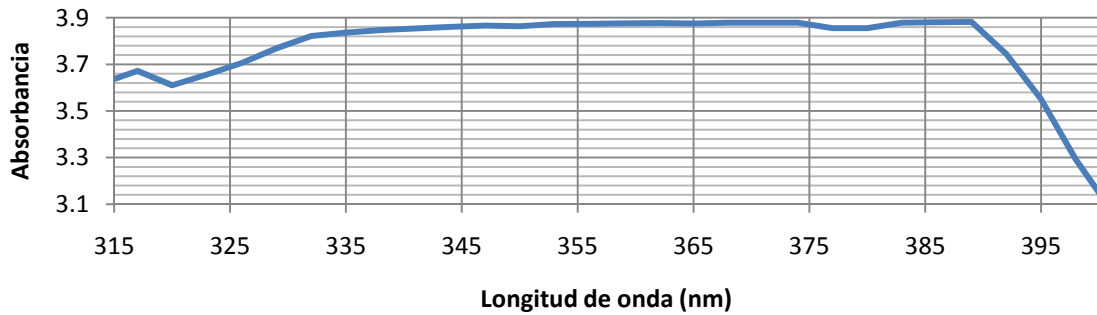


Factor de protección solar 60

Muestra 14. Hawaiian tropic UVB

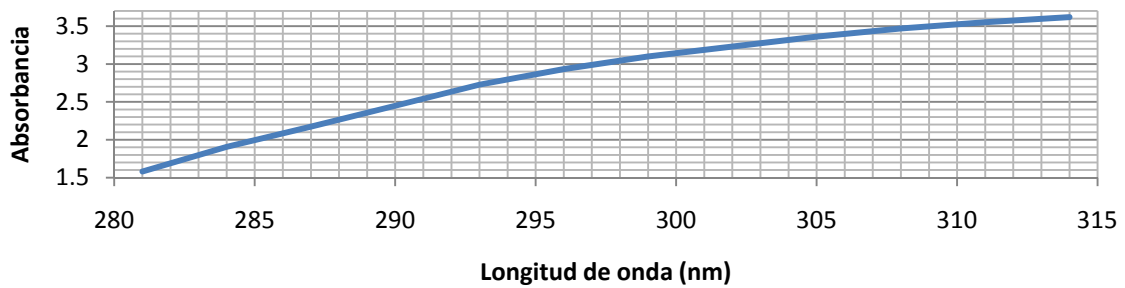


Muestra 14. Hawaiian tropic UVA

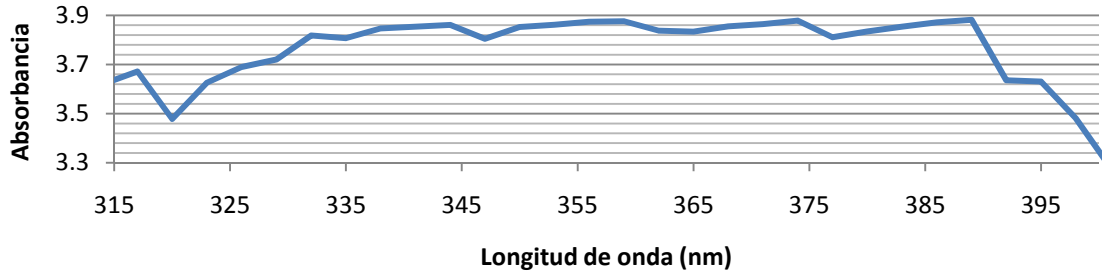


Factor de protección solar 70

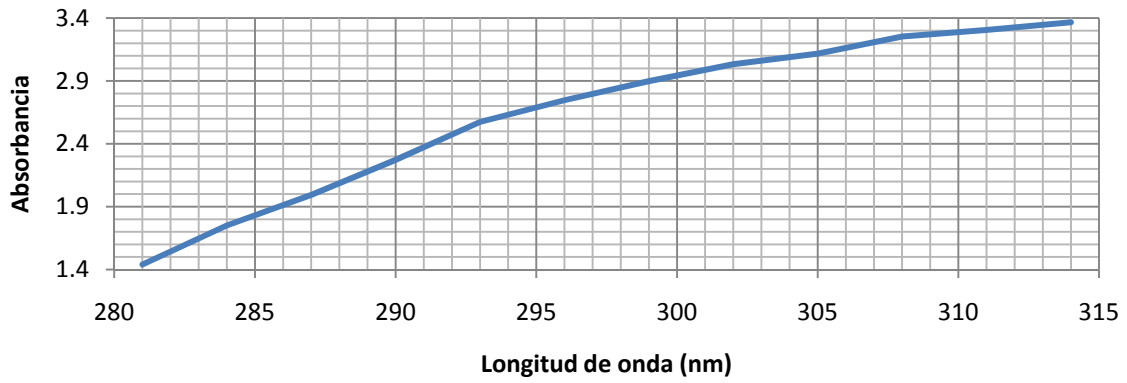
Muestra 15. Hawaiian tropic UVB



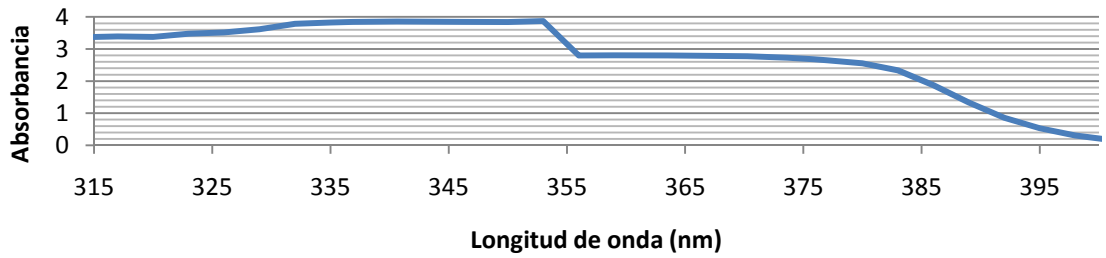
Muestra 15. Hawaian tropic UVA



Muestra 16. Coopertone UVB

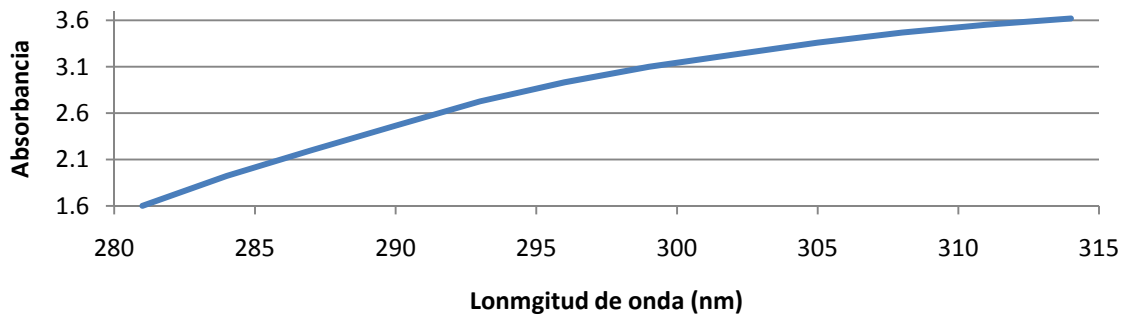


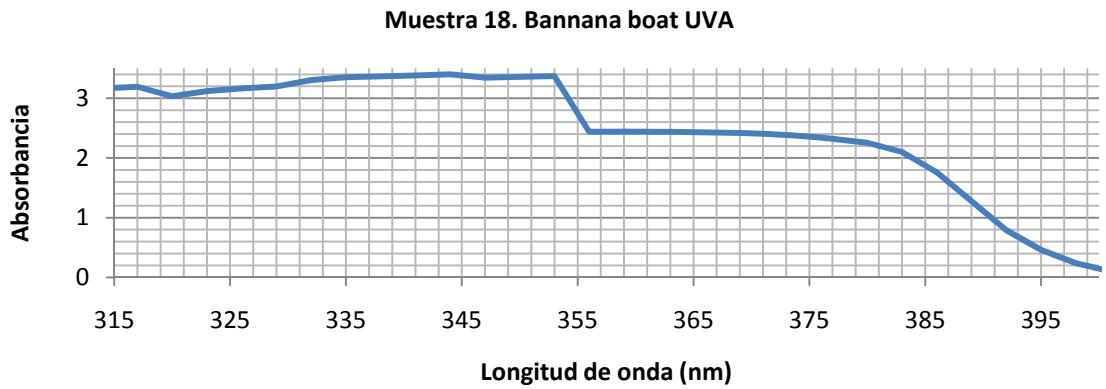
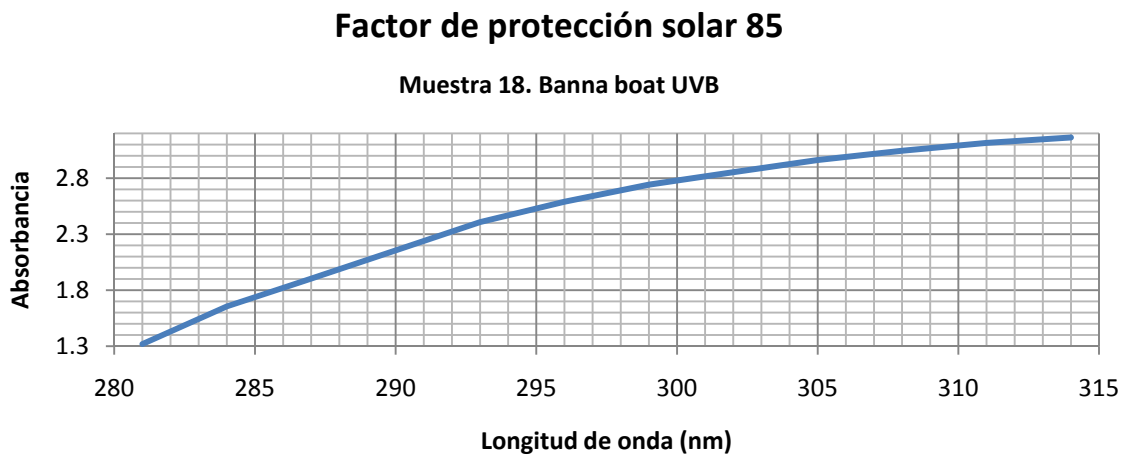
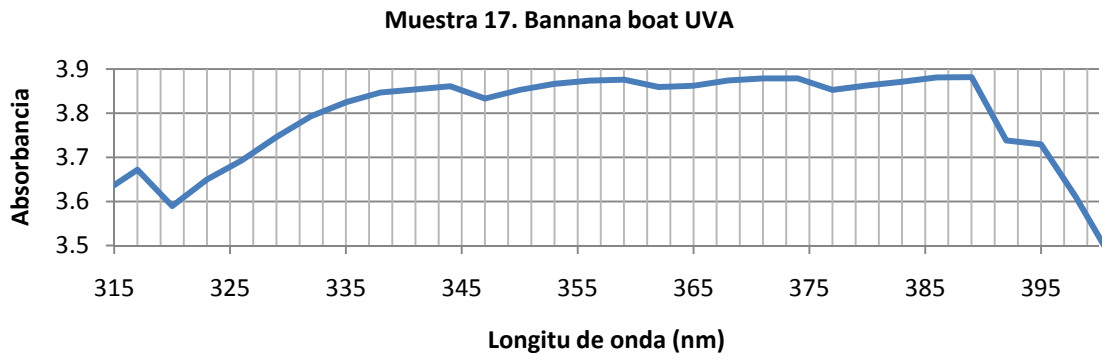
Muestra 16. Coopertone UVA



Factor de protección solar 80

Muestra 17. Bannana Boat UVB





Un análisis detallado de estos espectros se presenta en el siguiente capítulo.

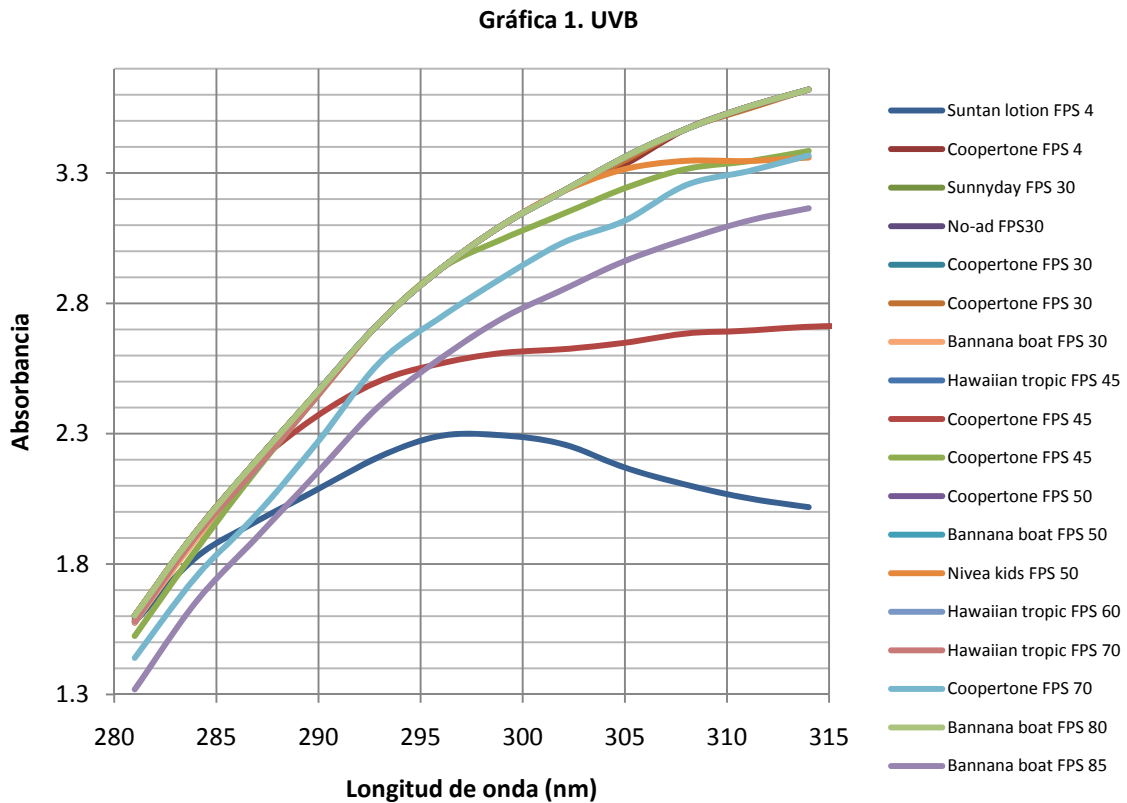
Capítulo 5

Análisis de Resultados

El objetivo de este trabajo no es hacer una recomendación de marcas; sólo son usadas con fines de referencia. El objetivo principal es comparar los comportamientos de la absorbancia ante la radiación UV. Durante las mediciones surgieron algunas dudas sobre cómo se modificaría el parámetro de absorbancia bajo ciertas condiciones como la exposición al sol y el espesor de la muestra.

5.1 Comparación en el intervalo UVB

A continuación en la gráfica 1 se muestra el comparativo de todos los productos medidos.

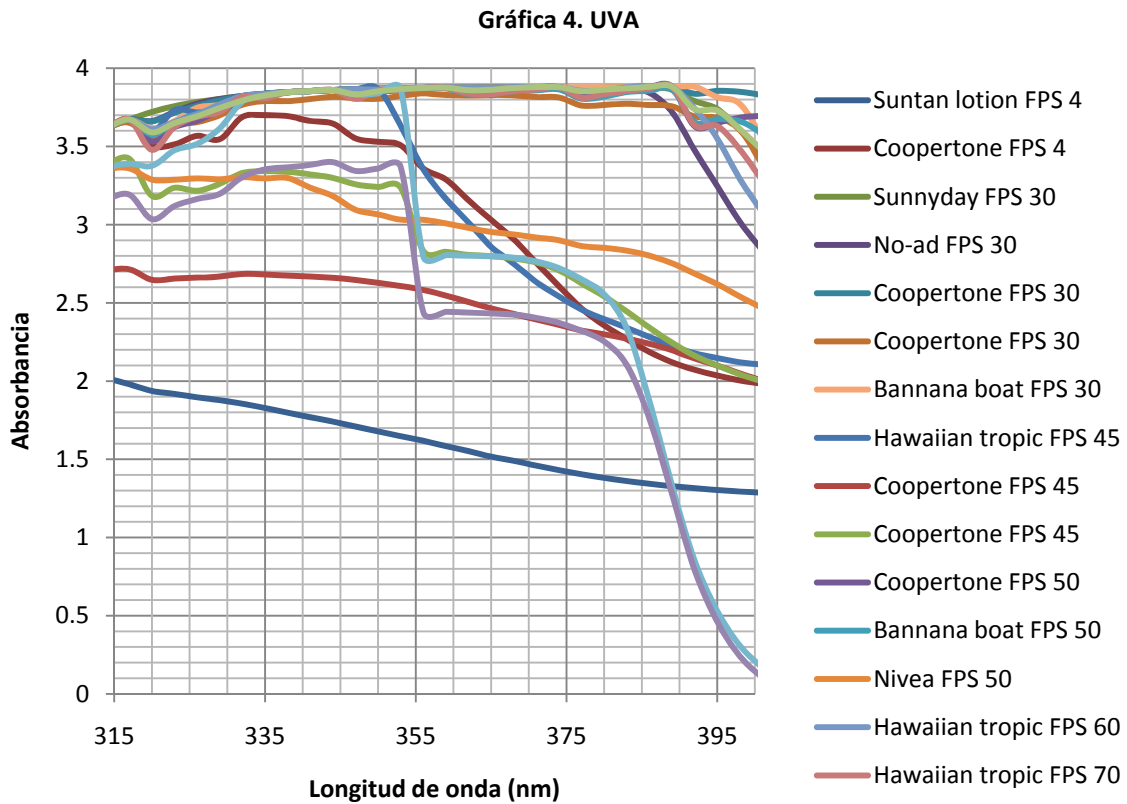


Se aprecia que de las 18 muestras, 12 de ellas están encimadas, mientras que 6 presentan diferentes comportamientos; las 12 muestras que están iguales se puede decir que su absorbancia es igual o mayor a la del cubreobjetos ya que el cubreobjetos presenta una limitante en esta zona.

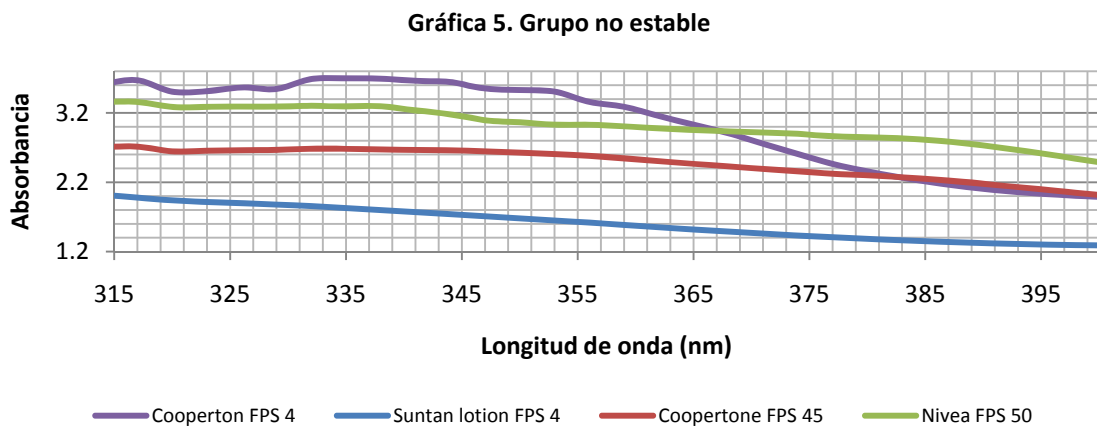
5.2 Comparativo en el intervalo UVA

De los efectos de la zona A no se había preocupado la industria ya que eran a través de los años. En la actualidad esto ha venido cambiando pero aun no se ofrecen datos sobre la cantidad de absorción que presentan los productos. Sólo en el caso de algunos bloqueadores cosméticos los fabricantes nos brindan la información, pero como en este

caso de los llamados “playeros” de venta comercial masiva no se cuentan con este tipo de información.



De las muestras medidas, se pueden apreciar tres grandes grupos, los de “bloqueo” uniforme, los de “bloqueo” en dos intervalos y los que es un “bloqueo” en un descenso continuo. El primer grupo que se verá es el de los que no presentan una absobancia uniforme como es el caso de los bronceadores, Suntan Lotion (FPS 4) y Coppertone (FPS 4).



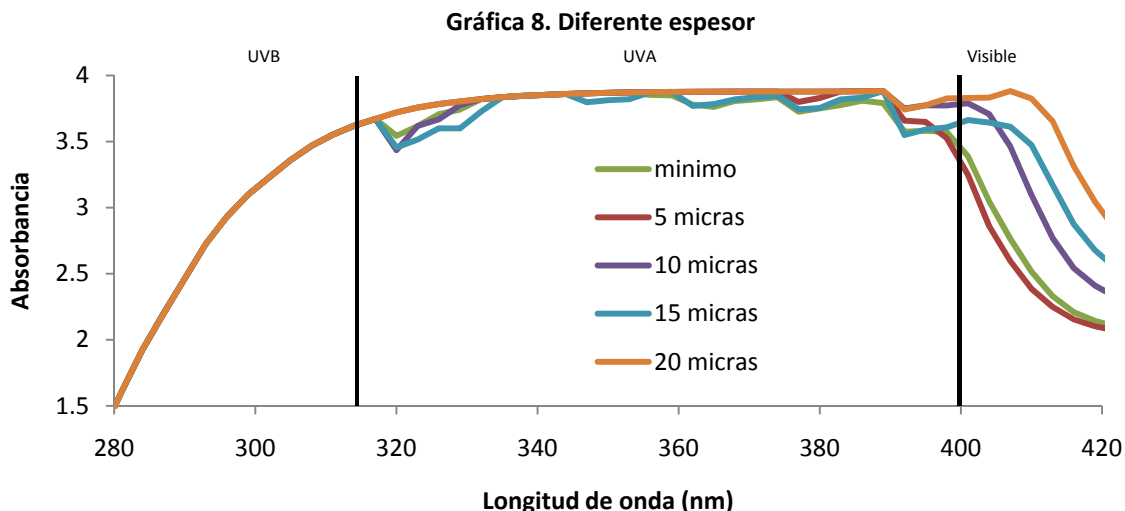
Como se vio en la gráfica 7 existen bloqueadores y pantallas solares desde un factor de protección solar de 30 hasta 80, teniendo todos un nivel similar de absorción.

5.3 Resultados adicionales

Ante estos resultados surgió el cuestionamiento de qué es lo que hace la diferencia entre los factores de protección solar. De los resultados tenemos que los que mostraron un “buen comportamiento” en cada una de las zonas se enlistan en la tabla 1:

Tabla 1. Lista de bloqueadores que se ajustan a curvas similares de absorción	
UVB	UVA
Coppertone FPS 4	
Sunny day FPS 30	Sunny day FPS 30
No ad FPS 30	No ad FPS 30
Coppertone sunscreen FPS 30	Coppertone sunscreen FPS 30
Coppertone sunblock FPS 30	Coppertone sunblock FPS 30
Bannana Boat FPS 30	Bannana Boat FPS 30
Hawaiian Tropic FPS 45	
Coppertone FPS 50	Coppertone FPS 50
Bannana Boat FPS 50	Bannana Boat FPS 50
Hawaiian Tropic FPS 60	Hawaiian Tropic FPS 60
Hawaiian Tropic FPS 70	Hawaiian Tropic FPS 70
Bannana Boat FPS 80	Bannana Boat FPS 80

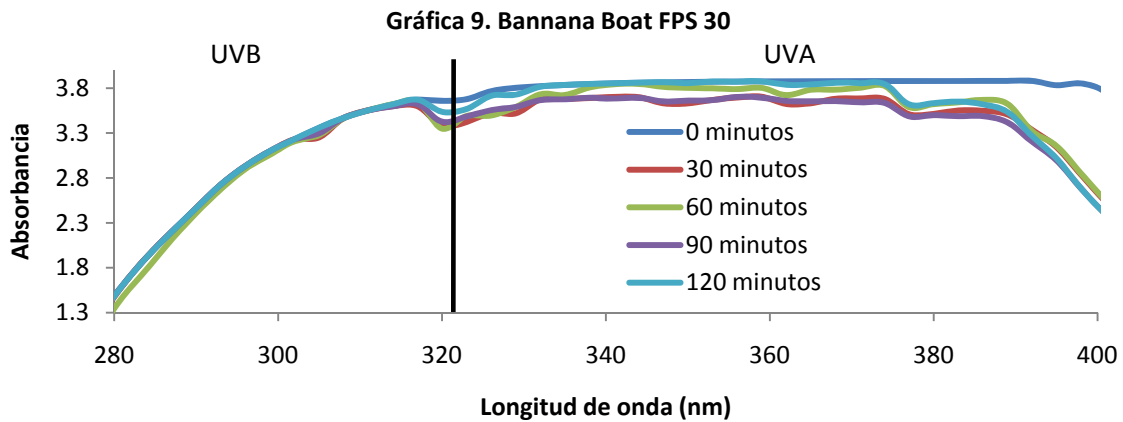
Todos los bloqueadores que mostraron la misma absorbancia, se comportaron de igual manera en el intervalo UVB, a excepción de dos que se encuentran fuera de este grupo.



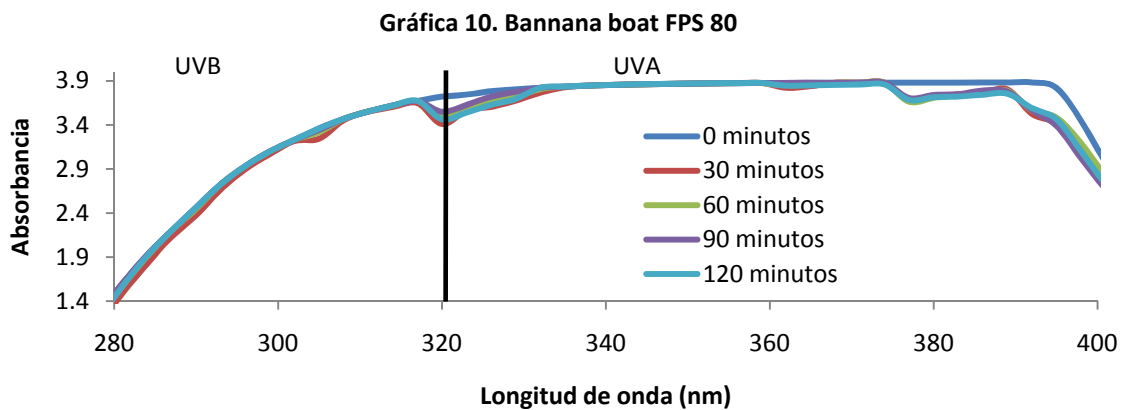
De esta selección de “bien comportados” se pensó en probar si el grosor de la muestra afectaría de alguna forma la manera en que absorben las radiaciones, de tal forma que se probó con algunos productos haciendo varias lecturas aumentando el espesor del

producto. El bloqueador Bannana Boat con un factor de protección solar de 50 se colocó en cubreobjetos con separación de 200 micras hasta el mínimo espesor que se podía obtener al solo haber cubreobjetos-muestra-cubreobjetos sin ninguna separación entre los vidrios.

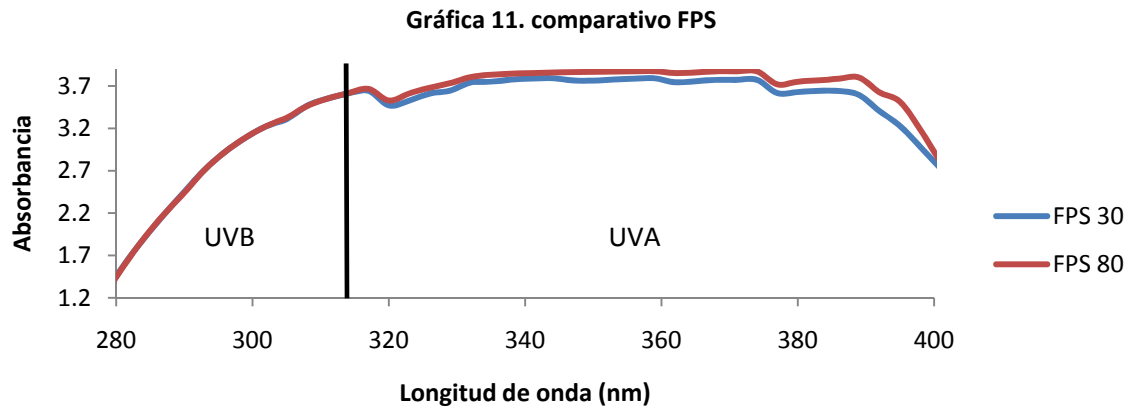
Se probó con un bloqueador con FPS 30 y uno con FPS 80 de la marca Bannana Boat, de la misma sub división “ultra defense sheer protect”.



Una muestra de cada uno se midió recién colocada en el cubreobjetos para después exponerlo al sol; tomando mediciones cada 30 minutos hasta llegar al periodo de dos horas, que es el recomendado para volver a aplicar el producto.



Por último se calculó el promedio de cada uno de los bloqueadores durante los 120 minutos y se comparó si es que existía algún cambio en las absorciones de los dos bloqueadores.



Una diferencia se logra apreciar entre ambos bloqueadores la cual se aumenta al aumentar la longitud de onda.

En el siguiente capítulo se discutirá sobre los resultados.

Capítulo 6

Discusión y conclusiones

La muestra fue colocada entre cubreobjetos de vidrio crown con un espesor de 170 micras; este objeto de cristal se ve afectado por las leyes de la óptica, teniendo como efecto que un rayo incidente sobre él producirá efectos de reflexión, refracción y absorción. Por la ley de Snell,

$$\frac{\text{Sen } \theta_1}{\text{Sen } \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

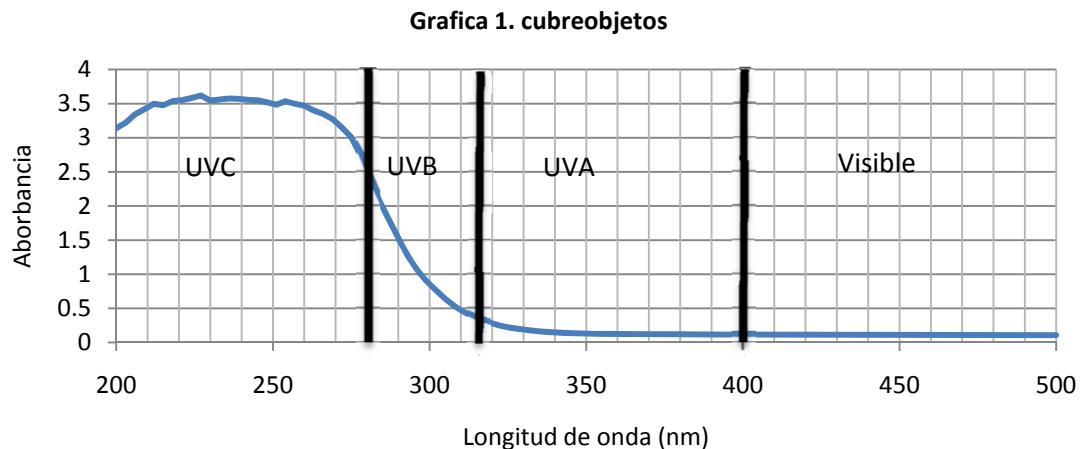
donde n_1 y n_2 son el índice de refracción del medio 1 y del medio 2 y θ_1 y θ_2 el ángulo de incidencia y refracción en con respecto a la normal. Y por la ley de la reflexión,

$$\theta_i = \theta_r$$

donde θ_i es el ángulo de incidencia y θ_r el ángulo de reflexión. El espectrofotómetro hace incidir un rayo perpendicular a la superficie haciendo que el ángulo de incidencia sea cero, sin embargo si existe reflexión aunque en el mismo ángulo, este se ve determinada por el coeficiente de reflexión normal, dado por la relación:

$$R = \left[\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right]^2$$

Donde el vidrio crown, que tiene en promedio un índice de refracción de 1.5, deja pasar alrededor de un 92% de la luz que le índice de manera normal, aunque a ciertas longitudes de onda, este vidrio absorbe una mayor cantidad de la radiación que no necesariamente es producto de su coeficiente de reflexión.



Mientras que en la parte de la refracción, al incidir de manera normal la luz, hace que el seno del ángulo incidente sea cero y por tanto su refracción será en un ángulo de cero también con respecto a la normal.

El vidrio mostró una absorción a lo largo del espectro que se muestra en la grafica siguiente; este vidrio es lo mejor que se logró conseguir como sustrato para la medición

de la muestra; lo ideal sería un cubreobjetos de cuarzo, el cual es transparente a la radiación UV.

El compuesto vidrio-producto-vidrio, como se dijo, se ve afectado por los efectos de refracción, absorción y reflexión, aunque sabemos en términos de la intensidad de la radiación:

$$I_o = I_r + I_a + I_t$$

donde I_o es la intensidad incidente, I_r es la reflejada, I_a la absorbida e I_t es la transmitida; por lo que se menciona hace unos párrafos podemos considerar que la reflexión es cero al incidir de forma normal, de tal forma que solo tenemos una parte absorbida y una parte transmitida.

El espectrofotómetro al ser estabilizado y calibrado corrige el offset que pueda tener, este proceso se tiene que realizar cada sea encendido; para garantizar trabajar con la misma línea base que registra al ser calibrado, las lecturas se tomaron sobre la misma sesión en una sola corrida.

No es posible conocer el valor de la intensidad que emite el foco del espectrofotómetro, solo se puede saber la relación que existe entre la intensidad emitida y la intensidad recibida, es decir,

$$I_o - I_a = I_t$$

De aquí se puede asumir que la lectura de la absorbancia obtenida es en general la absorción del compuesto vidrio-muestra-vidrio. Se supone que la absorción de los vidrios es acorde a las graficas anteriores, y asumiendo que se comporta linealmente, esta absorción se puede expresar como:

$$A = A_{v1} + A_p + A_{v2}$$

donde $v1$ es la absorbancia del vidrio 1, $v2$ la del vidrio 2 y p la del producto; sin embargo como se mencionó, las absorbancias de los vidrios se puede considerar como una sola, quedando la expresión anterior como sigue:

$$A = A_v + A_p$$

De tal forma que al restar la absorbancia del vidrio se puede obtener una medida de la absorbancia del producto.

La metodología que se utilizó inicialmente fue el colocar manualmente sobre el cubreobjetos una cantidad de muestra a "ojo" a través de una espátula, lo que provocaba que el espesor de producto no fuera uniforme; las medidas obtenidas no son reproducibles y dado el bajo nivel de confianza, hubo que buscar cómo resolver el problema.

El segundo intento se trató de apegar a las recomendaciones de la dosis de la FDA que se comentó en capítulos anteriores, de 2 gramos por centímetro cuadrado. Sin embargo, al colocar la cantidad de muestra indicada entre los cubreobjetos, ésta se escurría de manera poco uniforme, además que al caer por los lados hacía que no tuviera sentido conocer el valor del peso.

Otra dificultad fue la delimitación de un área de 1 cm²: como se mencionó en el párrafo anterior, poner 2 gr en un espacio tan pequeño fue algo complicado de lograr, ya que si se presionaba la muestra ésta se derramaba y si se dejaba con poca presión se escurría al colocarla de forma vertical en el aparato.

Para este método, si se hubiera contado con un dispositivo que pudiera medir la muestra estando horizontal, hubiera sido posiblemente el más aceptable; como no fue posible se buscó otra alternativa.

El método que fue el definitivo es el que se explicó en la metodología del capítulo 3. Con esta forma de crear muestras, se resolvió el problema de la uniformidad en la superficie que se presentó en la aplicación manual, la separación que provee la cinta logró que la cantidad de la muestra tuviera un grosor uniforme.

La cantidad de la muestra que se colocó en los cubreobjetos y la distancia entre las cintas no fue medida; sin embargo, la única variable que realmente importa en este caso, es el grosor de la muestra. Lo anterior, basado en que la radiación que pasa a través de una muestra ya sea cristal o líquido, experimenta una atenuación que depende de tres factores: un coeficiente de emisión, la concentración y la longitud de la muestra. Lo anterior se puede expresar como:

$$A = \epsilon lc$$

donde ϵ la absorptividad del producto, l el espesor y c la concentración. Al tener el espesor de forma controlada, las demás variables se suponen constantes ya que la concentración es la misma muestra al igual que el coeficiente.

Esta atenuación también es un factor en los vidrios, ambos atenúan la radiación incidente, y al igual que como se discutió en la parte óptica, aunque no es posible saberlo con certeza se supuso lineal la atenuación que se realiza en la preparación vidrio-producto-vidrio. Al cruzar el primer cubreobjetos la radiación ya sufrió una atenuación, de igual forma al atravesar la muestra sufrirá otra y una tercera al cruzar el segundo cubreobjetos.

Al igual que se hizo con el coeficiente de reflexión normal se puede considerar como una sola atenuación la de los cristales, de tal forma que la radiación que se mide en el espectrofotómetro es la suma de la atenuación del cristal y del producto.

Para corroborar esta uniformidad en la muestra, se tomaron algunas muestras al azar a las que se midió la absorbancia en diferentes puntos de la preparación, rotándola y trasladándola en diferentes formas, con lo que se obtuvo una reproducibilidad de los resultados.

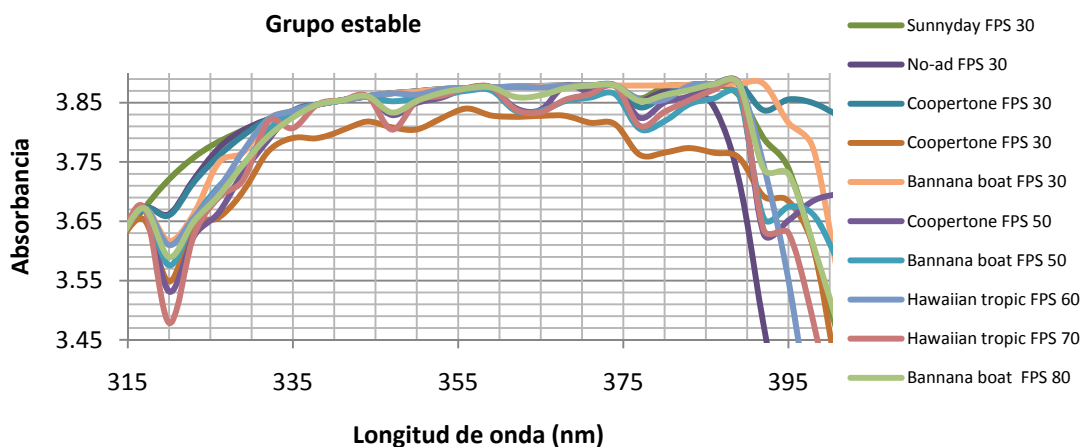
Durante el proceso surgió la duda si el espesor de una muestra haría variar los resultados, acorde con la Ley de Beer-Lambert, por lo que se tomaron dos productos, haciendo variar el espesor de la muestra de 50 en 50 micras y una adicional del menor espesor posible sin la cinta adhesiva entre los cubreobjetos. Por último, para tener más datos sobre el comportamiento de los productos se realizó la medición de 2 muestras de 50 micras que fueron tomadas en intervalos de 30 minutos como se describió en la metodología.

Del comparativo que se ve en la grafica 5 del capítulo 5, es probable que el comportamiento decreciente se deba a un ingrediente en común, el octinoxato y se puede inferir en que el cambio en la concentración del ingrediente, provoca que se recorra las líneas de las gráficas. Aunque a ciencia cierta no se sabe la concentración de los ingredientes, esta hipótesis queda para futuros trabajos.

Del mismo capítulo 5, la gráfica 6 muestra un grupo de productos que presentan intervalos planos de absorbancia en dos diferentes rangos del espectro, 2 de estos productos son en aerosol, mientras que las otras dos cremas resultan al tacto poco espesas en comparación con las demás muestras. Esto lleva a pensar en una mayor concentración de agua, o en el caso de los aerosoles que son totalmente transparentes. Es posible que la falta de algún agente de los otros productos que les brinda una mayor protección en la zona cercana al visible.

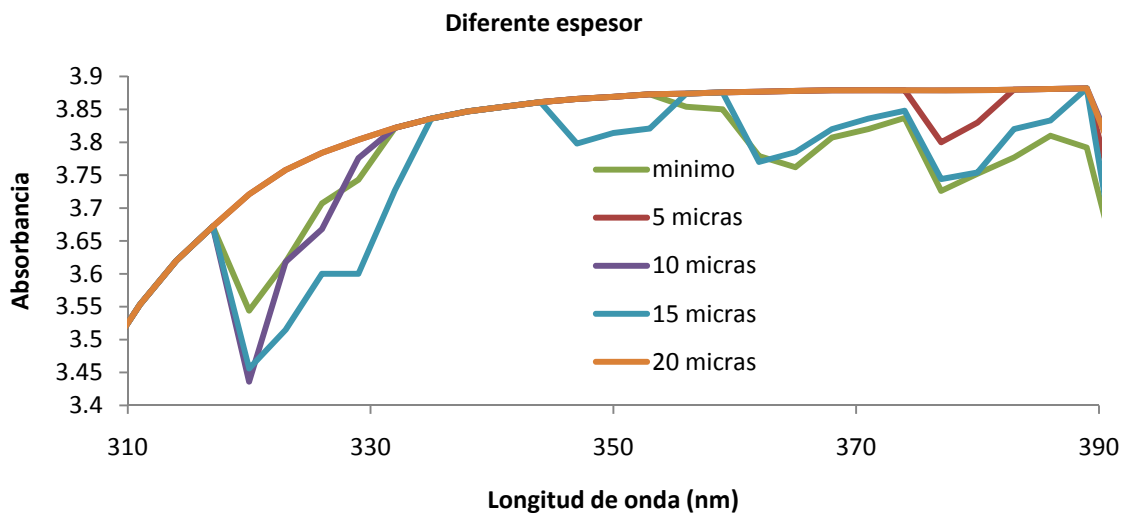
En particular las dos muestras de aerosol cuentan con la información de la concentración de sus ingredientes activos, que están a la misma concentración, sin embargo el de FPS 70 tiene un ingrediente extra que pudiera ser el responsable de hacer que la curva de absorción esté recorrida hacia arriba con respecto al del FPS 85. Esta suposición se basa en que los únicos ingredientes que proveen absorción, son los que son los activos.

De la grafica 7, la del grupo estable, aunque no pareciera haber un cambio a la escala que se presenta, se hizo un acercamiento que se muestra en la grafica siguiente:

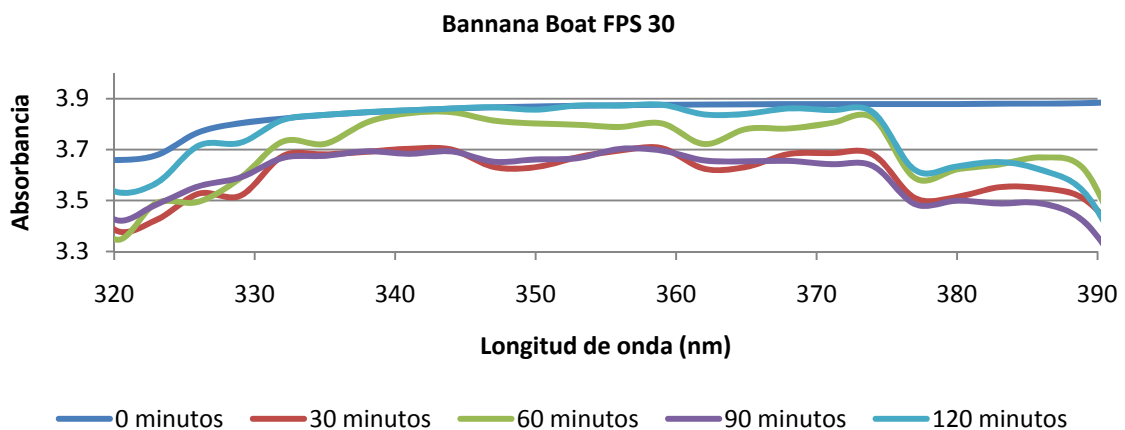


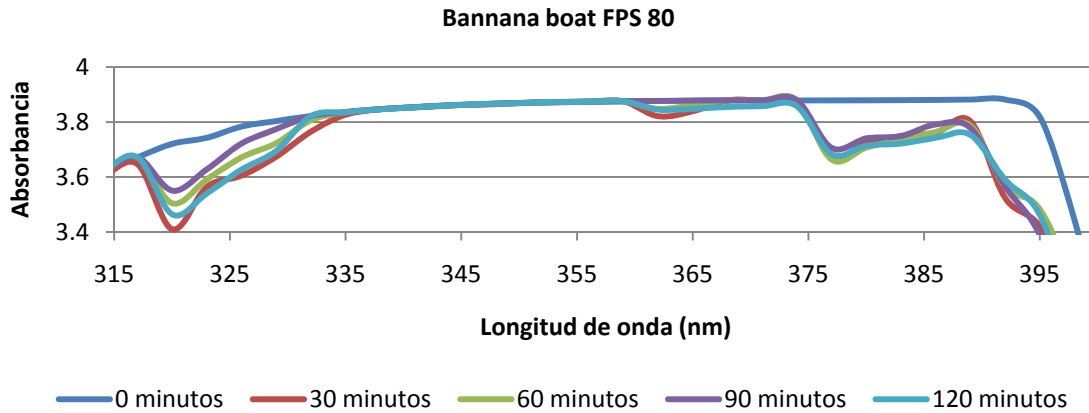
Se puede apreciar que existe un cambio entre los diferentes factores de protección solar, sin embargo no fue posible encontrar una relación entre ellos, ya que en algunos casos el factor de menor índice está por encima de uno de mayor.

Sobre la búsqueda de una relación con respecto al espesor de la muestra, tampoco fue posible encontrar una relación entre éstas, aunque sí hay un cambio en la absorción pero que o cumple con la ley de Beer-Lambert. Al ser el mismo producto, nos lleva a que lo que debe de cambiar es la concentración de algún ingrediente en la muestra, ya sea por falta de agitación o precipitación de alguno o algunos ingredientes. En la grafica siguiente se muestra un acercamiento en el rango donde se aprecia el mayor cambio.



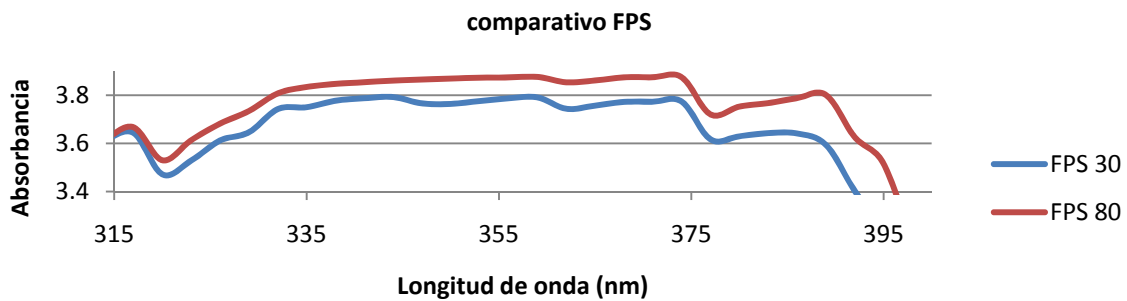
Ahora, sobre los tiempos de exposición solar en ambas muestras tampoco fue posible encontrar una relación entre los diferentes tiempos de exposición, sin duda hubo un cambio en las medidas de absorbancia, sin embargo no necesariamente en el orden esperado.





Algo que es común en ambas muestras es que el cambio de la línea de absorción es prácticamente un recorrido hacia arriba o hacia abajo, en esencia es la misma curva, con los altibajos y picos en las mismas zonas.

Cuando se hizo la comparación de los promedios de la exposición solar se encuentra una gráfica que era esperada en la comparación de todos los productos, el FPS 30 se encuentra por debajo y similar al del FPS 80; esto sí nos lleva a pensar en el que la concentración de los ingredientes es diferente y que este cambio es esperado.



Este experimento no es cercano a lo que los grandes corporativos y agencias nacionales pueden lograr en sus laboratorios; sin embargo, se trató de optimizar los resultados con los recursos que se tuvieron al alcance, se buscaron aparatos más avanzados y se buscó superar los retos y dificultades que se encontraron de la mejor forma.

En conclusión tenemos que:

- No obstante no se encontró una relación entre los diversos FPS, los bloqueadores funcionan, y ya sea por absorción o reflexión, éstos evitan que la piel sufra daños temporales y en algunos casos, irreversibles, ya que reducen la transmitancia de la radiación UV.
- No existe cardinalidad en los FPS como se esperaba encontrar.

- Aunque el espesor de la muestra no sigue la ley de Beer, existe cambio en la absorbancia, quedando la pregunta de por qué se produce este cambio.
- La exposición de las muestras al sol tampoco indica un cambio al que se le pueda establecer una relación, aunque también existe un cambio conforme ha sido expuesta. Sin embargo, en la comparación entre los FPS 30 y FPS 80 del mismo producto, sí hay el comportamiento esperado.
- Las dificultades que mostró el uso de vidrio podrán ser superadas al usar cuarzo.
- Para obtener conclusiones certeras sobre qué es lo que se afecta en las diferentes muestras, habría que analizar cada uno de las líneas de absorción de los ingredientes, ya sea activos o inertes, además de saber la concentración de cada uno de ellos en las muestras.

Bibliografía

1. ALAC, P. *Bikini: A Cultural History*. Parkstone Press USA, Ltd. 2001.
2. ALLEN, J. *Ultraviolet Radiation: How it Affects Life on Earth*. Earth Observatory. NASA, USA. September 2001
3. AMERICAN CANCER SOCIETY.
4. AUSTRALIAN RADIATION PROTECTION AND NUCLEAR SAFETY AGENCY, may 2011.
5. CANCER RESEARCH UK, *About melanoma skin cancer- A quick guide*. UK. 2011
6. COCOZZA, P. *A little piece of history*. The Guardian, Saturday 10 June 2006
7. COLIPA, *Colipa UVA In vitro method*, March 2011
8. COLIPA.
9. DIFFEY BRIAN, *When should sunscreens be reapplied?*, Journal of the American Academy of Dermatology. Vol 45 Issue 6, Pp 882-885, December 2001.
10. DWIVEDI, B. *Our ultraviolet Sun*. Current Science, Vol. 91, No. 5, September 2006
11. ENVIROMENTAL WORKING GROUP.
12. EPA. Ground-level Ozone.
13. EPA. Ozone - Good Up High Bad Nearby.
14. FAURSCHOU, WULF, *The relationship between sun protection factor and amount of sunscreen applied In vivo*. British Journal of Dermatology, Vol. 156, issue 4, Pp 716-719, April 2007.
15. FDA, *FDA aims to upgrade sunscreen labeling*
16. FDA, *Required warning statement for tanning products without sunscreen*, may 19, 2000.
17. FDA, *Rulemaking History for OTC sunscreen drug products*
18. FDA, Sunburn Protection factor. April 2009.
19. FDA, *Sunscreen drug products for over-the-counter human use Final Monograph 21 CFR part 352*,
20. FIEDLER A, REHDORF H. *Detection of Semen (Human and Boar) and Saliva on Fabrics by a Very High Powered UV-/VIS-Light Source*, The Open Forensic Science Journal (2008) 1:12-15
21. GARLAND C, GARLAND F, GORHAM E. *Could sunscreens increase melanoma risk?*, American Journal of Public Health, Apr 1992; Vol. 82: Pp 614 – 615
22. HALLIDAY, Fisica, Cecsca.
23. HAYWOOD R, WARDMAN P, SANDERS R, LINGE C, *Sunscreens inadequately protect against ultraviolet A-Induced free radicals in skin: implications for skin aging and melanoma?*, Journal of investigative dermatology (2003) 121,Pp 862-868
24. HECHT, *Optics*, 3rd edition, Addison Wesley
25. HISTORY.COM, *Bikini introduced*. This Day in history.
26. HOFFMANN, R. *The Story of O*. American Scientist, January-February 2004 Vol. 92, No 1 Pp. 23
27. HOLLAS, M. *Modern Spextroscopy*, 4th edition, John Wiley & Sons, Ltd.
28. HUNCHAREK M, KUPELNICK B. *Use of Topical Sunscreens and the Risk of Malignant Melanoma: A Meta-Analysis of 9067 Patients From 11 Case–Control Studies* American Journal of Public Health. Vol. 92 No. 7, Pp 1173-1177, July 2002

29. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 21348:2007 Space environment (natural and artificial) -- Process for determining solar irradiances*
30. LENCEK, LENA AND BOSKER, GIDEON.. *Making Waves: Swimsuits and the Undressing of America*. Chronicle Books 1989
31. LUTGENS, FREDERICK K. *The Atmosphere*. Prentice Hall, 6th ed
32. MISRA P, DUBINSKII M. *Ultraviolet Spectroscopy and UV Lasers*, Editors, Marcel Dekker, New York, 2002 (ISBN: 0-8247-0668-4).
33. MOYAL D, *Broad-spectrum sunscreens provide better protection from solar ultraviolet-simulated radiation and natural sunlight-induced immunosuppression in human beings*, Journal of the American Academy of Dermatology. Vol. 58, Issue 5, Supl 2, Pp S149-S154, May 2008.
34. MOYAL D, *How to measure UVA protection afforded by sunscreen products*. Expert Review of Dermatology. Vol 3, No. 3, Pp 307-313, June 2008
35. NASA ADVANCED SUPERCOMPUTING. *Ozone layer*,
36. NASA, *Ozone Resource Page*,
37. NAYLOR, M. *Sun damage and prevention*. Electronic Textbook of Dermatology. The Internet Dermatology Society,
38. NEWTON I. *Opticks*. London Royal Society. ISBN 0486602052.
39. PHILLIPS, K. *Guide to the Sun*. Cambridge University Press. 1995
40. *PHYSICS.ORG. How does sunscreen work?*
41. TRENBERTH. K, SMITH. L. *The Mass of the Atmosphere: A Constraint on Global Analyses*. American Meteorological Society, Vol. 18, Issue 6. March 2005.
42. VAINIO, H., BIANCHINI, F. *Cancer-preventive effects of sunscreens are uncertain..* Scandinavian Journal of Work Environment and Health Vol 26: 529–531
43. WESTERDAHL J; INGVAR C; MASBACK A; OLSSON H. *Sunscreen use and malignant melanoma*. International journal of cancer. Vol 87 Issue.1: Pp 145–150
44. WILKINSON J AND MOORE R, *Harry's cosmetology*, Longman Singapore Publishers Ltd, Pg 222-258
45. WILLIAMS, D. *Earth Fact Sheet*.
46. WILLIAMS, D. *Sun Fact Sheet*. NASA,
47. WORLD HEALTH ORGANIZATION, *Health effects of UV radiation*.
48. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. *WMO Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, Chapter 8, Seventh edition, August 2008.
49. www.randomhistory.com/2009/04/28_sunscreen.html

Índice

A

absorbancia · 11, 12, 38
ácido 4-amino benzoico · *Ver* PABA
ADN · 26, 27, 30, 31
aloe vera · 28
antioxidantes · 31
atmósfera
 capas · 15
 composición · 15
 densidad · 16
 fenómenos ópticos · 17
 masa · 15, 16
 presión · 17
 propiedades · 15
Atmósfera terrestre · 25
avobenzona · 24
avotriplex · 24

B

Bannana Boat · 56, 57
 ultra defense sheer protect · 57
basilona · 30
bloqueadores solares · 3, 10, 21, 22, 23, 25, 26, 28,
 29, 30, 31, 32, 34, 38
 aerosol · 21
 método in vitro · 36
 método in vivo · 29, 36
bronceado · 9, 21, 29, 30, 33, 34, 37
 bronceadores · 21, 33, 34, 38, 54

C

calentamiento global · 3, 19
camas de bronceado · 33
cáncer · 3, 7, 29, 30, 31
 de piel escamo celular · 30
 melanoma maligno · 27, 28, 30
capa de ozono · 3, 7, 18, 19
 agujero · 18
 descubrimiento · 18
 localización · 18
capa planetaria fronteriza · 16
carcinoma de células basales · 30
Clorofluorocarbonos · 18
Colipa · 29, 32, 36, 37
Coppertone · 22, 54, 56

cremas blanqueadoras · 33
 ácido kojico · 34
 tiroxinaza · 34

D

densidad óptica · *Ver* absorbancia
DHA · *Ver* dihidroxiacetona
dihidroxiacetona · 33
dióxido de titanio · 23

E

envejecimiento de la piel · 3
especies reactivas de oxígeno · *Ver* ROS
espectro de absorción · 12
 absorción de rayos x · 12
 líneas electrónicas · 12
 líneas rotacionales · 12
 líneas vibracionales · 12
espectro de emisión · 13
espectro electromagnético · 13, 6, 7, 11, 15
 infrarrojo · 6, 7, 15
 microondas · 6
 ondas de radio · 6
 radiación electromagnética · 6, 10, 14
 rayos gamma · 6
 rayos x · 6
 región ultravioleta · 7
 región visible · 6, 7
 Ultravioleta · 6, 8, 15
espectrografía
 absorción · 11
 espectro de absorción · 11
 grado de absorción · 11
 laboratorio · 6
espectroscopia
 acústica · 10
 de absorción · 10
 de dispersión · 10
 de emisión · 10
 dieléctrica · 10
 electromagnética · 10
 electrónica · 10
 espectro · 10
 espectroscopia · 9, 10
 mecánica · 10
 Raman · 11
Estratósfera · 16

European Cosmetics Association · Ver Colipa
Eva Wittgenstein · 33
Exósfera · 15

F

factor de protección solar · 22, 26, 55, 56, 57
 30 · 57
 4 · 55
 45 · 55
 50 · 57
Australia · 28
comunidad europea · 28
definición · 26
Estados Unidos de America · 28, 29
Irlanda · 29
México · 29
Reino Unido · 29
Sistema de estrellas · 29
 SPF · 22, 26, 27, 28, 29, 32, 36
Factor de protección solar · 26
factor de protección solar⁸⁰ · 57
FDA · 23, 24, 26, 29, 32, 36
Fenilbenzimidazol · 31
Fresnel · 9

H

Hawaiian Tropic · 56
heterósfera · 16
hidrocortisona · 28
Homósfera · 16
Huygens · 9

I

Individual Topology Angle · 37
Ionósfera · 16
irradiancia · 14
ITA · Ver Individual Topology Angle

L

L'Oreal · 22, 29
luz
 arco iris · 9, 10
 celeste · 18

visible · 10, 17

M

melanina · 21, 22, 27, 30, 31, 33, 34
melanocitos · 30
melanogénesis · 30
melanoma · 3, 27, 28, 30
Mesósfera · 16

N

Newton · 9
 teoría del color · 9

O

octinoxato · 31
octocrileno · 31
onda
 longitud de onda · 6, 9, 11, 13, 17, 18, 36
ondas
 energía · 6
 frecuencia · 6
oxibenzona · 31
ozono · 18
 capa · 16
 ciclo · 18, 19
 Clorofluorocarbonos · 18
 disminución · 19

P

PABA · 24, 31
Persistent Pigment Darkening · 36
Persisting Pigment Darkening · 29
pigmento persistente de oscurecimiento · Ver
 Persisting Pigment Darkening
Planck · 9, 10, 13
 constante · 10
PPD · Ver Persisting Pigment Darkening

R

radiacion ultravioleta
 Rayos UV · 3, 7, 8, 9, 14, 15, 21, 23, 26, 27, 30, 31,
 33, 36

UVA · 28
UVB · 27, 28, 29
Rayleigh · 17
 dispersión · 14, 17
Reactive Oxygen Species · *Ver* ROS
ROS · 31, 32

S

Sidney Chapman · 18
Slip-Slap-Slop · 32
sociedad americana del cáncer · 29
sol
 quemadura · 3, 7, 26, 27, 28, 29, 31
 radiación · 10, 13
sunblock · 23, 38, 56
Sunny day · 56
sunscreen · 23, 32, 38, 56

T

teoría de Mie · 17
Termósfera · 16

tipos de piel · 36, 37
 CIELab · 37
 escala de Fitzpatrick · 37
transmitancia · 11, 12, 28
Tropósfera · 16

V

vitamina D · 30, 32
 deficiencia · 32
vitamina E · 28

W

Wilhelm · 7

Y

Young · 9