

Ondas del Cosmos

**Equipado con sus cinco sentidos,
el hombre explora el universo que lo
rodea y llama a esa aventura: CIENCIA
Edwind P. Hubble**

La ciencia se hace con los cinco sentidos y con extensiones tecnológicas que hemos desarrollado para ellos. El principio de nuestro conocimiento empírico son esas experiencias que adquirimos a través de ellos. Si adicionalmente hay curiosidad, llevaremos a cabo experimentación en el laboratorio, en donde reproducimos y controlamos las variables, o con ayuda de instrumentos observando la naturaleza; hasta que en algunos casos, llega la revolución, la genialidad, el nuevo paradigma, es decir, la nueva forma de ver o describir el fenómeno. Ésta es la base del desarrollo científico, pero sin duda no es la única forma. [¿Método Científico? Buscar en la WEB, en bibliografía o preguntando a investigadores ¿Cómo hacen la ciencia? ¿Cómo se hace un descubrimiento?](#)

La intención de esta introducción es exponer brevemente el contenido de algunos temas que requieren de reflexión por parte del lector, pues aunque cotidianamente percibimos varios de estos fenómenos, no los asociamos con la física fundamental. Este conocimiento nos permitirá comprender mejor que hace un astrónomo profesional y como obtiene información del cosmos.

¿Cuántos sentidos tenemos?

Un médico diría que cinco, alguien dirá que seis -contando uno más entre los atributos del sexo femenino-, pero fisiológicamente se reconocerán sólo cinco, los asociados a las sensaciones que tenemos a través de los ojos, la nariz, la lengua, la piel y los oídos. [Profundizar en el entendimiento de los cinco sentidos, nos dará oportunidad de reconocer otro Universo que llevamos dentro, al cual debemos cuidar y respetar \(Higiene, drogadicción, Medicina\)](#)

La tecnología podría medirse en términos de la cantidad y calidad de las extensiones que inventa el ser humano para cada uno de nuestros sentidos, así, para la vista hemos inventado los anteojos, los telescopios, visores nocturnos, televisión, etcétera. Para el oído hemos inventado audífonos, reproductores de música portátil, teléfonos, entre otros. Para el tacto hemos inventado robots que hacen las cosas que podrían lastimarnos y que pueden estar sin problema en lugares difíciles para el ser humano. De igual manera, para el olfato y gusto hemos desarrollado y aislado olores y sabores que con ayuda de la síntesis de compuestos químicos ya creamos artificiales. Sin embargo, estos dos sentidos han sido poco impulsados tecnológicamente debido a nuestro limitado conocimiento de ellos.

La frase inicial de este texto es de un astrónomo famoso, Edwin Hubble, habla de hacer ciencia con los cinco sentidos ¿La astronomía ocupa los cinco sentidos en su quehacer cotidiano? ¿A qué sabe o huele una estrella? De la respuesta a esta pregunta podríamos empezar a descartar dos sentidos que al parecer no son útiles en las labores de un astrónomo. ¿Los tres restantes son cotidianamente útiles? Seguro que ahora la conclusión inmediata para todos es que sólo la vista es el sentido que cotidianamente usará el astrónomo. Alguien podría dudar y asegurar que el tacto nos sirve también, pues al menos a la Luna hemos llegado, además en la Tierra hay material que seguramente llegó hasta aquí después de un largo viaje interplanetario, un meteorito el cual podemos recogerlo con nuestras propias manos. ¿Qué experiencia tienes con meteoritos? **Meteoro es todo fenómeno que ocurre en la atmosfera y hay una clasificación detallada de cada uno de ellos, meteoroides, bólidos, rayos, truenos, lluvia, tormenta, huracán, ciclón, tifón... te recomiendo buscar cada caso.**

Erróneamente alguien podría concluir que el oído también le sirve al astrónomo en su quehacer diario escuchando el cosmos. Desafortunadamente esto es un gran error. Para quienes creen que el astrónomo oye algo que proviene del espacio exterior, debemos recordarles que el sonido es una onda longitudinal que se mueve a través de un medio elástico, como el aire, el agua o un sólido. ¿Qué medio elástico hay entre las estrellas? Ninguno, entre las estrellas prácticamente hay vacío, en promedio solo hay unos pocos miles de partículas por centímetro cúbico, insuficiente para ser el medio elástico por donde se transmitiera el sonido hasta los oídos del astrónomo. Queda entonces sólo nuestra vista que capta la luz que llega y vemos de las estrellas. La Luz es la onda electromagnética que viaja incluso en el vacío y más rápido que ninguna otra cosa. Una y otra vez hablamos de "onda", así que mejor será entender el concepto.

¿Qué es una onda?

Tenemos tres sentidos que captan ondas: el tacto, el oído y la vista. Un temblor lo podemos percibir con el tacto, un sonido fuerte también lo podemos sentir con la piel y escuchar con los oídos. El caso del sonido podríamos entenderlo simplemente como variaciones de presión que se propagan en el aire y que tienen un comportamiento periódico, es decir, que se repiten de modo regular en el espacio o en el tiempo. El caso de un temblor serían variaciones casi periódicas del nivel del suelo o de algún punto de referencia en él. Hay dos tipos de ondas: transversales y longitudinales (ver figuras 1 y 2 siguientes), entre estos dos, ¿cuál es el caso para el sonido, el temblor y la luz?

El sonido es una onda longitudinal, un temblor lo es también cuando se trasmite dentro de la tierra, una vez en la superficie se convierte generalmente en una onda transversal. La luz es una onda en donde variaciones de campo eléctrico y magnético varían perpendicularmente entre sí y con respecto a la dirección del movimiento (ver figura 3).

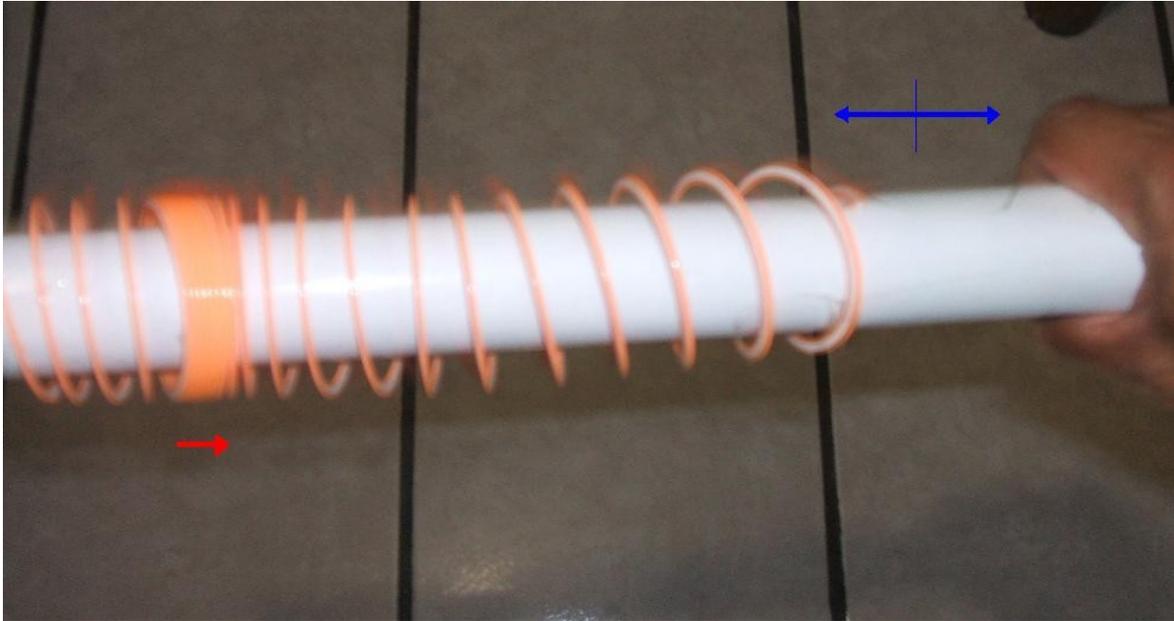


Figura 1. Fotografía instantánea y esquema de una **onda longitudinal**



Figura 2. Fotografía instantánea y esquema de una **onda transversal**

El Sonido

El fenómeno físico del sonido es el más sencillo para comprender, experimentar y recordar las cualidades que tienen las ondas: **intensidad, tono y timbre**. Estas a su vez están relacionadas con parámetros físicos y conceptos prácticos. Así, la intensidad del sonido es conocida como volumen. Cuando gritamos y susurramos una letra, por ejemplo la A, la diferencia es el volumen o intensidad y el parámetro físico asociado es la potencia de la onda sonora. El tono nos permite distinguir lo grave de lo agudo, por

ejemplo, entre las letras I y O, la I semejante al chillido de un ratón, es un sonido agudo. El otro, la O, es un sonido grave. El parámetro físico asociado con el tono es la frecuencia de la onda, es decir, la rapidez de los cambios de presión, así para los sonidos agudos la frecuencia es alta, y muchos cambios de presión llegan a nuestro oído en un segundo; para los sonidos graves recibimos menos cambios de presión por segundo. Resumiendo, frecuencias altas son sonidos agudos y frecuencias bajas dan sonidos graves. El concepto de frecuencia en las ondas es de fundamental importancia en muchas áreas del conocimiento tecnológico, como veremos, es la clave de las telecomunicaciones y un tema fundamental en ingenierías. Con ayuda de software de PC, se pueden mostrar muchos efectos con el sonido, uno fundamental es la RESONANCIA. Este concepto nos puede ayudar desde para afinar una guitarra, hasta para evitar que se caigan construcciones y puentes por temblores o vientos. También es el fundamento de los instrumentos musicales y de la música en sí misma.

Otra cualidad del sonido, mencionada anteriormente, fue el timbre, éste nos permite diferenciar entre instrumentos: no suena igual el violín que el piano. Esta cualidad se debe a que el sonido que emite cada uno de ellos es, en realidad, una mezcla de varias frecuencias cercanas o de múltiplos enteros de ella, pero si permitimos que dominen algunas de éstas el sonido cambiará ligeramente dándole el sonido característico a cada instrumento. Cuando la mezcla se hace con ondas sonoras de frecuencia e intensidad diferentes y sin ritmo, lo que generamos es ruido. Por el contrario cuando la mezcla se hace con ritmo y armonía el resultado es música. El parámetro físico relacionado con el timbre es la modulación, esta nos permite reconocer la voz de cada integrante de nuestra familia. ¿Confundirías la voz de tu mamá con la de tu papá cuando te llaman para comer? Aquí aparece un tema atractivo con el tema de reconocimiento de voz, un tema de moda en la series de criminalística ¿Como lo hacen los criminalistas profesionales? Se puede usar software y una laptop para jugar en este tema.

Como ya mencionamos, los temblores también son ondas que pueden medirse y se caracterizan por estos tres parámetros: la intensidad del sismo, medida en escalas como la de Richter o Mercalli; la frecuencia y la modulación de la vibración, que nos permiten caracterizar el tipo de suelo a través del cual se propagó la vibración. El tema es de enorme importancia en nuestra educación, vivimos en el cinturón de fuego del pacífico y los sismos nos acompañarán por siempre. Buscar más información del tema en el “Sistema Sismológico Nacional”.

¿Qué es la luz?

Un rayo en una tormenta podría ser el fenómeno natural más conocido por todos en donde se manifiesta la relación carga eléctrica y luz. Cuando una carga se mueve con aceleración ésta emite radiación electromagnética que puede ser luz, si es en el rango de frecuencias correspondiente. La variación temporal que sufre un campo eléctrico genera un campo magnético que es perpendicular al eléctrico en el espacio y que también varía (Ver Figura 3). Además, el cambio en el campo magnético produce un cambio en el campo eléctrico que retroalimenta al inicial. Estos cambios simultáneos no pueden estar localizados y tienden a moverse en dirección perpendicular a la de ambos

campos (magnético y eléctrico), produciendo lo que conocemos como ondas electromagnéticas y que viajan a la velocidad más alta a la que algo puede moverse, 299 799.25 km en un segundo [km/s]. Esta velocidad se conoce como la velocidad de la luz y se denota con la letra c . Cuando la variación de estos campos electromagnéticos es aproximadamente de 5×10^{14} veces por segundo (cientos de millones de millones), el fenómeno se conoce como Luz.

Este es el fenómeno indispensable para el quehacer de un astrónomo: **las ondas electromagnéticas (OEM)**, en particular la luz. La principal tarea de un astrónomo es medir los siguientes cuatro parámetros fundamentales de las ondas magnéticas: **la intensidad de la luz, su frecuencia, su grado de polarización y la modulación del haz de luz**. ¿Cómo se puede lograr esto? Tenemos varios ejemplos cotidianos que nuestros ojos perciben: la luz del Sol es más intensa que la luz de una vela, los colores los podemos distinguir uno de otro gracias a que tienen diferente frecuencia y, por el fenómeno de refracción de una onda, podemos saber que un haz de luz blanca es en realidad la mezcla de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias, el arco iris es una bella demostración de este hecho.

El periodo de una onda (el tiempo que tarda una variación completa), su longitud de onda (el espacio entre dos variaciones iguales) y su velocidad, están relacionadas por: Velocidad de la onda = Longitud de la onda / periodo de la onda. Otra relación que tenemos es que el periodo y la frecuencia son inversos, así que, para el caso de las ondas electromagnéticas en el vacío, tenemos una relación muy importante que nos permite relacionar la frecuencia y el periodo:

$$c = \lambda \nu$$

Velocidad de la luz = Longitud de onda x Frecuencia de la onda

Para conocer qué es lo que produce una onda electromagnética, recordaremos el caso del sonido, en el cual la onda se genera por un movimiento mecánico lo suficientemente rápido y periódico, que al interactuar con el aire que lo rodea, causa las zonas de mayor y menor presión consecutivamente. Algo muy parecido será un temblor, sólo que aquí el medio será la tierra en lugar del aire. Para el caso de las ondas electromagnéticas hay tres formas de producirlas, y ninguna de las tres necesita de un medio para su posterior propagación:

- Cambios energéticos a nivel atómico o molecular (un sistema cuántico), que producen transiciones electrónicas y/o transiciones moleculares rotacionales y/o vibracionales.
- Aceleración de cargas eléctricas, como en las estaciones radiodifusoras. Los casos de emisión sincrotrón y ciclotrón son emisiones producidas por cargas eléctricas en presencia de campos magnéticos, y la llamada radiación por frenado (bremsstrahlung) es emitida por cargas eléctricas en campos eléctricos.

- Cargas eléctricas moviéndose a velocidades comparables a la de la luz, conocida como radiación Cherenkov.

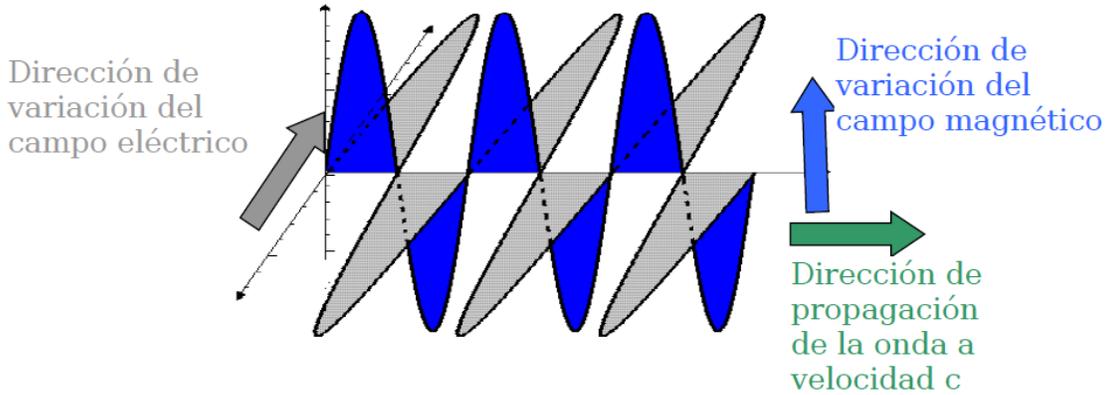


Figura 3. Visualización de una onda electromagnética.

Una biografía importante.... James Clerk Maxwell



Nació en Edimburgo, Escocia, el 13 de junio de 1831. Tuvo una educación formal muy temprana debido a la prematura muerte de su madre. A los dieciséis años había ingresado a la Universidad de Cambridge, donde mostraba dotes extraordinarios para la Física y Matemáticas. En 1861, ya con un puesto en el prestigioso Trinity Collage de Cambridge, ingresa a la Royal Society. En 1871 fue nombrado director del Laboratorio Cavendish uno

de los más reconocidos en el mundo. Sus contribuciones más importantes fueron en la teoría cinética de gases y como inventor de las ecuaciones del campo electromagnético. Fue un genio sintético, pues a partir del rigor matemático de las leyes ya conocidas de inducción de Faraday, de Gauss y de Ampere, así como de la no existencia de monopolos magnéticos (es decir siempre vienen en pares + y -), él dedujo cuatro ecuaciones que ponían de manifiesto la existencia de las ondas electromagnéticas, 30 años antes de su descubrimiento. Es el padre intelectual de las telecomunicaciones y de la naturaleza electromagnética de la luz. Maxwell murió en Cambridge, de cáncer abdominal a la edad de 48 años. La interpretación de las ecuaciones de Maxwell requiere un conocimiento de matemáticas y física de nivel universitario, aquí las mostramos para justificar el adjetivo "genio sintético".



Ecuaciones de Maxwell

Físico escocés, 1831 - 1879

Nombre	Forma diferencial	Forma Integral
Ley de Gauss	$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$	$\oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{A} = \int_V \rho \cdot dV$
Ley de Gauss para magnetismo (ausencia de monopolos magnéticos):	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$	$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$
Ley de inducción de Faraday:	$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$	$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$
Ley de Ampère (con la extensión de Maxwell)	$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$	$\oint_C \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \int_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{A} + \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{A}$



Esta aproximación al tema de ondas electromagnéticas es suficiente para un curso de nivel medio superior, sin embargo hay que poner en contexto la visión desde el punto de vista de la mecánica cuántica, en la que se requieren conocimientos de física moderna. Un tema que seguro causará polémica y que hay que permitir la discusión es: “la dualidad onda partícula de la materia”, buscar quien fue Luis de Broglie y toda la historia de discusiones entre Newton y Huygens al respecto. ¿Cómo se explica la polarización desde el punto de vista cuántico?

Interacción Luz-Materia

Como quedó explicado anteriormente, la luz son campos electromagnéticos variando y desplazándose aproximadamente a 300 mil kilómetros por segundo, por lo que

producirán fuerzas sobre las cargas eléctricas que se encuentren en su trayecto. En particular sobre cualquier superficie sobre la que incidan. La materia está formada esencialmente por átomos, quienes a su vez están formados por cargas, dependiendo del material habrá cargas eléctricas removidas de los átomos o electrones compartidos navegando en el material (como en los metales).

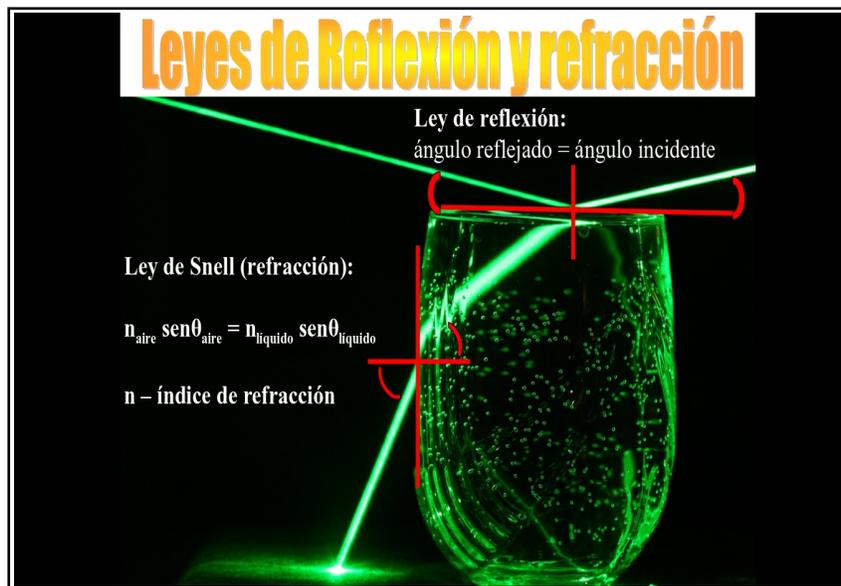
Las partículas más fáciles de acelerar son los electrones pues su cociente carga/masa es el más alto. Veamos que usando la fuerza de Lorentz que nos dice cuál es la fuerza que se produce sobre una carga en presencia de campos electromagnéticos, tenemos que:

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v}/c \times \mathbf{B}) \quad \text{y} \quad \mathbf{F} = m \mathbf{a} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{a} = q/m (\mathbf{E} + \mathbf{v}/c \times \mathbf{B})$$

Observe que la aceleración es proporcional a el cociente q/m , por lo que el electrón es quien más radiará ante la presencia de ondas electromagnéticas.

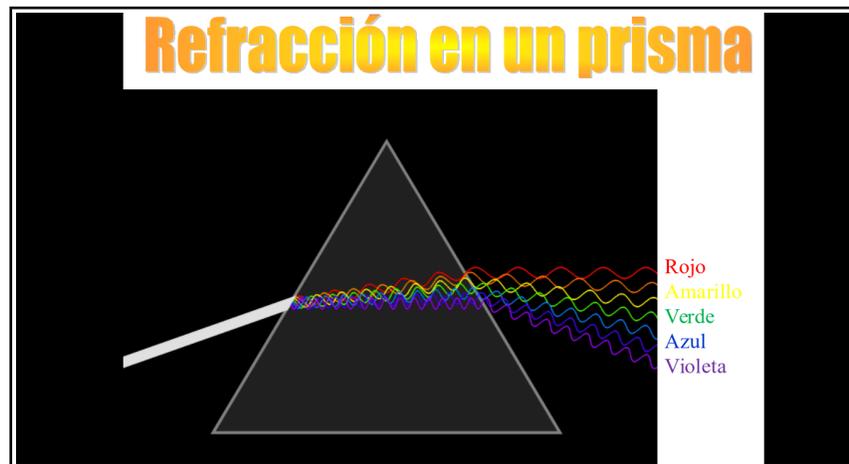
Este hecho es el fundamento de la refracción y la reflexión de la luz y de cualquier onda electromagnética. Cuando esta fuerza entra en resonancia con el movimiento de las cargas, la onda Electromagnética es capaz de crear efectos que se aprovechan tecnológicamente, en particular es el fundamento de las telecomunicaciones.

Ahora recordaremos las propiedades de **reflexión, refracción y polarización** que se cumplen para todas las ondas del espectro electromagnético, desde radio hasta rayos cósmicos. Por facilidad usaremos ejemplos con la luz.



El ángulo de refracción depende de la frecuencia, es decir, un haz o rayo verde tendrá un ángulo diferente al ángulo con que se refracte un haz rojo. Esta propiedad dotó a la ciencia de una herramienta importantísima en el análisis de los materiales. El espectrómetro es básicamente un analizador de la composición de la luz, y la

naturaleza ya tenía un bello fenómeno natural asociado, el arcoiris. Al pasar un rayo de luz del Sol por una gota de agua, cada onda electromagnética se refractará dependiendo de su frecuencia o color que tenga, así el rojo se desviará menos que el verde y el azul se desviará mucho más que el verde, “abriendo” el haz en sus colores componentes.

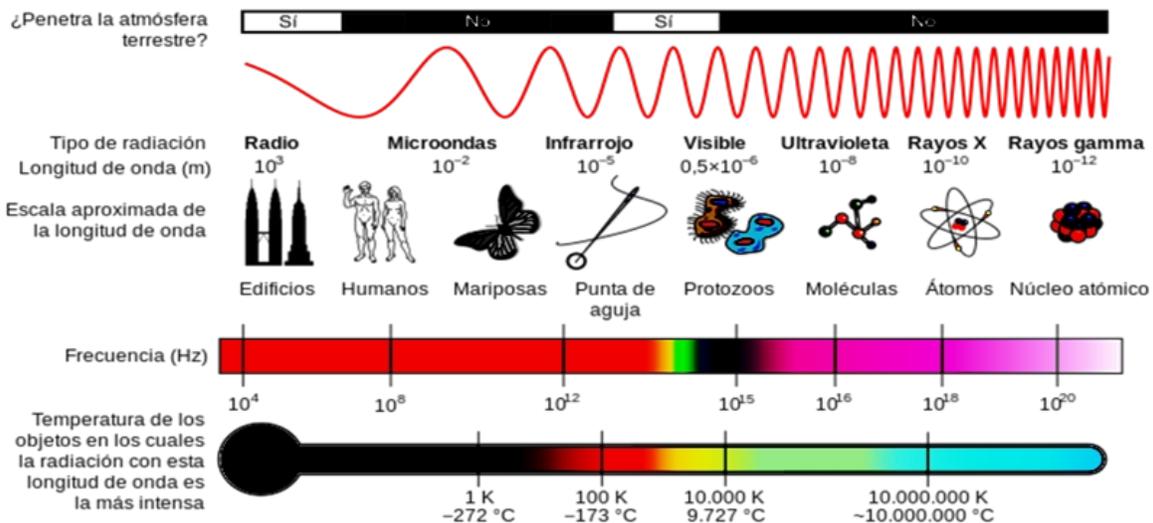


La polarización, es un fenómeno propio de las ondas transversales y se refiere a la identificación del plano en donde oscila el plano eléctrico de la onda, pero que requiere técnicas especiales para medirse y para las cuales no contamos con detectores en los ojos (hay algunos casos excepcionales). Sin embargo, todas las pantallas planas funcionan gracias a este efecto físico, también el cine 3D!!! Investiga cómo funcionan. En las dos figuras siguientes, aparece una rana fotografiada con luz natural, es decir como la veríamos con nuestros ojos (prácticamente la luz reflejada en la superficie); del lado derecho aparece la misma rana pero ahora la fotografía fue tomada usando un filtro polarizador que filtró la luz reflejada que es polarizada. Esto produce el efecto de solo captar la luz que si penetró la superficie del agua, alcanzo la rana y reflejo hasta nuestra cámara dejando ver el cuerpo sumergido de la rana y así verla completa. Como podrás imaginar esta técnica es de enorme utilidad incluso en astronomía.



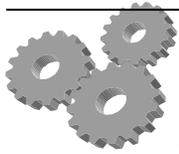
Espectro electromagnético

Cuando el fenómeno descrito anteriormente tiene otras frecuencias de variación de sus campos, diferentes a la rapidez de variación de la luz, el fenómeno sigue presente pero lo llamamos de diferentes maneras según el intervalo en que cae su frecuencia o longitud de onda. Al conjunto de todas las longitudes de onda o frecuencias lo conocemos como: **el espectro electromagnético**.



Las ondas electromagnéticas (OEM), como puedes apreciar en el dibujo anterior, están presentes en muchas de las cosas y aparatos que cotidianamente utilizamos. Los intervalos de frecuencias o longitudes de onda en que hemos dividido este espectro electromagnético son: Radio, microondas, infrarrojo, visible (luz), ultravioleta, rayos X y rayos gamma.

- **Radio**, son OEM con longitudes de onda desde decenas de metros hasta algunos centímetros. Estas dimensiones son comparables a edificios y utensilios humanos, así, recurriendo a cosas cotidianas, podemos observar que la antena de nuestra radio, o la del auto, es normalmente una varilla delgada conectada a un circuito resonante en la frecuencia que emite alguna radiodifusora. En torno al inventor de la radio, hay una polémica fuerte, pues simultáneamente se dieron varios experimentos relacionados. Entre otros están los experimentos que hicieron Guglielmo Marconi (1874-1937, premio Nobel de Física en 1909), Nikola Tesla (1856-1943) y Alexander Stepanovich Popov (1859-1906). La región espectral de radio tuvo su mayor evolución durante la 2ª. Guerra Mundial con el uso de radares. Entonces fueron inventadas las hoy muy comunes antenas parabólicas, en ese momento para mejorar la detección y dirección de movimiento de aviones, y ahora para la recepción satelital en telecomunicaciones.



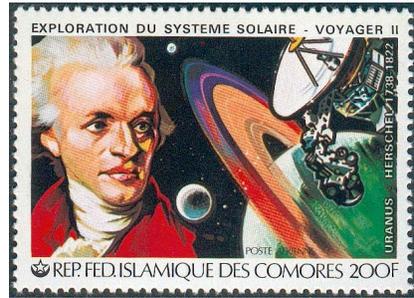
Chécalo Busca toda la información que puedas acerca de cómo funciona una radio, qué rango de frecuencias recibe y las sub-bandas UHF, VHF, etc. Hay dos tipos de modulación AM y FM ¿Qué diferencia hay? Consulta con algún técnico en electrónica que repare radios. Investiga más de cómo funcionan las antenas y de qué tipos hay. En tu comunidad deben sintonizarse estaciones de radio, las de FM estarán entre 85MHz y 110MHz (85 y 110 millones de ciclos por segundo) y las de AM entre los 5 y 17 KHz (5 y 7 mil ciclos por segundo). Usando la velocidad de las ondas electromagnéticas y la relación entre frecuencia y longitud de onda aprendida en la sección anterior, calcula cuál es la longitud de onda de la emisión de radio. **Hagamos un radiotelescopio sencillo que detecte el Sol. En la sección de proyectos daremos una receta sencilla pero interesante.**

-Microondas, son OEM con longitudes de onda desde algunos centímetros hasta fracciones de milímetro, que corresponde en frecuencia desde 1GHz hasta poco más de 300GHz. Las dimensiones de la longitud de onda para este caso, son comparables a insectos. La región espectral de microondas actualmente experimenta su auge tecnológico, desde hornos de microondas, telefonía celular, comunicaciones sin cables, etcétera, y tiene un futuro sorprendente en usos que se volverán cotidianos como radares anticolidión en nuestros autos y mucho más. **¿Sabes cómo funciona un horno de microondas?**

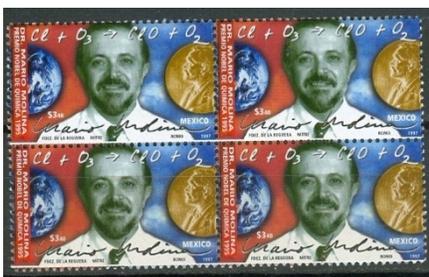
-Infrarrojo, son OEM con longitudes de onda desde fracciones de milímetro hasta fracciones de micras. Para este caso las dimensiones son comparables a bacterias. Su descubridor fue Sir Frederick William Herschel (1738-1822). La luz se puede descomponer en sus colores usando un prisma. Él usó esta técnica y rayos solares, colocando un termómetro en la zona donde ya no se ve luz de ningún color cerca del rojo. Encontró que el termómetro de todos modos se calentaba, como si recibiera luz de algún color invisible. Llamó a estos rayos infrarrojos, por estar junto al rojo en la zona donde no hay luz. Usos actuales de la radiación infrarroja son: la visión nocturna,

comunicaciones (control remoto), medicina, industria, etc.

-Luz, son OEM con longitudes de onda desde fracciones de micra hasta nanómetros. En este caso específico el intervalo de longitudes de onda está muy bien definido pues es el rango visible y va desde los 380 nanómetros (violeta) hasta los 780 nanómetros (rojo). El tema de las propiedades de la luz debe desarrollarse con detalle, pues nos servirá para analizar las propiedades de las ondas electromagnéticas en general. Temas como **reflexión, refracción, polarización**, son fundamentales y hay mucho material para trabajar experimentalmente o teóricamente.



-Ultravioleta, son OEM con longitudes de onda desde los 380 hasta los 15 nanómetros. Fue descubierta por el físico Johann Wilhelm Ritter (1776-1810) poco después que la radiación infrarroja, al buscar del lado opuesto del espectro visible, es decir, junto al violeta en la zona que ya no vemos colores en un arco iris. La radiación ultravioleta tiene efectos importantes sobre el ADN que la torna incluso peligrosa si el cuerpo humano es expuesto prolongadamente a la misma. El Sol es un emisor de radiación ultravioleta; sin embargo, ésta no llega hasta la superficie terrestre gracias a que nuestra atmósfera la absorbe. No obstante, la contaminación de la atmósfera con algunos químicos está provocando que cada vez más radiación ultravioleta llegue a la superficie de la Tierra. La importancia de usar anteojos con protección ultravioleta (abreviado anti-UV) y cremas para el cuerpo con filtro o bloqueador solar es debido a este hecho.



Chécalo, investiga acerca del tema de la radiación ultravioleta (UV) y sus efectos en la vista y la piel. Escribe una monografía acerca del agujero en la capa de ozono que tiene nuestra atmósfera ¿Qué es? ¿Cómo se formó? ¿Qué consecuencias tiene sobre los seres vivos? ¿Quién es Mario Molina? Busca la biografía de este científico de origen mexicano que ganó un

premio nobel en química !!!

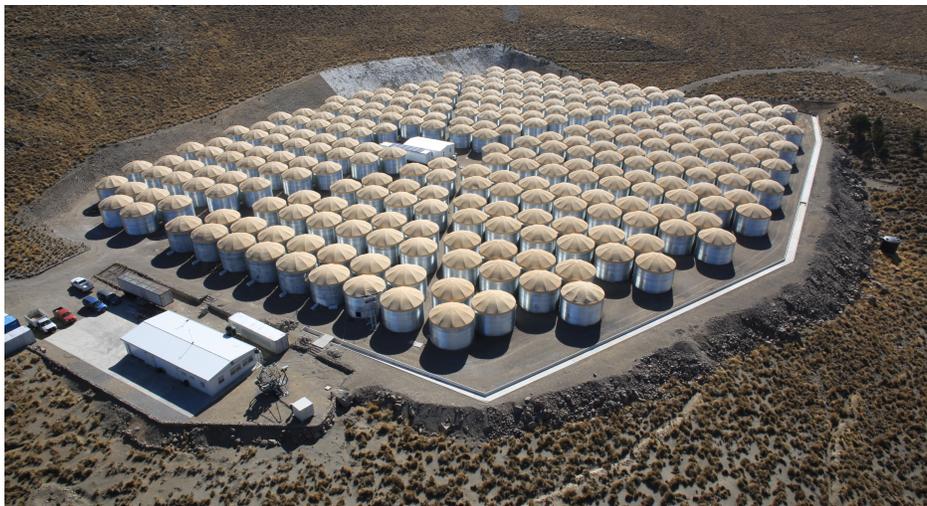
-Rayos X, son OEM con longitudes de onda desde 10 hasta 0.1 nanómetros, correspondiendo a frecuencias en el intervalo de 30 a 3 000 PHz (10^{15} ciclos por segundo). Fueron descubiertos por Wilhelm Conrad Rontgen (1845-1923, premio Nobel 1901 por el descubrimiento de los rayos X). Son usados en



medicina para diagnóstico de fractura de huesos. En la industria y en seguridad se usan para revisión interna de componentes ensamblados o equipaje.



-Rayos cósmicos, para longitudes de onda menores a 0.1 nanómetros. Fueron descubiertos por Víctor Francis Hess (1883-1964, premio Nobel de Física en 1936 por el descubrimiento de los rayos cósmicos), son partículas muy energéticas, básicamente protones y núcleos de helio, que provienen del espacio exterior producidas por eventos muy energéticos, como en el Sol y en explosiones de estrellas llamadas supernovas, que son la etapa final de la vida de estas estrellas. **México cuenta con un detector de talla mundial de rayos cósmicos llamado HAWC. Puedes buscar más información en la página de INAOE México.**



HAWC, detector a gran altura de radiación Cherenkov usando agua (Sierra Negra, Puebla México).

¿Sabías qué?

Las ondas electromagnéticas (entre ellas la Luz) tarda un segundo en ir a la Luna y ocho minutos en recorrer la distancia entre el Sol y la Tierra. Si algún fenómeno ocurre en la superficie del Sol, solo nos percataremos después de ocho minutos. La segunda estrella en cercanía a la Tierra está en la dirección de la constelación del Centauro y su luz viaja durante cuatro años hasta llegar al Sistema Solar. A la luz le tomaría casi cien mil años en atravesar nuestra Galaxia, La Vía Láctea (el conglomerado de miles de millones de estrellas al que pertenece el Sol). Mientras que recorrería la distancia hasta la nebulosa de Andrómeda, la galaxia espiral más cercana, en tres millones de años. Si un hipotético observador en algún planeta alrededor, de alguna de las estrellas de Andrómeda, pudiera observar el Sol, vería su aspecto de hace tres millones de años. Del mismo modo, lo que nosotros observamos al mirar el cielo es el pasado de los objetos celestes dependiendo de su distancia, es relatividad especial.

¿Qué usos le dan a todo este conocimiento los astrónomos?

La Astronomía basa sus principales resultados en los datos que colecta mediante sondas espaciales y por medio del análisis de las ondas electromagnéticas que recibimos en la superficie de la tierra o con satélites de diferentes frecuencias: radio, microondas, infrarrojo, luz (visible), ultravioleta, rayos X y rayos cósmicos. Como ya discutimos, las ondas electromagnéticas son variaciones del campo eléctrico y, perpendicularmente a él, del campo magnético. Juntos se mueven, en una dirección perpendicular a ambos, con una rapidez mayor a la que ningún objeto se puede desplazar, aproximadamente 300 000 km/s en el vacío. Así que este fenómeno de las ondas electromagnéticas es el mejor transporte de la información de lo que sucede en cualquier rincón del Universo. Por esa razón los astrónomos deben obtener todos los parametros posibles de la radiación electromagnética. Como recordaremos los parametros que hay que medir a una onda electromagnética son su potencia, frecuencia, modulación, ritmo y polarización; cada uno de estos parámetros tiene técnicas que se han desarrollado en la astronomía con un nombre en particular:



México construyó el Gran Telescopio Milimétrico para escudriñar el cosmos

Para la astronomía, los instrumentos que se usan desde la antigüedad son los ojos. Culturas en Medio Oriente, Europa y Mesoamérica tienen vestigios de un paciente y metódico estudio de los objetos más brillantes, como lo son el Sol, la Luna, algunas pocas estrellas y algunos planetas. México cuenta con una larga historia en Astronomía. Sin embargo, los dos telescopios profesionales de mayor tamaño con que cuenta actualmente, tienen espejos primarios de 2.1m de diámetro y trabajan en la región del espectro visible e infrarrojo. Uno de estos telescopios está localizado en Cananea, Sonora y es operado por el INAOE, y el otro se encuentra en la Sierra de San Pedro Mártir, en Baja California Norte, y es operado por el Instituto de Astronomía de la UNAM. Aunque ambos telescopios generan datos que permiten a los astrónomos mexicanos estar a la par que muchos astrónomos de otras partes del mundo, ya son limitados por su propio tamaño.

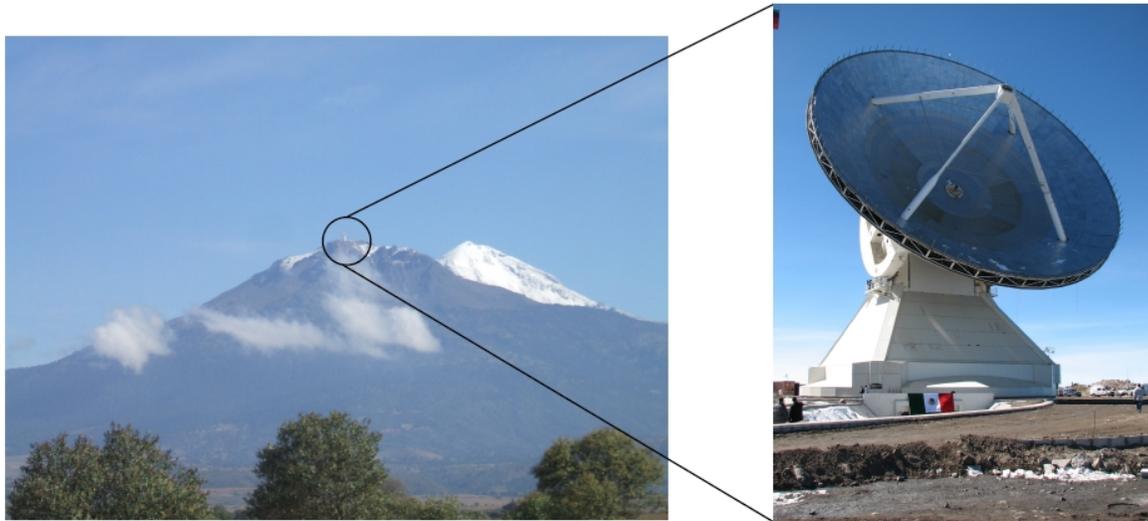


Figura 6. Vista del volcán Sierra Negra (al fondo se visualiza la punta nevada del volcán Pico de Orizaba), a la izquierda se muestra el GTM en forma ampliada.

El Gran Telescopio Milimétrico (GTM) es un nuevo instrumento, recientemente inaugurado, que estará optimizado dentro la región espectral de las microondas, es decir, ondas electromagnéticas a frecuencias entre 75 y 300GHz (GHz, quiere decir, miles de millones de variaciones del campo electromagnético por segundo, en longitudes de onda estas serán entre 1mm y 4mm, por lo que también son llamadas ondas milimétricas); es un radiotelescopio con una antena principal, de tipo paraboloide de revolución (sección transversal parabólica) de 50 metros de diámetro. El proyecto GTM ha terminado su etapa de construcción y ha iniciado su etapa de producción científica. Cada uno de los instrumentos es un prototipo diseñado científicamente para un objetivo específico, son instrumentos para los cuales se han inventado nuevas tecnologías que pronto veremos aplicadas a la industria, la medicina y comunicaciones. El proyecto es una colaboración entre el INAOE en Tonantzintla, México; y la Universidad de Massachusetts Amherst, Estados Unidos. GTM y sus instrumentos en poco tiempo darán a la comunidad astronómica mexicana, e internacional, nueva información del universo.





¿Cómo funciona el GTM?

Como la mayoría de los telescopios, tiene una superficie principal o primaria que colecta las ondas milimétricas, éstas son reflejadas a una superficie secundaria, la cual las enfoca en un punto donde se colocan los detectores que registran y procesan las señales. Hay dos tipos de detectores en GTM uno que es como un termómetro muy sensible y otro del cual su funcionamiento básico es el mismo de un radio receptor comercial de frecuencia modulada. Ambas técnicas dividen su funcionamiento en dos etapas, una a altas frecuencias en la detección inicial y otra etapa de baja frecuencia, esta última la consigue de la diferencia entre la inicial y la generada por un oscilador local a una frecuencia fija cercana a la que se desea sintonizar, finalmente se procesa la diferencia y esto le permite mejor control de los parámetros a medir, pues es relativamente más fácil el procesamiento a bajas frecuencias.

¿Qué observará?

El GTM observará el universo frío e invisible al ojo humano, lo cual incluye regiones del espacio a muy bajas temperaturas relacionadas a la formación de estructuras a diversas escalas (desde nuestro sistema solar hasta los confines del Universo), así como también la luz emitida por moléculas que forman parte de la cadena química que lleva a la vida; verá la componente molecular que hay entre las estrellas de nuestra galaxia y en las galaxias vecinas. Sí, entre las estrellas hay moléculas flotando y vagando entre esas inmensas distancias, la cantidad por centímetro cúbico es muy pequeña, del orden de unas miles por centímetro cúbico, pero en total, grandes cantidades por la inmensidad de espacio, lo que permite que sean detectadas. Actualmente se han detectado unas 200 especies moleculares y se espera la detección de muchas más como los son los fullerenos (nano-moléculas como el revolucionario C-60) y los hidrocarburos poli-aromáticos (PAH's por sus siglas en inglés). El tema es sensiblemente interesante, pues se han detectado moléculas como H₂O, CO, NH₃, y cadenas hasta de 12 elementos en donde abundan C, O, y H. Se espera detectar moléculas prebióticas y con esto replantear el origen mismo de la vida. Otro tema muy importante que abordará el GTM, serán las galaxias más lejanas en el Universo, que son galaxias muy tempranas y por lo tanto permitirán hacer deducciones sobre su evolución, también estudiará planetas y sus atmósferas, así como cometas en el Sistema Solar, y un tema crucial dentro de la astronomía que es el de cómo se forman las estrellas, fenómeno el cual inicia en las nubes moleculares que existen en las

galaxias.

Una importante discusión es la revolución industrial que está generando la nanotecnología, ¿Sabías que la primera estructura natural “nano” descubierta por la ciencia, fue hecha por un astro-químico? Su nombre fue Harold Kroto, busca su biografía e historia, él buscaba los residuos que se generarían cuando nuestro Sol llegue a la etapa de nebulosa planetaria y en los experimentos encontró la estructura nano: C-60, considerada una macro-molécula.

Debido a la elevación del sitio, el Volcán Sierra Negra a aproximadamente 4600m sobre el nivel del mar, hay poca humedad (vapor de agua), lo que hace que la atmósfera sea más transparente a las ondas milimétricas. Además, por su latitud terrestre cercana al ecuador, GTM podrá observar el centro de la Vía Láctea a una buena elevación, y de esta manera descubrir que sucede en los núcleos de las galaxias. En la región central de las galaxias se sabe que hay agujeros negros supermasivos que deforman la geometría del espacio, esto produce deformaciones y sombras extrañas de los objetos. Actualmente GTM en colaboración con otros



radiotelescopios en el mundo están formando juntos el telescopio más poderoso que permitirá observar por primera vez la sombra del hoyo negro que habita en el centro de la Vía Láctea. Por esta misma razón será un buen aliado para futuros proyectos en colaboración en el hemisferio sur con complejos de radiotelescopios como ALMA (Atacama Large Millimeter-Array, el arreglo de radio-telescopios más grande del mundo), y el VLT (Very Large Telescope, telescopios ópticos-infrarrojos que trabajaran

interconectados). Por otro lado con los telescopios orbitales, que prácticamente no tienen restricciones en su línea de visión, GTM podrá observar parte del hemisferio sur y todo el hemisferio norte, potenciando su utilidad.



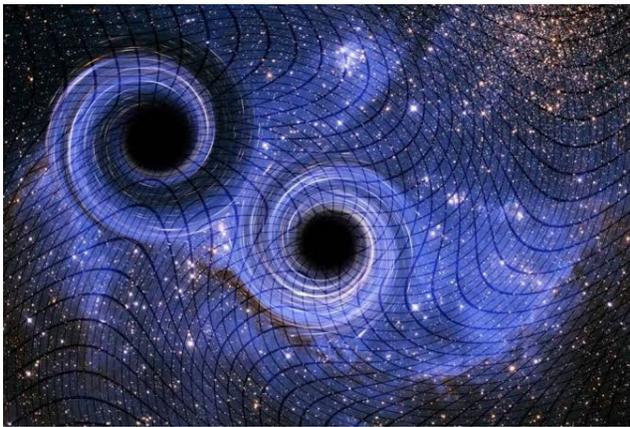
Figura 7. Visualización de algunos detalles y del interior del GTM.

El GTM es un proyecto que inició hace más de 20 años en el que han participado un gran número de personas: astrónomos, técnicos, estudiantes, administradores, etcétera, cuyo esfuerzo se verá reflejado en el impacto científico a nivel mundial con los resultados que aportará este gran instrumento.



El tema de agujeros negros es sin duda fuente de inspiración para ciencia y ficción, es una enorme herramienta para introducir temas de física moderna y literatura. Puede uno probar incluso arte, ¿Cómo se vería el entorno de un agujero negro?

Ondas gravitacionales



Un tema que apareció en todos los noticieros en el otoño de 2015 fue el de “ondas gravitacionales”, apareció la noticia de la detección de perturbaciones gravitacionales provenientes de la interacción violenta de dos hoyos negros usando un instrumento llamado LIGO. Los medios informaban de la importancia del descubrimiento argumentando que era una predicción hecha por Albert Einstein y que solo 100 años después se había podido alcanzar el nivel

tecnológico para medirlas, adicionalmente muchos concluían que se habría una nueva ventana para la exploración del Universo. Todas estas aseveraciones son ciertas y hay una historia y evolución de la ciencia en torno al tema de ondas gravitacionales, una referencia introductoria al tema es el libro de Shahen Hacyan “Ondas gravitacionales, Las ondas invisibles del universo” editado por el Fondo de Cultura Económica en la serie la ciencia para todos No. 252. En modo resumido podemos decir que las ondas gravitacionales que se han detectado son del tipo transversal, es decir más parecidas a las ondas electromagnéticas y se producen por fenómenos producidos en objetos muy masivos y con velocidades comparables a la de la luz, es decir, en donde los efectos relativistas son notorios y perturban el espacio-tiempo. Así los objetos astrofísicos muy masivos como hoyos negros, estrellas de neutrones, centros de galaxias con hoyos negros supermasivos y fenómenos que involucran grandes masas, como el mismo inicio del universo; son los candidatos para producir los eventos que producen las ondas gravitacionales más intensas. La tecnología necesaria para poder medir las ondas gravitacionales, es la más sofisticada y costosa que se usa en la ciencia y actualmente con proyectos de miles de millones de dólares. La tecnología para la detección evolucionó desde el uso de sensores piezoeléctricos para detectar la deformación de cilindros o esferas hasta la que actualmente se usa que es la de grandes interferómetros de kilómetros de distancia, con alto vacío, ultra bajas temperaturas y prácticamente cero vibraciones.

BIBLIOGRAFIA:

De la serie “La ciencia para todos” del Fondo de Cultura Económica:

- “La Luz”, Ana María Cetto
- “El fuego del Cielo”, José Altshuler
- “La física en la medicina II”, María Cristina Piña Barba
- “Cien años en la vida de la luz”, Luis de la Peña
- “Ondas gravitacionales, Las ondas invisibles del universo” Shahen Hacyan

SOFTWARE:

- Osciloscope (WINSCOPE)

PÁGINAS WEB:

- Biblioteca digital ILSE (libre acceso la serie “La ciencia para todos” del Fondo de Cultura Económica)
<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/menu.htm>
- Sistema Sismológico Nacional
<http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/ultimos/>
- GTM
<http://www.lmtgtm.org/>