

**UNA MIRADA DIFERENTE AL ESPACIO: PROPUESTA DE ENSEÑANZA
HACIA LAS ONDAS DE RADIO POR MEDIO DE LA OBSERVACIÓN
ASTRONÓMICA PARTIENDO DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.**

LEIDY LORENA PEDRAZA AHUMADA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
ENSEÑANZA DE LA FÍSICA Y SU RELACIÓN FÍSICA-MATEMÁTICA
UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
BOGOTÁ, COLOMBIA

2020

**UNA MIRADA DIFERENTE AL ESPACIO: PROPUESTA DE ENSEÑANZA
HACIA LAS ONDAS DE RADIO POR MEDIO DE LA OBSERVACIÓN
ASTRONÓMICA PARTIENDO DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.**

LEIDY LORENA PEDRAZA AHUMADA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE LICENCIADA EN FÍSICA

Asesor:

Profesor: VICTOR ANDRÉS HEREDIA HEREDIA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

ENSEÑANZA DE LA FÍSICA Y SU RELACIÓN FÍSICA-MATEMÁTICA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

BOGOTÁ, COLOMBIA

2020

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	i
1. PREVIOS.....	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Objetivos:	3
1.2.1. <i>Objetivo General</i>	<i>3</i>
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i>	<i>3</i>
1.3. Antecedentes.....	3
2. REFERENTES CONCEPTUALES	4
2.1. Historia de la astronomía óptica	4
2.2. Ondas electromagnéticas y espectro electromagnético	8
2.2.1. <i>Unificación de la electricidad, el magnetismo y la óptica</i>	<i>8</i>
2.2.2. <i>Leyes de maxwell.....</i>	<i>10</i>
2.2.3. <i>Ondas electromagnéticas.....</i>	<i>12</i>
2.2.3.1. Fenómenos y propiedades de las ondas.	13
2.2.4. <i>Espectro de absorción atmosférico</i>	<i>19</i>
2.2.5. <i>Espectro electromagnético, el caso de las ondas de radio</i>	<i>22</i>
2.3. Radioastronomía	24
2.3.1. <i>Radiofrecuencias terrestres</i>	<i>24</i>
2.3.2. <i>El comienzo de la radioastronomía.....</i>	<i>30</i>
2.3.3. <i>El radiotelescopio, una nueva forma de ver el cielo</i>	<i>31</i>
2.3.4. <i>Radiofuentes celestes.....</i>	<i>36</i>
2.4. Interferometría.....	38
3. METODOLOGÍA.....	42
4. DISCUSIONES.....	47
4.1. Resultados esperados.	47
4.2. Conclusiones.....	48
Conclusiones de orden metodológico	49
Conclusiones de orden conceptual.....	49
Conclusiones de orden experimental	50
4.3. Recomendaciones	51
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
6. ANEXOS.....	55
6.1. Anexo 1: Traducción texto escrito por Karl Jansky en 1933	55
6.2. Anexo 2: Propuesta didáctica	68

TABLA DE IMÁGENES

Imagen 1. Componente eléctrica y magnética de la radiación. Tomada de: Espectrometría. Radiación electromagnética. Facultad de ciencias químicas. P.2.	12
Imagen 2. Representación de una onda electromagnética. Encontrada en: https://www.elbierzodigital.com/hagase-la-luz-se-una-onda-electromagnetica/197964	13
Imagen 3. a). Difracción de una onda con dos tipos de orificios. b) Interferencia de dos ondas. c) Reflexión especular y difusa de la luz. d) Refracción de la luz	14
Imagen 4. Intensidad específica de radiación en la dirección OD. Imagen Tomada del libro Panorama de la Astronomía moderna, p.15.	15
Imagen 5. Arriba onda transversal en la que la perturbación transmitida se localiza en dos planos perpendiculares (No Polarizada). Abajo onda con oscilación solo en el plano vertical (Polarizada). Imagen tomada de: Propagación de las ondas. Fenómenos ondulatorios.	17
Imagen 6. Propiedades de las ondas. Imagen encontrada en: http://www.estoy-aprendiendo.com/ondas.html	18
Imagen 7. Espectro de absorción de la atmósfera. Encontrado en: Enseñanza. Enseñanza y divulgación de las ciencias. Introducción a la radioastronomía. p.2.....	19
Imagen 8. Comparación del universo desde diferentes longitudes de Onda. Encontrado en la página milesdemillones, https://milesdemillones.com/2012/12/25/el-universo-visto-en-diferentes-longitudes-de-onda/	20
Imagen 9. Representación del espectro electromagnético. Imagen encontrada en: http://www.gaiaciencia.com/wp-content/uploads/2016/11/spectrum_EM_1.png	22
Imagen 10. Primer telescopio radar construido por Reber. Imagen tomada de: Manual de Radioastronomía. Alma en la escuela. p.8.	31
Imagen 11. Camino de las ondas de radio en una antena hasta el receptor. Encontrada en: Enseñanza. Enseñanza y divulgación de las ciencias. Introducción a la radioastronomía, p.4.....	31
Imagen 12. Diagrama Polar y sus características. Tomada y adaptada de: Instalación y puesta en marcha de un pequeño Radiotelescopio en la Universidad Politécnica de Cartagena. p.32	35
Imagen 13. Patrón de la antena en representación plana. Tomada de: PARTNET. Curso de iniciación a la Radioastronomía. Capítulo 5: Conceptos técnicos de un radiotelescopio y la radiación recibida. p.5.....	35
Imagen 14. a) Imagen del grupo de galaxias M81 en óptica y en Radio. b) Imagen de Una explosión de Supernova. Tomada de: PARTER (2003). Curso de iniciación a la Radioastronomía. Capítulo 4: Fuente de Radio III: Sistema Solar y Galaxias. p.7	38
Imagen 15. Relación entre la posición de las antenas (izquierda) y el patrón de interferencia que se recibe (derecha). Imagen tomada de: https://mural.uv.es/imarvi/Interf/Interf.html sección 1.2.	39
Imagen 16. Principales características de un Radiointerferómetro de dos elementos. Tomada y adaptada de: https://mural.uv.es/imarvi/Interf/Interf.html Sección 1.2.	41
Imagen 17. Representación de un interferómetro de tres antenas por medio de pares. Adaptado de: https://mural.uv.es/imarvi/Interf/Interf.html Sección 1.2.....	42

TABLA DE ECUACIONES:

<i>Ecu. (1)</i>	11
<i>Ecu. (2)</i>	11
<i>Ecu. (3)</i>	11
<i>Ecu. (4)</i>	11
<i>Ecu. (5)</i>	15
<i>Ecu. (6)</i>	16
<i>Ecu. (7)</i>	16
<i>Ecu. (8)</i>	16
<i>Ecu. (9)</i>	18
<i>Ecu. (10)</i>	34
<i>Ecu. (11)</i>	35
<i>Ecu. (12)</i>	41

Lista de tablas

Tabla 1. Principales Ventanas atmosféricas. Imagen tomada de Fundamentos Físicos de la Radioastronomía. Capítulo 2: Observación de la Radiación electromagnética. p.2.	19
Tabla 2. Algunas características de cada uno de los rangos del Espectro de ondas Electromagnéticas.	22
Tabla 3. Espectro de Radiofrecuencias.	25
Tabla 4. Características de las Radiofrecuencias.	29
Tabla 5. Síntesis del primer momento de la propuesta didáctica.	44
Tabla 6. Síntesis del segundo momento de la estrategia didáctica.	45
Tabla 7. Síntesis del tercer momento de la propuesta didáctica.	45
Tabla 8. Síntesis del cuarto momento de la propuesta didáctica.	46
Tabla 9. Síntesis del quinto momento de la propuesta didáctica.	46
Tabla 10. Criterios de evaluación de la propuesta didáctica.	99

INTRODUCCIÓN

Cada vez es más frecuente hablar acerca de la Astronomía, pero al tratarla las personas tienden asociarla con la observación desde un punto de vista óptico. Es así que este trabajo está centrado hacia comprender otra forma de concebir la observación astronómica, como lo es la *Radioastronomía*. Con base en ella, y su instrumento de recolección de información, el *Radiotelescopio*, se busca dar una comprensión acerca de las *ondas electromagnéticas*, en particular las *ondas de radio*. Esto se hará enfocado en una perspectiva experimental, de modo que a partir de allí se construye una serie de actividades que permitan el desarrollo de las temáticas como ondas, ondas electromagnéticas, espectro electromagnético, radioastronomía e interferometría, entre otros, y para afianzar estos conocimientos se propone la construcción de un radiotelescopio de onda corta, esto por medio de las metodologías del *Aprendizaje Cooperativo* y *Aprendizaje Orientado a Proyectos (AOP)*.

De este modo, en presente trabajo en primera instancia se realiza una breve problematización del tema a tratar y los objetivos que lo guiarán. Posteriormente, se realiza toda una formalización conceptual abarcando diferentes conceptos que permiten comprender lo que se va a trabajar y que además sirve como base en la propuesta didáctica.

Es así que en esta última se abarca un primer aspecto que es la *Astronomía óptica* haciendo un breve recorrido histórico por esta, mencionando sus aportes y personajes más relevantes. Posteriormente, y para poder empezar hablar de observaciones distintas a la anterior, iniciando desde el *electromagnetismo*, en particular la unificación de la electricidad, el magnetismo y la teoría ondulatoria de la luz. Continuando con una caracterización de lo que es una *onda electromagnética* y el conjunto de rangos en que se puede dividir el *espectro electromagnético* donde solo una pequeña sección de este logra atravesar la atmósfera y llegar a la superficie terrestre, como es el caso de las *ondas de radio* con base a las cuales girará gran parte del trabajo.

Este tipo de ondas comprenden una frecuencia aproximada de 3 Hz y $3 \times 10^{11}\text{ Hz}$, y una longitud de onda entre 1 mm y 1000 Km , y aunque sus aplicaciones más comunes abarcan *comunicaciones terrestres*, los cuales son de gran importancia y cada vez tiene

mayores aplicaciones dentro de las actividades cotidianas de todos, tales como: televisión, radiodifusión, soldaduras, comunicación militar, telecomunicaciones móviles, entre otras. Pero aparte de esto, las ondas de radio también sirven para estudiar el cielo, lo que lleva a la *radioastronomía* involucrando personajes como Karl Jansky y Grote Reber, sus primeros promulgadores. Es desde allí que se inicia un proceso hacia la formalización de esta rama de la astronomía.

Por este medio es posible estudiar diferentes objetos celestes, los cuales se conocen como radiofuentes y son aquellos que emiten gran cantidad de *ondas de radio*, y entre estos se puede mencionar principalmente las radiogalaxias y radiocuásares, aunque también es posible estudiar la Luna, el Sol y los Planetas, y demás objetos celestes.

Aunque con la *radioastronomía* se logra obtener gran cantidad de información sobre el cielo, también tiene varios inconvenientes en su estudio, pero es por medio de la *Interferometría* que se da solución de algunos de ellos, permitiendo así observar mejor un determinado objeto. Pero esto no es suficiente, ya que también es importante construir grandes antenas, debido a que las longitudes de onda son muy amplias, además, se hace necesario disponer de dos o más antenas que recojan una mayor información que nos llega.

Es en esta medida, y con el ideal de abordar estos temas, que surge una propuesta didáctica basada en el *Aprendizaje Cooperativo* y el *Aprendizaje Orientado a Proyectos (AOP)* desde los cuales se hace una estrategia fundamentada en el trabajo en equipos, donde cada uno de los integrantes tiene un papel que cumplir en este, y uno de ellos es el líder, que se encargará de guiar a sus compañeros recibiendo también el apoyo de estos. La idea es que entre todos colaboren mutuamente para así lograr cumplir las metas que se propongan y cumplir las expectativas de cada actividad. En este caso, el docente es un orientador del proceso de aprendizaje y propone las actividades que se van desarrollando.

Finalmente, por una parte se propone elaborar un radiotelescopio de onda corta¹ donde los estudiantes deben poner en práctica los conocimientos que hayan adquirido

¹ Este radiotelescopio se especifica más a fondo en la metodología, y se elabora de acuerdo a una serie de actividades planteadas por del programa PARTNER (Proyecto Académico con el Radio Telescopio de la NASA en Robledo). Diseñado especialmente para captar las ondas de radio que emite Júpiter, las cuales se comprenden entre 18 a 22 MHz (onda corta), rango que se encuentran en gran parte de radios caseros.

mediante indagaciones previas sobre este; y además, elaborarán una cartilla, donde evidenciarán el desarrollo de las actividades, y también los problemas, inquietudes, propuestas y conclusiones que les vaya surgiendo.

Como último elemento, se hace necesario mencionar algunas *discusiones* que se presentan con base en el trabajo. Estas están divididas en tres: los *resultados esperados* relacionado con lo que se espera que los estudiantes logren comprender al finalizar el desarrollo de todo el conjunto de actividades; las *conclusiones* que se logran extraer de las metodologías planteadas, de las enseñanzas que deja realizar toda esta investigación, y del experimento; y las *recomendaciones* que es posible hacerle a la persona que quiera llevar a cabo dicha propuesta.

Finalmente, aunque hoy en día se conoce más sobre la astronomía, los diferentes rangos del espectro electromagnético, y las telecomunicaciones y se han llevado en varios casos a un aula de clase, pocas veces se muestra la relación entre estas y menos el uso de la interferometría que es muy común en la actualidad (aunque menos distinguida). De modo que, este trabajo intenta dar una comprensión hacia la dependencia entre estas por medio de la *radioastronomía* sin dejar de mencionar su instrumento de estudio, el *radiotelescopio*. Y a partir de ello lograr hacer una comprensión más a fondo sobre las *ondas electromagnéticas*, en particular de las *ondas de radio*.

1. PREVIOS

1.1. Planteamiento del problema

Cuando hablamos de astronomía, las personas tienden a asociarla con el estudio de *“... los objetos visibles en el cielo nocturno. En efecto, la mayoría de la gente todavía piensa que eso es lo que hacen los astrónomos...”* (Madrid Deep Space Communications Complex (MDSCC), s.f.). E incluso en gran parte de colegios, semilleros y grupos accidentales de estudio, entre otros, predomina el discurso de observar el cielo por medio de la vista o utilizando herramientas como el telescopio, omitiendo técnicas de observación diferentes a la óptica que permiten distintas formas de estudiar el cielo.

Ahora bien, por lo general la astronomía se aborda en el colegio para estudiar fenómenos alrededor de la óptica sin ir más allá y explorar nuevos campos o métodos de *observación*; incluso al nombrar la palabra astronomía se asocia a parte de los objetos celestes a herramientas tales como los telescopios o monóculos como principal y única fuente de observación, o al menos así lo llega a pensar gran parte de los estudiantes de la mayoría de colegios, debido también al hecho que *“el estudiar astronomía significaba estudiar los objetos visibles en el cielo nocturno y se desconocía que había otra forma de observar el universo más allá de nuestra atmósfera”* (MDSCC, s.f.) sin darse cuenta que existe una variedad de campos y métodos con los cuales es posible estudiar y comprender el universo.

Con base en lo anterior se puede hablar de la Radioastronomía, la cual, estudia las ondas cósmicas más amplias del espectro electromagnético, y logra caracterizar esta radiación al ser *“...emitida por miles de millones de fuentes extraterrestres...”*, que luego pasa *“...a través de la atmósfera de la Tierra directo a nuestro dominio en el suelo* (MDSCC, s.f.), y al estudiar esta radiación logramos obtener diversa información acerca de algunos aspectos del espacio, además, *“la radioastronomía ha aportado una gran riqueza de herramientas, de instrumentos y de métodos de procesado de datos”* (Rosenberg, Russo,

Bladon & Lindberg, 2013, p.3), los cuales valen la pena al menos abordarlos y así comprender que existen distintos métodos para la observación astronómica.

A pesar de esta gran variedad de métodos, la manera más común como los docentes siguen transmitiendo conocimiento es por medio de ecuaciones o resolviendo ejercicios en el tablero, sin dejar nada enriquecedor para la vida del estudiante. Pero han surgido nuevos e innovadores métodos de trabajo con estudiantes, como es el caso de generar un *“conocimiento y la aplicación de los contenidos de una disciplina, para resolver problemas prácticos o desarrollar proyectos de cambio para la sociedad, es un aprendizaje necesario para los alumnos”* (Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), s.f, p.2), y así abordar temáticas diferentes a la óptica en el estudio de la astronomía, ya que esta *“es uno de los pocos campos de la ciencia que interactúa directamente con la sociedad. No solamente sobrepasa fronteras, si no que promueve las colaboraciones en todo el mundo”* (Rosenberg, Russo, Bladon & Lindberg, 2013, p.2).

Es así como a partir de la construcción del radiotelescopio en el aula de clase se puede ayudar afianzar conocimientos no solo en óptica, como sería en el caso con un telescopio convencional, sino en varios campos de la física en particular el electromagnetismo. Ya que al utilizar distintos métodos y herramientas de estudio es posible abarcar diversos ámbitos en la física, y más aún, al elaborar un instrumento donde se evidencien estos fenómenos, al estudiante le sea más fácil comprender ciertos conceptos que con la sola teoría. Del mismo modo, *“los estudiantes toman una mayor responsabilidad de su propio aprendizaje y (...) aplican, en proyectos reales, las habilidades y conocimientos adquiridos en el salón de clase”* (ITESM, s.f, p.3).

Uno de estos conocimientos que es posible afianzar es el concepto de *onda electromagnética*, y más específicamente, las *ondas de radio*. Este tipo de ondas, además de estar en nuestra cotidianidad por medio de radio, televisión, celulares y demás dispositivos de comunicación, también esconden una gran cantidad de información proveniente del espacio exterior.

Con ello, surge la siguiente pregunta problema, *¿En qué medida, mediante la elaboración de instrumentos para la observación astronómica se posibilita el estudio de las ondas electromagnéticas, en particular las ondas de radio?*

1.2. Objetivos:

1.2.1. Objetivo General

Proponer una estrategia didáctica en el estudio de las ondas electromagnéticas, en especial las ondas de radio, por medio de instrumentación para la observación astronómica como alternativa a la enseñanza dentro de la Física.

1.2.2. Objetivos específicos

- Indagar sobre los conceptos relevantes acerca de la Radioastronomía.
- Diseñar una ruta aprendizaje para la enseñanza de las ondas electromagnéticas, en particular de las ondas de radio.
- Desarrollar mediante la construcción de un radiotelescopio y la observación astronómica una alternativa de enseñanza de las ondas electromagnéticas.
- Determinar la relevancia y pertinencia en las actividades del presente trabajo alrededor del estudio de las ondas electromagnéticas, en particular las ondas de radio.

1.3. Antecedentes

La revisión de antecedentes se hizo en especial respecto a la construcción de herramientas de observación astronómica distintas al telescopio, en particular sobre el radiotelescopio.

Dos de los trabajos que se hace mención se centran en la construcción de un radiotelescopio propiamente dicho. A los que se hace referencia son un radiotelescopio que se construyó en la fundación INAOE (Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y

Electrónica), en México, por un equipo de trabajo, de los cuales se menciona a Abraham Luna, Gisela Domínguez, Sergio Alejandro Colombres y Gilberto Garista Fragoso. El otro fue uno que se construyó en la Universidad Politécnica de Cartagena, en Colombia, como trabajo de grado de Javier Díaz Rubio. Para ambos casos es posible encontrar que a pesar de las dificultades que se pueden presentar en su diseño y construcción, es una herramienta que permite la enseñanza de la radioastronomía a los estudiantes donde además puedan comprender variados conceptos físicos.

Otro trabajo consultado, es un proyecto ganador del concurso de divulgación científica del CPAN (Centro Nacional de Física de Partículas, Astropartículas y Nuclear), propuesto por José Luis Lombardero Piñero, profesor de Tecnología e Informática del IES Madrid Sur de Madrid, en el cual se muestran la manera de construir un radiotelescopio o radiotelescopio tipo loop, algo diferente a lo convencional de la antena parabólica. Dicho texto va de la mano con el trabajo realizado en la Universidad Nacional de Colombia por Juan Sebastián Hincapié Tarquino, como trabajo de grado para titularse como Ingeniero Electrónico, en el cual se elabora un radiotelescopio, que aunque puede que un poco más complejo que el de José Luis, permite dar ciertas bases para su construcción, y además que es un proyecto local de una institución también colombiana y que muestra que se pueden llevar a cabo proyectos de tal grado en estos contextos.

2. REFERENTES CONCEPTUALES

2.1. Historia de la astronomía óptica

“La Astronomía se plantea interrogantes sobre la formación, evolución, dinámica y demás características de los objetos más allá de la atmósfera terrestre” (Oficina de Radiotelecomunicaciones, 2013). Su nombre proviene del griego astron (Estrellas) y nomos (Ley, Normal o regla), es decir, Ley de los astros.

Los orígenes de la Astronomía se remontan desde la antigüedad, en donde las personas trataron de comprender el comportamiento de los astros, además de usarlo también para sus actividades principalmente agrícolas o religiosas, identificando la posición de algunos astros en el momento para sembrar, recolectar y demás, en donde todo ello lo hacían con la observación directa del cielo. Es decir, tiene sus *“orígenes en las prácticas religiosas, mitológicas y astrológicas de las civilizaciones antiguas”* (Organización de la Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) & Unión Astronómica Internacional (IAU), 2009, p.4), siendo así una de las ciencias más antiguas por la cual la humanidad se interesó y le vio un significado aplicable a su contexto, ya que además *“sirvió para indicar el curso del tiempo y establecer una norma sobre la sucesión de las estaciones y los días”* (Calvet, s.f.), es decir, se guiaban por el movimiento de los astros, en especial el Sol, para determinar los días, meses, años, estaciones, entre otros.

Es por ello que desde muy temprano en la historia era posible *“maravillarse con los fenómenos del cielo los cuales se atribuían a sucesos en la tierra”* (GeoCastAway, 2018). Y a pesar que en un comienzo era simplemente estudiada por sacerdotes y algunas personas de la nobleza, es en realidad gracias a grandes personajes y a *“Los conocimientos obtenidos por los antiguos egipcios, griegos, babilonios, mayas y chinos”* (Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA), s.f) es que a través de la historia se van fundamentando las bases y teorías hasta llegar a lo que conocemos en la actualidad.

Es así como durante la edad de piedra realizan grabaciones de símbolos de las constelaciones, en el periodo neolito estudian la oscilación anual de la salida y puesta del sol. Por su parte, los Arios empiezan a hacer representaciones de lo que consideran es la Tierra concibiéndola como una extensión plana e indefinida. Posteriormente, con Grecia, aunque no se sigue observando el cielo, se empiezan a preguntar *¿cómo se sostiene el mundo en el espacio?*, pensando así en unos cimientos incommovibles que lo mantenían en su lugar, y se mantenían estables por los sacrificios del pueblo; además de ello se empieza a hablar de bóveda celeste que se asentaba en la superficie de la Tierra. Y luego de ello, con Roma, que, aunque no se cultivaba la Astronomía como tal, algunos hombres sí estudiaban el cielo, entre los cuales podemos encontrar a Claudio Ptolomeo, el cual realiza un resumen de los trabajos

de Hiparco en su libro *almagesto* en donde elabora el primer catálogo de estrellas y el resumen de la ciencia conocida hasta Copérnico, entre muchas otras cosas.

Es con base en todo este desarrollo histórico como se va desarrollando la Astronomía, aunque durante la edad media debido a diferentes conflictos y guerras que se presentaron se destruyen gran cantidad de textos y academias, y así “*la astronomía quedó oscurecida por la superstición, transformándose en Astrología, que pretendía pronosticar el destino de los hombres por medio de los astros*” (Calvet, s.f.) y solo hasta después del trabajo y dedicación de muchos personajes se continúa con el desarrollo de la Astronomía, y es así que a continuación se mencionan algunos de manera sintética sin desconocer sus grandes aportes a esta:

Nicolás Copérnico: En su obra *Revolutionibus Orbim Celestum* presenta un sistema heliocéntrico, en el cual “*la Tierra pasó a la categoría de simple planeta girando alrededor del Sol, el cual, a su vez, es una de tantas estrellas o soles que pueblan la inmensidad del espacio*” (Calvet, s.f.).

Jhojanes Kepler: Usando observaciones realizadas anteriormente por Tycho Brahe de quien fue ayudante en Praga luego de explicar la distancia de los planetas con el sol de manera geométrica. Mientras trabajada con Brahe descubre al estudiar Marte que este se mueve en forma elíptica y no circular de modo que el sol se encuentra en uno de sus focos (primera ley), después de la muerte de Tycho, encuentra que los planetas se mueven más rápido al estar más cerca del sol (segunda ley), posteriormente, se da cuenta que los planetas se mueven en relación al cubo de su distancia media al sol, que a la vez es proporcional al cuadrado del periodo del planeta (tercera ley), donde estas se conocen como las Leyes del movimiento planetario de Kepler, siendo su más grande aporte a la ciencia.

Galileo Galilei: Determina que los cuerpos caen a la misma velocidad al prescindir de la resistencia del aire, construye la balanza hidrostática y construye el primer antejo con el cual descubre valles y montañas en la Luna, anillos en Saturno, entre otros. Pero debido a todos sus experimentos, textos y defender la teoría copernicana, fue acusado de herejía y lo

obligan a decir que todo es un “error” y lo destierran, muriendo ciego debido a sus observaciones directas al sol.

Finalmente, **Isaac Newton**: Trabajando en la Universidad de Cambridge construye un telescopio para observar el cielo, y empieza así hacer algunas aproximaciones intentando comprender por qué los planetas se mantenían en el espacio, pero no es hasta años después y al ser visitado por Edmund Haley que decide completar y publicar estos hallazgos en lo que se conoce como *Principios matemáticos de la filosofía natural*, los cuales se dividen en tres libros en los que describe que la gravedad mantiene los planetas en órbita, explicando con esto muchos fenómenos físicos. Por una parte, retoma las leyes de Kepler y de acuerdo a ellas postula que la fuerza entre dos cuerpos (F) varía de acuerdo a la inversa del cuadrado de la distancia entre ellos. Además, aunque esto explicaba bien lo que sucede con dos cuerpos, siendo trayectorias elípticas, para tres cuerpos o más solo da un acercamiento donde no solo se debe tener la relación gravitacional entre el sol y un planeta, sino que los demás planetas y lunas tienen acción pero muy poca, siendo así que el sol también influye en el movimiento lunar y no solo la Tierra. Newton llega a que la aceleración de la gravedad en la Tierra es de $9,74 \text{ m/s}^2$ y hace caer la Luna hacia esta. También explica las trayectorias de los cometas, las mareas, desarrolla el cálculo infinitesimal, y el espectro solar, entre muchas otras cosas.

Para finalizar, gracias a muchos eventos, personajes y civilizaciones, fue posible la Astronomía tal y como la conocemos hoy en día, también, se han hecho presentes diferentes técnicas o modos en los que es posible estudiar el cielo, entre las que podemos encontrar: La observación a simple vista, siendo la más antigua, pero que debido a que “*la noche está contaminada por la luz de la ciudad*” (NASA, s.f.) en muchas ocasiones se complica, debido a que la Observación con binoculares y con telescopios es la más común; pero además, existen otra gran variedad de formas de ver el cielo que se relaciona con los demás rangos del espectro electromagnético, tal es el caso de la espectroscopia, la cual es muy usada en la actualidad.

² En ese momento Newton no propone unidades.

Es así como “*en la actualidad la Astronomía comparte con otras áreas de la Ciencia técnicas experimentales y objetos de estudio entre las cuales*” (GeoCastAway, 2018) se puede mencionar: *Astronomía de posición* que determina la posición de los astros en la esfera celeste y describe el movimiento aparente de estos; la *mecánica celeste* que estudia el movimiento de los astros bajo la acción de la *gravedad*; la *Astrofísica* que estudia la composición, estructura y evolución de los astros; y, la *Radioastronomía* “*que estudia los objetos celestes y los fenómenos astrofísicos midiendo su emisión de radiación electromagnética en la región de radio del espectro*” (EcuRed, s.f.), entre muchas otras. Pero por el momento nos enfocaremos hacia esta última.

2.2. Ondas electromagnéticas y espectro electromagnético

2.2.1. Unificación de la electricidad, el magnetismo y la óptica

Una de las mayores controversias en la física ha sido la marcada diferencia de las teorías propuestas por el físico inglés, Isaac Newton, y el astrónomo neerlandés, Christiaan Huygens, (corpúscular y ondulatoria respectivamente), sentando así la naturaleza de la Luz.

Por una parte, en 1704, Newton con su obra *óptica* propone su teoría corpúscular, en la cual postula que la luz se compone de partículas que viajan desde el foco, en línea recta y al llegar a la vista percibimos la luminosidad. Por el contrario, Huygens, en 1690 en su *Tratado de la luz* plantea que la luz se propaga de forma ondulatoria por el medio. Hay varias problemáticas, por un lado, la teoría de Newton explica la reflexión, pero no la refracción; y la de Huygens, explica la reflexión y refracción, pero no la difracción (términos que se explicarán más adelante).

Con base en estas propuestas, el científico escocés James Clerk Maxwell propone la luz como una *onda electromagnética*, la cual se propaga sin necesidad de un medio material por un campo eléctrico (\vec{E}) y uno magnético (\vec{B}) variables, perpendiculares e independientes entre sí.

Pero para entrar más en detalle acerca de esto, es necesario remontarse a la historia y conceptualización tanto de la electricidad, el magnetismo y la óptica. Estos tres fenómenos que se creían independientes, pero con la “*síntesis de Maxwell*” constituye uno de los mayores logros de la física, pues no solamente unificó los fenómenos eléctricos y magnéticos, sino que permitió desarrollar toda la teoría de las ondas electromagnéticas, incluyendo la luz” (Belendez, 2008, p.1)

Por una parte, tanto la electricidad como el magnetismo se conocen desde la antigua Grecia. La electricidad proviene de la palabra “electrón”, “ámbar” (la cual genera electricidad al frotarla), su origen viene de diferentes experimentos al frotar cuerpos. Su desarrollo se empieza a dar gracias al aporte de diferentes personajes como Benjamín Franklin al determinar que existe electricidad positiva y negativa y la corriente eléctrica fluye del cuerpo con exceso de fluido eléctrico al de déficit de este; Henry Cavendish al usar el término de carga eléctrica y descubrir el fenómeno de resistencia; Charles A. Coulomb al descubrir la Ley que rige las fuerzas de atracción y repulsión de las cargas eléctricas; Luigi Galvan al estudiar el efecto de la electricidad en los animales; Alessandro Volta al construir la primera pila eléctrica; y George S. Ohm al relacionar Diferencia de potencial, Corriente eléctrica y Resistencia eléctrica.

De otra manera, el magnetismo proviene de la palabra “magnes” o imán o magnesia (Región donde se encuentra la magnetita o piedra imán). Al igual que la electricidad, el desarrollo del magnetismo tiene una larga historia. En un primer momento, cuando Pierre de Maricourt “*descubrió que si una aguja imantada se deja libremente en distintas posiciones sobre un imán natural esférico, se orienta a lo largo de líneas que, rodeando el imán, pasan por puntos situados en extremos opuestos a la esfera*” (Belendez, 2008, p.7). Además, se encuentra que polos iguales se repelen y distintos se atraen. Posteriormente, William Gilbert descubre que la Tierra se comporta como un gran imán y que cerca de los polos Norte y Sur geográficos se encuentran unos iguales pero magnéticos. Además, Coulomb genera una Ley que relaciona las fuerzas entre polos magnéticos siendo similar a la eléctrica, pero a la vez “*Coulomb consideró que los fenómenos eléctricos y magnéticos eran diferentes, puesto que, a pesar de la estrecha analogía que parecía existir entre ellos, los experimentos indicaban*

que los polos magnéticos y las cargas eléctricas (entonces sólo en reposo) no interactuaban entre sí” (Belendez, 2008, p.7); y la óptica que ya se ha trabajado anteriormente.

Estas tres teorías (eléctrica, magnética y óptica) se mantienen muy alejadas una de la otra, y no es, hasta finales del siglo XIX, que Maxwell, gracias a varios estudios y recopilación de diversas teorías anteriores logra unificarlas en su libro *Tratado de electricidad y magnetismo* de 1873, y postula una serie de ecuaciones que recogen dicha teoría. Es con ello como “*Maxwell intentaba crear los cimientos de una nueva ciencia integral basada en el concepto de la energía”* (Belendez, 2008, p.17)

El anterior compendio que se logra es gracias a los trabajos realizados por Oersted y Ampère que llegan a que, una corriente eléctrica produce efectos electromagnéticos, pero que estos dependen del movimiento de las cargas eléctricas. Y es así como Michael Faraday, descubre la inducción electromagnética, explica la electrólisis, introduce los conceptos de líneas de fuerza y campo y, a partir de ello elabora diferentes instrumentos muy útiles no solo en el electromagnetismo, sino en la física en general. Pero es el concepto de Campo el cual logra poner en un marco común a la Electricidad, el Magnetismo y la Óptica, pero no es aceptada hasta que Maxwell la retoma y se aleja así de la física clásica como se concebía hasta entonces y formula la teoría electromagnética, la cual, con los resultados experimentales de Heinrich Hertz comprueba dichos planteamientos.

2.2.2. Leyes de Maxwell

De dicha teoría se desprenden cuatro Leyes o Ecuaciones, dos de ellas describen las interacciones de campos eléctricos y magnéticos estacionarios: para el primero está la *Ley de Gauss para los campos eléctricos* y, para el segundo, la *Ley de Faraday-Henry o ley de Gauss para los campos magnéticos*; mientras que las otras dos hablan de campos dinámicos: *La ley de Faraday* y la *Ley de Ampère-Maxwell*.

Para los campos estacionario se tiene: **Ley de Gauss de los campos eléctricos:** “*Las líneas de campo eléctrico nacen en las cargas positivas y mueren en las negativas”* (GOMEZ

& GONZALES, 2012, p.65). Lo cual se representa en la ecu (1) teniendo \vec{E} , Es el vector intensidad del campo Eléctrico. \vec{B} , Es el vector intensidad del campo Magnético. ρ , Densidad volumétrica de carga. ϵ_0 , Permitividad eléctrica en el vacío.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad \text{Ecu. (1)}$$

Del mismo modo, la **Ley de Gauss o Faraday-Henry de los campos magnéticos:** “Las líneas de campo magnético no tienen principio ni fin, son siempre cerradas” (GOMEZ & GONZALES, 2012, p.65), y se representa por medio de la ecu. (2).

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad \text{Ecu. (2)}$$

Hay que recordar que al variar un campo eléctrico se genera un campo magnético y viceversa. Es así, que con el comportamiento dinámico de ambos campos se logra una relación de dependencia entre ellos, y los que se expresa en las siguientes dos leyes, las cuales son: la *Ley de Faraday* y la *Ley de Ampère-Maxwell*.

Por una parte, se tiene la **Ley de Faraday** que se muestra la Ecu. (3), y describe que cuando un campo magnético varía con el tiempo, este logra inducir un campo eléctrico, y que tiene dirección perpendicular a la variación del primero. Además, a partir de la ley de Lenz al inducirse una corriente eléctrica la distribución del campo magnético se opone al flujo de este lo que provoca la corriente inducida (por eso el menos de la ecuación).

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \text{Ecu. (3)}$$

Por último, se tiene la **Ley de Ampère-Maxwell (ecu (4))**, la cual describe que en presencia de corriente eléctrica, hay un campo magnético, es así, que para que haya campo eléctrico debe haber cargas, pero para que haya campo magnético debe además haber cargas en movimiento. Pero esto estaba incompleto hasta que llega Maxwell y nota que no es suficiente, ya que si existe un campo eléctrico variable en el tiempo (sin necesidad de cargas moviéndose) produce un campo magnético.

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad \text{Ecu. (4)}$$

En la cual se tiene μ_0^3 que representa la permeabilidad magnética en el vacío y es una constante, y \vec{J} siendo el vector intensidad de la Corriente Eléctrica (cargas en movimiento).

Estas cuatro ecuaciones, aunque no se abordarán a lo largo del trabajo, sí sientan las bases de toda la teoría electromagnética clásica de la cual se hablará. Es decir, estas leyes son el fundamento de gran parte de lo que se retomará más adelante.

2.2.3. Ondas electromagnéticas

Es así como a partir de dichas ecuaciones, y con la relación que se hace entre las variaciones de \vec{E} y \vec{B} se formula toda una teoría electromagnética, en la cual:

*“Los cambios cíclicos en estos campos producen **radiación electromagnética** de esta manera la radiación electromagnética consiste en una oscilación perpendicular de un campo eléctrico y magnético. La radiación electromagnética transporta energía de un punto a otro, esta radiación se mueve a la velocidad de la luz (siendo la luz un tipo de radiación electromagnética)”* (Facultad de Ciencias Químicas (FCQ), recuperado en: enero 2020, p.2) (**Imagen 1**).

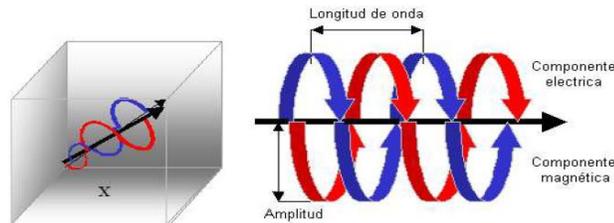


Imagen 1. Componente eléctrica y magnética de la radiación. Tomada de: Espectrometría. Radiación electromagnética. Facultad de ciencias químicas. P.2.

Es decir, que cuando los \vec{E} y \vec{B} se van propagando producen radiación y en ese momento están transportando Energía de un punto a otro del espacio. A pesar de estar superpuesta por ambos campos, solamente el eléctrico interacciona activamente con la materia por lo cual en este se considera la absorción de radiación.

Además de lo anterior, la radiación electromagnética tiene propiedades tanto corpusculares como ondulatorias, centrándonos en estas últimas. Y es por ello, y gracias a

³ $4\pi \times 10^7 \text{ J} \cdot \text{A}^{-2}$

Maxwell, que se puede hablar de la denominada *Onda Electromagnética*, la cual “es la propagación simultánea de los campos eléctrico y magnético producidos por una carga eléctrica en movimiento” (Luque, s.f., p.1) y estas ondas viajan por el vacío y transportan energía (**Imagen 2**).

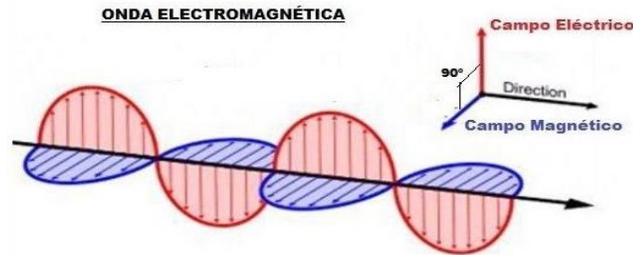


Imagen 2. Representación de una onda electromagnética. Encontrada en: <https://www.elbierzodigital.com/haqase-la-luz-se-una-onda-electromagnetica/197964>

Las *ondas electromagnéticas* presentan propiedades y fenómenos similares a las *ondas mecánicas*, es por ello, que es posible basarse en la propagación de las segundas para comprender las primeras. Es decir, que toda onda al propagarse, sea por el espacio (vacío) o en algún medio material presenta las mismas propiedades y fenómenos, solamente dependiendo de cada caso se comporta y se puede describir de manera diferente, aunque en esencia se comportan bajo el mismo principio.

2.2.3.1. Fenómenos y propiedades de las ondas.

De este modo, las ondas presentan en su propagación algunos fenómenos tales como la difracción, reflexión, refracción e interferencia, además de la polarización para las *ondas electromagnéticas*; que dependen de las propiedades de toda onda: frecuencia, longitud de onda y amplitud de onda.

Siendo así, la *difracción*, es en la cual las ondas al encontrar un obstáculo (orificio) de las mismas proporciones que su longitud de onda, se comportará como si el orificio fuera una nueva fuente de emisión (**Imagen 3, a**). La *interferencia*, es en la cual dos ondas que coinciden en un mismo espacio y tiempo, producen un cambio en su fase y amplitud; de modo que si estas últimas son iguales, la señal resultante aumenta (interferencia constructiva), pero si son distintas, disminuye (interferencia destructiva), (**Imagen 3, b**). La

reflexión que se da cuando la luz choca contra una superficie y esta rebota con un ángulo de incidencia, puede ser especular (superficie lisa) o difusa (superficie irregular) (**Imagen 3, c**). Por último, la *refracción* es el cambio de dirección y velocidad de una onda cuando esta cambia su medio de propagación (**Imagen 3, d**).

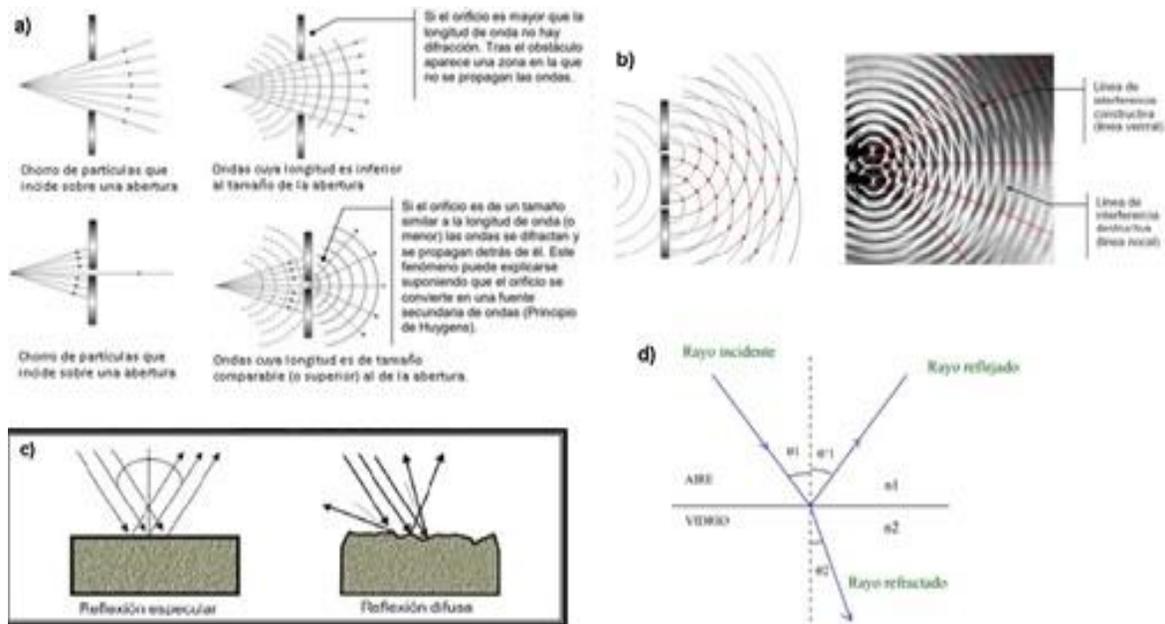


Imagen 3. a). Difracción de una onda con dos tipos de orificios. **b)** Interferencia de dos ondas **c)** Reflexión especular y difusa de la luz. **d)** Refracción de la luz Encontradas en: Propagación de las ondas. Fenómenos ondulatorios. IES La Magdalena. Avilés, Asturias.

Además de lo anterior, toda *onda electromagnética* cósmica se puede caracterizar de acuerdo a su densidad de flujo, polarización y dirección de procedencia. Para este último, y sabiendo que una *Onda Electromagnética* es la propagación simultánea del Campo Eléctrico y Magnético y que estos son perpendiculares entre sí, entonces, $\vec{E} \times \vec{B}$ muestra la dirección de origen de la Onda.

Ahora bien, la **densidad de flujo**, es la cantidad de radiación que atraviesa una superficie en todas las direcciones posibles o la suma de toda la **Intensidad** del ángulo sólido, siendo esta última la cantidad de emisión por unidad de ángulo sólido. Este último se puede entender como el ángulo de un objeto que se observa desde un determinado punto, ya no visto desde un plano es dos dimensiones, sino en tres; que es como realmente podemos concebir el mundo con la vista o cualquier instrumento de observación; donde sus unidades se dan en *estereorradianes* (sr).

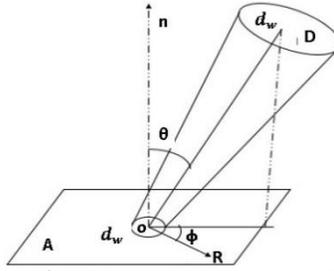


Imagen 4. Intensidad específica de radiación en la dirección OD. Imagen Tomada del libro Panorama de la Astronomía moderna, p.15.

De este modo, para Cernushi & Cardina (1974, p.14-21) es necesario tener en cuenta una superficie A en el espacio como se muestra en la **Imagen 4**, alrededor del punto O y una recta OD que tiene cierto ángulo θ con la norma On . De acuerdo con ello, θ y ϕ son las coordenadas polares de la semirecta OD . Además, se considera un ángulo sólido d_w con vértice en O . Es así, y teniendo en cuenta diferentes cálculos que no se presentarán en este trabajo, podemos llegar a algunas relaciones: como el hecho que la densidad de flujo F_f , que pasa por O durante el intervalo de t y $t + dt$ en las frecuencias f y $f + df$ según una intensidad de flujo de radiación I_f como se muestra en la **Ecu. (5)**.

$$F_f = \int_{4\pi} I_f \cos\theta d_w \quad \text{Ecu. (5)}$$

Además que la densidad de flujo es la integral de la intensidad, la primera tiene un valor único, mientras que la otra, por el contrario varía. La Intensidad se puede definir como la potencia W (energía por unidad de tiempo) emitida por unidad de área, y que depende también de la frecuencia y ángulo sólido; y además no depende de la distancia, como sí es el caso de la densidad de flujo. Dado que las unidades que se maneja para la Intensidad son muy bajas, en Radioastronomía se usa el Jansky (Jy)⁴.

Por otra parte, medir la Intensidad por medio del Jansky genera en muchos casos inconvenientes por lo anteriormente expuesto, por lo cual, es común que se haga por medio de la **Temperatura de brillo** para lo cual se utiliza una escala equivalente en la que se relaciona la intensidad del objeto con su la Temperatura asumiéndolo como un Cuerpo Negro. De este modo, se obtiene la **Ecu (6)**.

⁴ 1 Jy = $10^{-26} \frac{W}{m^2 \cdot Hz} = 10^{-26} \frac{erg}{s \cdot cm^3 \cdot Hz}$

$$I_f = \frac{2hf}{c} (e^{\frac{hf}{kT}} - 1)^{-1} \quad \text{Ecu. (6)}$$

Siendo h la constante de Plank, f la frecuencia, c la velocidad de la luz, k la constante de Boltzmann⁵ y T la Temperatura de brillo. Pero si se tiene en cuenta que $hf \ll kT$ y desarrollando las series de Taylor tenemos la **Ecu (7)** conocida como **aproximación a Rayleigh-Jeans**:

$$I_f = \frac{2hf^2}{c^2} kT \quad \text{Ecu. (7)}$$

Dicha aproximación genera diferentes facilidades, ya que con estas consideraciones la Temperatura no varía o lo hace muy poco sin importar la frecuencia y así es más sencillo manejar la información recibida.

Por otra parte, para poder caracterizar la **Polarización** es preciso definir los módulos del campo eléctrico (\vec{E}) y magnético (\vec{B}) (**Ecu. (8)**) esto con el fin de conocer cómo se comporta cada uno de ellos, pero principalmente como se da su propagación en el espacio donde cada uno de estos campos se mueve.

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \text{sen}(kx - \omega t); \quad \vec{B} = \vec{B}_0 \text{sen}(kx - \omega t) \quad \text{Ecu. (8)}$$

Siendo x la distancia al emisor (puede ser y o z también) dependiendo el eje de propagación, t el tiempo, \vec{E}_0 y \vec{B}_0 las máximas amplitudes de \vec{E} y \vec{B} ; k ⁶ es el número de onda, donde, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ y λ es la longitud de onda; y ω ⁷ es la frecuencia angular de la onda.

De este modo, se puede decir que una *onda electromagnética* está polarizada si \vec{E} se mueve en una parte del plano como se ve en la **Imagen 5**, ya que, a pesar de ser perpendicular a \vec{B} y a la dirección de propagación, se puede mover en cualquier parte del mismo siempre

⁵ $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$

⁶ $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi f}{c}$ con λ como longitud de onda y $c = f \cdot \lambda$ siendo la velocidad de la luz.

⁷ $\omega = 2\pi f$ con f como la frecuencia de la onda.

que cumpla esa condición, y además variar respecto al tiempo. Es decir, es una onda que se propaga en el espacio y selecciona un único eje de oscilación. Este efecto solo es posible para una onda transversal y la dirección de la perturbación depende de la dirección de propagación de la onda.

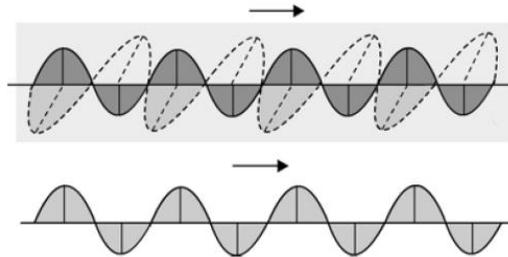


Imagen 5. Arriba onda transversal en la que la perturbación transmitida se localiza en dos planos perpendiculares (No Polarizada). Abajo onda con oscilación solo en el plano vertical (Polarizada). Imagen tomada de: Propagación de las ondas. Fenómenos ondulatorios.

Dependiendo como el campo eléctrico se comporte describe un determinado trayecto según como la onda esté polarizada; además, el campo eléctrico tiene un sentido de modo que se pueda trazar geoméricamente su lugar en el espacio según la dirección de propagación. De este modo, se pueden dar diferentes tipos de polarización: la más común es la lineal, en donde la trayectoria del campo eléctrico es lineal, pero puede ser Horizontal o vertical, de modo que la primera es paralela a la superficie y la otra es perpendicular a esta. Por otra parte, también se puede dar una polarización circular o esférica, en las cuales el campo eléctrico avanza de manera que gira sobre su eje de propagación, para este caso se puede dar dextrógira (campo eléctrico gira a la derecha) o levógira (campo eléctrico gira a la izquierda).

La importancia de una onda polarizada, es que según la configuración de esta, el receptor va a recibir o no la señal que sea transmitida, y aunque en Radiotelecomunicaciones y en general casi todas las ondas (incluida la luz) se encuentran polarizadas, esto no es siempre así; y el ejemplo más relevante sería el del sol, la cual es una luz no polarizada, es decir que su campo eléctrico se propaga de diferentes direcciones.

Pero además de estos fenómenos expuestos, las ondas presentan ciertas propiedades: La frecuencia que se define como el número de ciclos (paso de la onda por un mismo punto)

por unidad de tiempo, siendo inversamente proporcional al periodo (tiempo en que transcurre un ciclo). La longitud de onda siendo la distancia que existe entre dos valles o dos crestas de una onda, siendo la cresta la parte más elevada de la onda y el valle la parte inferior de la misma, y La amplitud que es la distancia máxima de la onda respecto a su punto de equilibrio (**Imagen 6**).

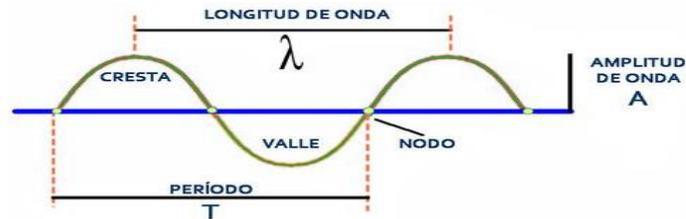


Imagen 6. Propiedades de las ondas. Imagen encontrada en: <http://www.estoy-aprendiendo.com/ondas.html>

Dentro de dicho contexto, existe una relación entre la longitud de onda y la frecuencia (**Ecu. (7)**), siendo inversamente proporcionales, es decir, que si una aumenta la otra disminuye. Así es el caso de las ondas de radio, las cuales tienen la longitud de onda más alta del espectro electromagnético, y por ende las frecuencias más bajas.

$$c = f * \lambda \quad \text{Ecu. (9)}$$

En la cual se tiene: c como la velocidad de la luz⁸, f siendo la frecuencia de la onda y λ la longitud de onda.

Existen una variedad de tipos de ondas según las características que se quieran trabajar. Se pueden clasificar según la dirección en que se propagan, siendo estas las ondas *transversales* en las cuales su perturbación se mueve perpendicular a la dirección de la onda, lo cual se genera en la mayoría de los sólidos y en las ondas electromagnéticas; mientras que, en las ondas *longitudinales*, por otra parte, la perturbación se mueve en la misma dirección de la onda, lo cual se percibe en algunos sólidos, en líquidos y gases; es el caso de la mayoría de ondas mecánicas.

⁸ $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

2.2.4. Espectro de absorción atmosférico

A pesar que el espectro electromagnético es bastante amplio, solamente una pequeña fracción atraviesa la atmósfera y es posible detectarla en la Tierra, en particular el espectro de la luz visible, del infrarrojo (que en su mayoría es absorbido por el vapor de agua y el Dióxido de Carbono de la atmósfera) y del radio (**Imagen 8**).

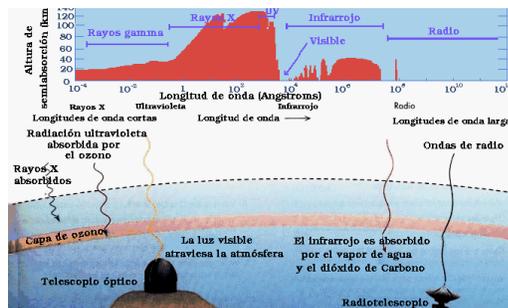


Imagen 7. Espectro de absorción de la atmósfera. Encontrado en: Enseñanza. Enseñanza y divulgación de las ciencias. Introducción a la radioastronomía. p.2.

En la **Imagen (8)**, en la parte Roja se muestra la altura a la que es absorbida la Radiación por la Atmósfera según cada rango del espectro, pero existen algunas longitudes de onda que logran atravesarla, por lo cual se dice que la Atmósfera posee ciertas “ventanas” donde las principales se presentan en la **Tabla 1**.

LONGITUD DE ONDA	VENTANA
<300 nm	Atmósfera opaca por absorción por el Ozono
300 - 900 nm	Ventana UV - Visible - IR cercano
1000 nm - 5000 nm	Ventana IR entre H_2O y C_2O
8000 nm – 20000nm	Ventana IR
1.3×10^7 nm – 1.9×10^6 nm	Ventana centimétrica – milimétricas
1.8×10^6 nm – 1.1×10^6 nm	Ventana milimétrica
8×10^5 nm, 45×10^5 nm, 35×10^5 nm	Ventana submilimétrica
2×10^7 nm – 1×10^{10} nm	Ventana de Radio
$>1 \times 10^{10}$ nm	Atmósfera opaca por absorción por la ionósfera

Tabla 1. Principales Ventanas atmosféricas. Imagen tomada de Fundamentos Físicos de la Radioastronomía. Capítulo 2: Observación de la Radiación electromagnética. p.2.

De este modo, las *ondas de radio*, en su mayoría pasan sin alteración por la atmósfera, pero algunas (en especial las ondas de radio largas (AM)) son reflejadas o absorbidas en la ionósfera. De modo que, con aquellas posibles de captar en la superficie terrestre se logra usar el espectro de radio para obtener:

“información adicional que completa la obtenida mediante la observación óptica de los procesos que se están produciendo en el universo Así, las longitudes de onda cortas nos informarán acerca de los procesos más energéticos, mientras las

ondas de radio nos permiten estudiar las regiones más frías del universo”
(UNED, 2011, p.2).

Es así que no todas las longitudes de *onda electromagnética* son captadas en la Tierra, ya que no atraviesan la atmósfera, y ellas pueden ser captadas solamente con satélites en órbita, como es el caso del Observatorio MXX – Newton⁹, el cual es un telescopio espacial de rayos X que detecta fuentes extremadamente débiles, el cual consta de un monitor óptico que permite recibir radiación óptica y UV y de 3 telescopios cada uno con 58 espejos concéntricos que detecta radiación de rayos X.

Es de este modo que cada uno de los rangos del espectro electromagnético proporcionan datos específicos acerca de alguna parte del universo, es así que:

“Su estructura espiral completa y las regiones donde se encuentra el material del que nacen estrellas se conocen mediante ondas de radio. Las regiones donde están naciendo estrellas y la distribución de estrellas a gran escala se conoce en infrarrojo. La muerte explosiva de estrellas se estudia en rayos X. Los rayos gamma son el resultado de la interacción de las partículas de los rayos cósmicos con el gas interestelar”. (Ministerio de CyT, s.f., p.5) **(Imagen 9)**.

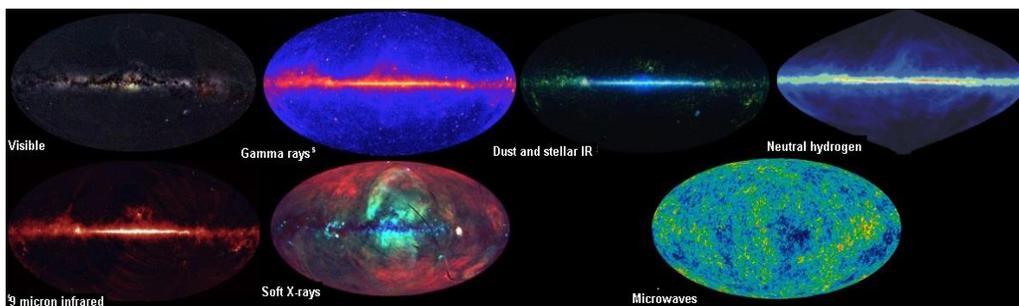


Imagen 8. Comparación del universo desde diferentes longitudes de Onda. Encontrado en la página milesdemillones, <https://milesdemillones.com/2012/12/25/el-universo-visto-en-diferentes-longitudes-de-onda/>

La manera en que vemos el universo es muy distinta según cada rango del espectro que se esté trabajando, es así como, aunque estamos acostumbrados a observar lo que captan

⁹ Pertenece a la Agencia Europea del Espacio (ESA) y fue lanzado el 10 de Diciembre de 1995 y aunque se tenía planeado solo 10 años de funcionamiento, aún se mantiene en órbita y recogiendo gran información del universo.

nuestros ojos, hay mucho ahí afuera y que no podemos observar a simple vista, ya sea por emitir muy poca (*ondas de radio* hasta *infrarrojo*) o bastante energía (*rayos ultravioletas* hasta *rayos gamma*). De esta manera, los rayos gamma son los más energéticos de universo producidos por la desexcitación de un núcleo (como por ejemplo lo ocurrido en las supernovas); además, debido a que logran penetrar la materia y por su alta radiación pueden hacer daño al núcleo de las células, y por ello es una suerte que los *rayos gamma* cósmicos no atraviesen la atmósfera.

Otros tipos de radiación también de muy altas energías son los *rayos X* y los *rayos ultravioletas*, siendo los primeros más energéticos que los segundos. A diferencia de los *rayos Gamma*, los *rayos X* se dan por procesos extranucleares, principalmente en la desexcitación de los electrones. Por otro lado, los *rayos ultravioletas* por lo general provienen del sol, y en cierta medida son absorbidos por el oxígeno y el nitrógeno de la atmósfera, pero de sus tres bandas (UV-A, UV-B y UV-C), la más dañosa es la UV-C, pero es absorbida totalmente en la atmósfera, una parte de la UV-B la atraviesa y causa principalmente algunos tipos de cáncer de piel, y por último la UV-A no es absorbida, aunque no es tan peligrosa.

Por otra parte, las radiaciones de menor energía, *infrarrojo*, *microondas* y *ondas de radio*. “La radiación infrarroja es emitida por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor que 0 Kelvin, es decir, $-273,15$ grados Celsius” (SANCHEZ, 2013, p.2) y se debe a los cambios de energía de electrones orbitales y a la vibración y rotación de enlaces rotacionales. Por otra parte, las *radiaciones de microondas* y *de radio* son utilizadas principalmente en telecomunicaciones, por lo que ambas se incluyen en radiofrecuencias pero las *ondas de microondas* son de rango mucho más pequeño que las de radio, aunque también en muchos casos se cuenta como un solo rango. De este modo, estas llevan a cabo la mayoría de las comunicaciones terrestres y satelitales y también generan toda una rama de la astronomía denominada *Radioastronomía*, y para su estudio se hace uso de dispositivos denominados *Radiotelescopios*. De acuerdo a esto, en la **Tabla 2** se muestran algunos datos de cada rango del espectro electromagnético.

Tipos de espectro	Longitud de Onda	Frecuencia	Descubrimiento
Rayos Gamma	$1 \times 10^{-5} \text{ nm} - \text{menores}$	$3 \times 10^{18} \text{ Hz} - \text{mayores}$	1900-Paul Villard
Rayos X	$1 \times 10^{-2} \text{ nm} - 10 \text{ nm}$	$3 \times 10^{16} \text{ Hz} - 3 \times 10^{18} \text{ Hz}$	1895-Wilhelm Conrad Röntgen
Ultravioleta	$100 \text{ nm} - 360 \text{ nm}$	$8 \times 10^{14} \text{ Hz} - 3 \times 10^{16} \text{ Hz}$	1801-Johann Wilhelm Ritter
Luz Visible	$400 \text{ nm} - 700 \text{ nm}$	$43 \times 10^{14} \text{ Hz} - 75 \times 10^{14} \text{ Hz}$	
Infrarrojo	$1 \times 10^4 \text{ nm} - 780 \text{ nm}$	$3 \times 10^{13} \text{ Hz} - 4 \times 10^{14} \text{ Hz}$	1800-William Herschel
Microondas	$1 \times 10^4 \text{ nm} - 1 \times 10^6 \text{ nm}$	$3 \times 10^{11} \text{ Hz} - 3 \times 10^{13} \text{ Hz}$	1978-Penzias y Wilson
Ondas de Radio	$1 \times 10^6 \text{ nm} - \text{y mayores}$	$3 \text{ Hz} - 3 \times 10^{11} \text{ Hz}$	1888-Heinrich Hertz

Tabla 2. Algunas características de cada uno de los rangos del Espectro de ondas Electromagnéticas.

2.2.5. Espectro electromagnético, el caso de las ondas de radio

Las ondas electromagnéticas que nos propone Maxwell se logran representar en varios rangos, donde cada uno permite explicar y caracterizar ciertos aspectos del universo y también permite transmitir información sin necesidad de un medio material, ya que (como se dijo anteriormente) se transportan por el vacío. La luz visible es la onda electromagnética más conocida, pero no es la única, y a pesar de poseer una gran gama de colores, este rango es muy pequeño, el más pequeño de todos: “La gama de ondas electromagnéticas es muy amplia cobijando a ondas de radio, infrarrojo, luz visible, rayos ultravioleta, rayos X, rayos gamma. La luz es, quizás, el ejemplo más conocido en la Escuela de este tipo de ondas” (Vera, 2012, p.9) (Imagen 7).

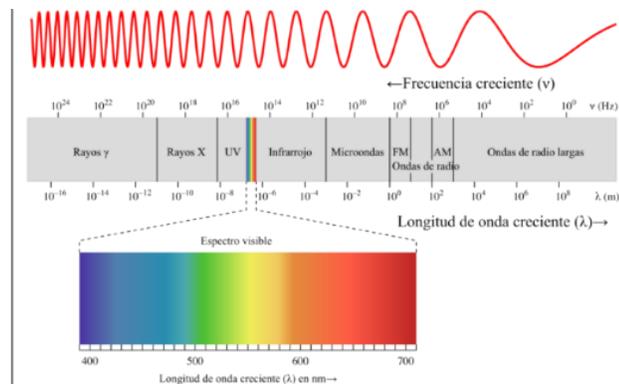


Imagen 9. Representación del espectro electromagnético. Imagen encontrada en: http://www.gaiaciencia.com/wp-content/uploads/2016/11/spectrum_EM_1.png

“No todas las ondas electromagnéticas tienen el mismo comportamiento en el medio de propagación, la misma procedencia o la misma forma de interacción con la materia” (Luque, s.f., p.2). Cada rango de este espectro está dividido según características propias,

dependiendo de ellas se define lo que se quiere estudiar y de esta manera recoger variada información del Cielo.

Las frecuencias que abarca el espectro nunca son negativas, ya que es infinito y continuo, es decir, van desde aproximadamente 0 hasta cualquier valor observable; por otra parte, por otra parte, la longitud de onda puede ser tan pequeña como el máximo de frecuencias, ya que una es inversamente proporcional a la otra.

En un caso especial, y para efectos del presente trabajo nos centraremos en las *ondas de radio*, las cuales cuentan con las longitudes de onda más grandes y las frecuencias más bajas. Además, es el rango del espectro más amplio y por lo mismo hace necesario que para efectos de cada estudio primero se escoja el intervalo de longitud de onda (o frecuencia) a estudiar para así poder construir el instrumento acorde a las especificaciones requeridas.

Las *ondas de radio* al tener una baja frecuencia permiten tener un mayor alcance, es decir, cubre una mayor distancia; pero a la vez genera una atenuación o disminución en la señal. Una gran ventaja es que el viento, lluvia y demás efectos atmosféricos no afectan grandemente su señal, lo cual es muy importante, sobre todo en un contexto como Colombia, ya que por su geografía la observación óptica no es tan sencilla de realizar, mientras que para la captación de *ondas de radio* se dan las condiciones necesarias.

“La radiointerferometría presenta ventajas sobre la astronomía óptica convencional como una instrumentación más sencilla (según la longitud de onda de interés) y la posibilidad de obtener una mayor resolución angular. Además, es relativamente fácil de determinar el mecanismo físico que produce la emisión y obtener información de los parámetros físicos tanto de la fuente de emisión como del medio por el que se propagan” (Hincapie. 2016, p.22.).

Además, las *ondas de radio*, al tener longitud de onda más larga de las demás, logra atravesar y rodear objetos más eficazmente, pero a la vez genera que no pueda transportar una gran cantidad de información, en comparación a como lo harían los rayos x o rayos gama.

2.3. Radioastronomía

2.3.1. Radiofrecuencias terrestres

Antes de centrar el estudio en las *ondas de Radio* cósmicas, nos centraremos en las terrestres. Las ondas que se utilizan en la Tierra para comunicarnos se conocen comúnmente como Radiofrecuencias (**RF**), y se encuentra entre 3 Hz y 3×10^{11} Hz aunque dentro de esta categoría se encuentran no solo las *ondas de Radio*, sino algunas *ondas de Microondas* en su frecuencia más baja, por lo cual incluso se cuenta estas últimas dentro de un solo grupo, así que para cuestión de simplificación no se hará distinción entre ellas.

Ahora bien, teniendo esto claro, es necesario mencionar que las *Ondas de Radio* tienen diferentes tipos de propagación entre las que se mencionan: **Ondas Terrestres o de Superficie** que se desplazan pegadas a la superficie terrestre y mejor si es en suelo húmedo, además que no les afecta mucho los objetos, aunque sí las va atenuando. Las **Ondas Reflejadas o Ionósferas** son aquellas que se transportan al intentar salir por la ionósfera, pero esta las hace rebotar y vuelven a bajar, pero de nuevo intentan salir y son de nuevo rebotadas y así sucesivamente hasta que se transportan hasta su receptor. Este tipo de ondas se caracterizan por variar bastante según la hora del día y la noche, siendo la mejor manera de propagarlas durante la noche y en invierno por las condiciones de la Atmósfera.

Por último, se encuentran las **Ondas Directas o Espaciales**, las cuales son aquellas que tienen la frecuencia más alta y por tanto Longitud de Onda más baja. Estas se transportan en línea recta, por lo que un obstáculo e incluso la curvatura de la Tierra genera que la señal se pierda y es principalmente la que llega del espacio ya que se pueden mover con total libertad al no encontrar muchos obstáculos. De acuerdo a lo anterior las ondas según su Longitud de Onda y Frecuencia se clasifican con un determinado espectro de Radiofrecuencias, el cuál es descrito en la **Tabla 3**.

NOMBRE	ABREV	BANDA ITV	FRECUENCIA	LONGITUD DE ONDA
Frecuencia extremadamente baja	ELF	1	3 Hz – 30 Hz	$1 \times 10^{17} \text{ nm} - 1 \times 10^{16} \text{ nm}$
Frecuencia súper baja	SLF	2	30 Hz – 300 Hz	$1 \times 10^{16} \text{ nm} - 1 \times 10^{15} \text{ nm}$
Frecuencia ultra baja	ULF	3	$3 \times 10^2 \text{ Hz} - 3 \times 10^3 \text{ Hz}$	$1 \times 10^{15} \text{ nm} - 1 \times 10^{14} \text{ nm}$
Frecuencia muy baja	VLF	4	$3 \times 10^3 \text{ Hz} - 3 \times 10^4 \text{ Hz}$	$1 \times 10^{14} \text{ nm} - 1 \times 10^{13} \text{ nm}$
Frecuencia baja	LF	5	$3 \times 10^4 \text{ Hz} - 3 \times 10^5 \text{ Hz}$	$1 \times 10^{13} \text{ nm} - 1 \times 10^{12} \text{ nm}$
Frecuencia Media	MF	6	$3 \times 10^5 \text{ Hz} - 3 \times 10^6 \text{ Hz}$	$1 \times 10^{12} \text{ nm} - 1 \times 10^{11} \text{ nm}$
Frecuencia Alta	HF	7	$3 \times 10^6 \text{ Hz} - 3 \times 10^7 \text{ Hz}$	$1 \times 10^{11} \text{ nm} - 1 \times 10^{10} \text{ nm}$
Frecuencia Muy Alta	VHF	8	$3 \times 10^7 \text{ Hz} - 3 \times 10^8 \text{ Hz}$	$1 \times 10^{10} \text{ nm} - 1 \times 10^9 \text{ nm}$
Frecuencia Ultra Alta	UHF	9	$3 \times 10^8 \text{ Hz} - 3 \times 10^9 \text{ Hz}$	$1 \times 10^9 \text{ nm} - 1 \times 10^8 \text{ nm}$
Frecuencia Súper Alta	SHF	10	$3 \times 10^9 \text{ Hz} - 3 \times 10^{10} \text{ Hz}$	$1 \times 10^8 \text{ nm} - 1 \times 10^7 \text{ nm}$
Frecuencia Extremadamente alta	EHF	11	$3 \times 10^{10} \text{ Hz} - 3 \times 10^{11} \text{ Hz}$	$1 \times 10^7 \text{ nm} - 1 \times 10^6 \text{ nm}$

Tabla 3. Espectro de Radiofrecuencias.

Cada rango de este espectro tiene ciertas características y usos. Para el caso de la **ELF**, **SLF** y **ULT** se propagan por ondas terrestres y se usaban para comunicar submarinos y minas bajo Tierra, envían muy poca información por lo cual están en desuso además de tener longitud de onda bastante grande. Por otra parte, la **VLF** se propaga por Onda de Superficie y sirve para enlaces de Radio a grandes distancias, por lo que se usa principalmente para comunicación militar; la **LF** también se propaga por onda de superficie, pero con menos estabilidad que las anteriores y se usa en navegación tanto aérea como marítima, señales de Tiempo y Radiodifusión AM de onda corta, al igual que la **MF**, aunque esta última varía bastante según la hora del día y la noche y de las estaciones. La **HF** es usada para radiodifusión de onda corta y Radio amateur (aficionado). A diferencia de las anteriores, la **VHF** se propaga por onda Directa y esporádicamente por Ionosférica y sus usos principales son para Radiodifusión FM, Televisión, y comunicación móvil. Por último, la **UHF**, **SHF** y **EHF** se propagan por onda directa pero también pueden hacer enlaces con satélites artificiales en órbita, la primera y segunda se utilizan principalmente para radar, Radiodifusión, Televisión, LAN (Red de Área Local) inalámbrica y comunicación móvil, mientras que la **EHF** es ampliamente usada en Radioastronomía, para radares de alta precisión y enlaces de comunicación.

De acuerdo a esta información, se observa que aunque la más baja de las longitudes de onda en este espectro son usadas principalmente en la Radioastronomía, en casi todas, (excepto en las más grandes por desuso), se utilizan principalmente en la comunicación. Y a pesar que estas ondas poseen la longitud de onda es la más grande del espectro, lo cual

también genera que los objetos no influyan mucho en la transmisión de las señales, si genera que al rozar con estas sea atenuada, es decir que constantemente se pierde un poco de intensidad debido a diferentes efectos que se presentan, pero además, debido a las grandes distancias que recorre. A pesar de esto, las *Ondas de Radio* logran atravesar casi sin pérdida muchos materiales, lo cual genera que por ejemplo, en una casa llegue la señal de Wifi entre cada habitación a pesar de las paredes, lo cual no ocurre por ejemplo con las *ondas en Infrarrojo*, lo que lleva a que teniendo el control en tu cuarto no puedas cambiar el canal del televisor de tu vecino.

Pero esto no quiere decir que todo pueda ser atravesado por estas ondas, ya que unos de los elementos que no atraviesa son los metales, por lo cual de esto están hechas las antenas de recepción de señal. Tampoco pueden atravesar plásticos o cosas húmedas, lo que lleva a que la mayoría de Radiotelescopios se construyen en lugares bastante secos, generalmente desiertos, como es el caso de ALMA que se encuentra en el desierto más seco del mundo; pero también se encuentran en lugares altos, principalmente para evitar el choque con la mayoría de objetos posibles como es el caso de las antenas de telecomunicaciones y del Radiotelescopio SMA que está en un volcán de Hawái, este último que también evita una mayor atenuación por las moléculas de agua de la atmósfera.

Como ya se dijo, el agua atenúa en gran medida las *Ondas de Radio*, pero debido a que el Ser Humano en gran medida es agua, nosotros también impedimos la normal transmisión de estas señales, es por eso que si te paras entre, por ejemplo, el emisor de la señal wifi y tu amigo que se encuentra enviando un trabajo desde su computadora, esto evitará que le llegue la señal de manera óptima y por ello puedes generar que no envíe tarea, así que mejor hazte en un lugar que no interfieras con la señal.

Pero todo este tipo de comunicaciones tuvo un inicio. Desde un comienzo simplemente fue las señas, luego las palabras y frases, posteriormente las escritura, con la cual se empieza a ver que es posible transmitir un mensaje a una persona que está a cierta distancia de nosotros, pero tenía muchos impedimentos como el tiempo que demoraba en llegar o que alguien debía hacerla llegar a la otra persona. Es por ello se intenta buscar un dispositivo que en sí permita enviar el mensaje por sí solo, a la cual llega el telégrafo con hilos, que se puede decir que con este se ve el inicio de las telecomunicaciones. Dicho

dispositivo tuvo diferentes evoluciones, pero uno de los primeros métodos de usarlo fue por medio del código Morse, el cual funcionaba al transmitir por medio de dos símbolos (punto y raya) el mensaje, además que era bastante sencillo y rápidamente fue muy usado principalmente en su época.

A pesar que estas innovaciones facilitaban en gran medida las telecomunicaciones, en ese momento solo era posible enviar o recibir información en un sentido, es decir se podía recibir y esperar para transmitir, además que necesitaba cientos de metros de cable para conectar ambos dispositivos, y entre más largos fueran estos la señal se perdía. Y aunque se empiezan a ver sistemas duplex (en dos sentidos), que posteriormente se van perfeccionando, pero la pérdida e interferencia de los pulsos se convertía en un gran problema. Es por ello que empieza a surgir la **modulación** permitiendo así la multiplexación de la información, es decir, que se logra enviar dos o más señales de información por un mismo medio sin interferir entre ellas de modo que cada una tenga una frecuencia determinada (frecuencia portadora) y al llegar al receptor por medio de un filtro (sintonizador) solo permite pasar la señal indicada. Además de poder enviar varios mensajes de diferentes usuarios por el mismo medio, con ayuda de la modulación mejora la propagación de las señales.

Todo esto da un gran avance en las telecomunicaciones, pero aún había mucho que aprender. Es así, que con el descubrimiento de Hertz acerca de las *Ondas Electromagnéticas* y posteriormente con Guglielmo Marconi al adaptar la telegrafía para hacer funcionar sin cables, de manera que la misma Tierra reflejaba las ondas que eran transmitidas enviando determinada señal. Aunque Marconi propicia un gran progreso, esto no queda ahí y nuevos avances se ven reflejados mejorando sin duda el trabajo de éste; y es así que llega la Radio a comienzos del siglo XX de manera que era más sencillo transmitir voz y música a gran distancia. Pero sin duda la modulación siempre estuvo presente, y en este caso se empieza a mostrar con la primera red de emisiones de amplitud modulada o AM (RCA).

Existen tres características importantes de las Ondas, la Amplitud (A), la Frecuencia (f) y la Fase (ϕ) y desde esa perspectiva si se varía una de estas mediante la modulación para poder enviar el mensaje, se dan tres tipos de modulación: AM, FM y PM respectivamente. Las dos primeras son las más conocidas y usadas principalmente en radio, y en gran parte de la radiodifusión análoga comercial, mientras que la última es más usada en fases digitales.

Antes de centrarnos más a fondo en estos conceptos, es importante tener claros otros. Al hablar de Radiofrecuencia, y en especial de Modulación no se puede dejar de lado términos como: **Ancho de Banda** (B) que es simplemente el rango de frecuencias en los cuales es posible cada una de estas modulaciones, o las que se usan para determinadas cosas, como lo que se muestra en la **tabla 3**, aunque en un uso más moderno también se muestra como la cantidad de información que se puede transmitir en un determinado tiempo; para el primer caso se expresa en Hertz (Hz), y en el otro en Bits por segundo. También tenemos la **Señal Moduladora** ($x(t)$) que es aquel mensaje o información que se va a transmitir, es la señal real. La **Señal Portadora** ($c(t)$) que es aquella onda sinusoidal que posee una frecuencia constante y alta que permite modificar la señal moduladora y generando así una frecuencia más alta a la original y que la final; esta señal contiene parámetros igual que la primera, Amplitud portadora (A_c), Frecuencia portadora (f_c) que determina el nuevo ancho de banda, y fase portadora (φ_c). Por último, se tiene la **Señal modulada**, que es la señal que se genera al final de la modulación.

Ya con esto, se puede hablar de cada una de estas modulaciones a grandes rasgos. La Amplitud modulada (AM) que usa frecuencias entre 3,5 kHz y 4 kHz, es decir, que tiene un ancho de banda muy pequeño y no por lo que la información que puede transmitir es muy reducida. Además, fue la primera en ser usada ya que es la más sencilla y los dispositivos que sirven para su uso son económicos, lo que genera que sea fácil de comercializar. Pero a pesar de ello, la calidad de la voz y la música que se transmitía no son muy altas, por esto se ha visto desplazada por otros métodos.

Por el contrario, tanto la Frecuencia Modulada (FM) y la Fase Modulada (PM) a pesar de tener una matematización bastante compleja, y en casos prácticos solo se lleva a aproximaciones, la calidad de la señal es bastante alta y su ancho de banda es más amplio que en el caso de AM. Al hablar de la calidad es principalmente la reducción del ruido, es decir, poca señal que no se desea y se puede mezclar con la señal a transmitir. La información más relevante de AM y FM se muestra en la **Tabla 4**.

	Ventajas	Desventajas	Características
A.M.	Más fáciles de detectar con un equipo sencillo incluso si la señal no es muy fuerte.	La señal se ve afectada por las tormentas eléctricas y otras interferencias de radiofrecuencia.	Oscila entre 535 y 1705 kHz Sus estaciones posibles son cada 10 kHz
	Tiene un ancho de banda menos que al de FM. Tiene mayor cobertura que la radio FM.	Aunque los transmisores de radio pueden transmitir ondas de sonido de frecuencia de hasta 15 kHz, la mayoría de los receptores son capaces de reproducir frecuencias sólo hasta 5 kHz o menos.	Funciona mediante la modulación (variable) la amplitud de la señal portadora transmitida o de acuerdo con la información que se envía, mientras que la frecuencia se mantiene constante
F.M.	Fue inventado específicamente para superar la desventaja de interferencia de radio AM.	Es más local y no se puede transmitir a través de grandes distancias. La presencia de edificios altos o masas de Tierra pueden limitar su cobertura y calidad.	La información (de sonido) está codificada por la variación de la frecuencia de la onda y la amplitud se mantiene constante. Sus estaciones posibles son cada 200 kHz
	Tiene mejor calidad del sonido frente a AM.	Requiere un receptor. mucho más complicado	Oscila entre más de 88 y 108 MHz

Tabla 4. Características de las Radiofrecuencias.

Desde esta perspectiva, existen diferentes dispositivos que permiten la transmisión de estas señales al salir del mezclador o de la consola y es por medio de equipos de alta frecuencia ya que impiden que se generen gran cantidad de interferencias por la distancia que hay entre la emisora y la antena transmisora.

Para realizar los enlaces que permiten la transmisión de Radiofrecuencias se utilizan diferentes métodos, como el teléfono y la fibra óptica, pero el primero es muy limitado, y la segunda puede averiarse muy fácil. Por este motivo, en la actualidad se utiliza el Radioenlace que permite la unión idónea entre dos puntos por medio inalámbrico, se utiliza por medio de antenas muy directivas que permite solo radiar un tipo de frecuencia la cual va a ser la que el receptor reciba, y es ahí donde la modulación entra en juego y ayuda en el proceso.

Para la recepción de las señales se utilizan dispositivos, que pueden ir desde algo bastante sencillo, como la Radio Galena, hasta ya más complejos que es el **Receptor Superheterodino** que fue patentado por Edwin Armstrong para finales de la Primera Guerra Mundial y es el más usado en la actualidad no solo en radio, sino para televisión análoga, además que la misma idea se llevó a sistemas modernos. Este receptor funciona por medio de una mezcla de frecuencias, lo cual funciona al introducir dos señales de distinta frecuencia en un mezclador o filtro, y a su salida se obtiene una señal con frecuencia intermedia entre

las dos anteriores, conocida como Frecuencia Intermedia (o heterodinada), que se explicará más adelante con más claridad, y que permite un mejor manejo de la información. Con todo esto claro, la base de estos trabajos ha llevado a la Radioastronomía que se hablará a continuación.

2.3.2. *El comienzo de la radioastronomía*

La Astronomía en un comienzo se realizaba simplemente por medio de la observación directa al cielo, luego “*Con el desarrollo de los telescopios astronómicos, los seres humanos pudieron ver cada vez más allá en el espacio*” (BRESSER, s.f.), pero esto no fue suficiente, pues debido a que para este tipo de exploración “*se usa solo el espectro visible, justo lo que sus ojos pueden ver, y esa es una pequeña porción*” (Hurley, s.f.), es por ello que se vio la necesidad de ir más allá y explorar con otros medios diferentes a los conocidos. Por tal motivo, se sigue trabajando en nuevos campos de investigación, pero solamente unos pocos métodos involucran algo diferente a la óptica.

Lo anterior lleva a explorar en áreas nuevas, ya que, gracias a los descubrimientos de Herschel y Ritter de la radiación infrarroja y ultravioleta respectivamente, y con el descubrimiento de las *ondas de radio* por Heinrich Hertz en 1888 y de los rayos X por Röntgen en 1895, entre otros, se abrieron nuevas posibilidades a la observación. Tal es el caso de la radioastronomía, que tiene como base las *ondas electromagnéticas* en particular las *ondas de radio*, las cuales tienen una longitud de onda comprendida entre 1mm y más de 1000 km, y una frecuencia con un rango aproximadamente entre 3 Hz y 3×10^{13} Hz, las cuales se usan principalmente para la televisión, radio y otros sistemas de comunicación, aunque en Astronomía solo se llegan a utilizar longitudes de ondas de algunos centímetros.

Karl G. Jansky que en 1932, capta las primeras *ondas de radio* cósmicas y con esas “*llegó a la conclusión de que el origen de la emisión era nuestra propia galaxia, la Vía Láctea y en 1933 publicó por primera vez el resultado de sus investigaciones*” (UNED, 2011), uno de los documentos elaborados por este, son expuestos en el **anexo #1**. Pero estos trabajos no se consideran como relevantes, y es hasta la llegada de Grote Rebel que vuelve a estudiar y retomar dicho trabajo de modo que “*realiza observaciones con una antena parabólica de 10 m de diámetro que construye en su jardín*” (Cernuschi, F & Codina, 1974) (**Imagen 10**) y con sus investigaciones logra realizar el primer radio mapa del cielo. Es con dichos trabajos que se comienza a dar el desarrollo de la

Radioastronomía, pero hasta “la guerra, la radioastronomía empezó a desarrollarse cada vez más rápidamente, hasta convertirse en lo que es hoy: una herramienta fundamental para la observación y el estudio del Universo” (UNED, 2011).

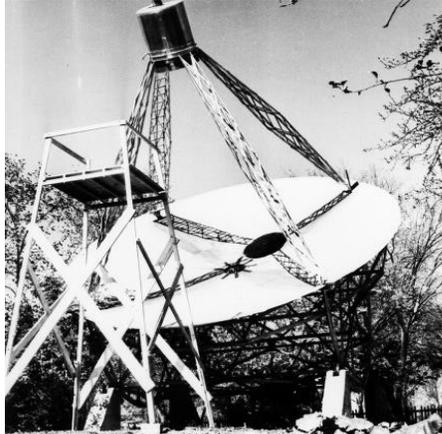


Imagen 10. Primer telescopio radar construido por Reber. Imagen tomada de: Manual de Radioastronomía. Alma en la escuela. p.8.

2.3.3. El radiotelescopio, una nueva forma de ver el cielo

Las *ondas de radio* se detectan por medio de radiotelescopios que se componen principalmente de grandes antenas que captan la señal o radiación electromagnética y el receptor la recibe y registra. Es así que “el receptor está situado en el foco primario y desde allí la señal pasa hacia los instrumentos electrónicos que la analizan. Sin embargo, en telescopios más grandes en los que hay receptores para varias bandas.” (UNED, 2011, p.4) la disposición es la que se muestra en la **Imagen 11**.

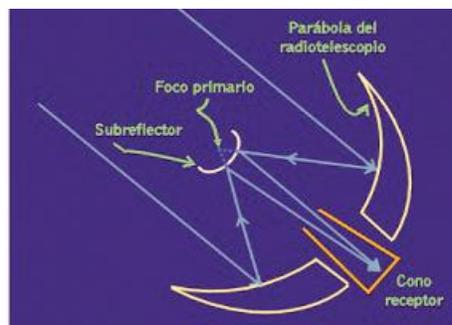


Imagen 11. Camino de las ondas de radio en una antena hasta el receptor. Encontrada en: Enseñanza. Enseñanza y divulgación de las ciencias. Introducción a la radioastronomía, p.4.

Dicho lo anterior, el radiotelescopio tiene tres elementos principales: La *antena* que se encarga de recoger la radiación electromagnética que le llega, el *receptor* que recibe y registra la energía de la antena, y la *línea de transmisión* que transporta la energía de la antena al receptor.

En general toda antena funciona bajo el siguiente principio. Las *ondas de radio* inciden sobre el plato, malla o cualquier superficie recolectora (de metal), las cuales rebotan e inciden sobre el foco primario (para las antenas parabólicas en el LNB universal) o subreflector, el cual dirige la señal al receptor, y este las registra y transmite a los instrumentos de análisis ópticos (**Imagen 11**).

Una antena recibe cierta señal según su polarización, y un mecanismo muy usado actualmente es el dipolo, el cual es un cable conductor que tiene una longitud de la mitad de la longitud de onda que se va a estudiar, está dividido en dos y en su centro se conecta a un generador o línea de transmisión. Estos dipolos reciben señales polarizadas linealmente e irradian simétricamente en forma de Toroide (dona). Es decir, un dipolo simple es una antena convencional que se encuentra polarizada linealmente.

Ahora bien, gran parte de las antenas transmisoras (y por tanto las receptoras) se encuentran polarizadas verticalmente y ambas en el mismo sentido o de lo contrario no llegaría la señal. En este caso las aplicaciones se encuentran en multidifusión, AM, telemetría, móviles y también con las gafas de sol; estas últimas solo son atravesadas por ondas con esta polarización (vertical) y no toda la radiación llega a ellas, de igual manera se evita que las ondas que rebotan en la superficie de la Tierra (que quedan polarizadas horizontalmente) las atraviesen. Mientras que, las polarizaciones horizontales producen una mayor atenuación de la onda, y se utilizan principalmente en televisión y en FM, entre otros.

Por otra parte, una polarización circular se produce principalmente en las ondas espaciales, que al rebotar cambia su polarización, y no se sabe su dirección en el momento de ser recibidas. El ejemplo más común es el GPS.

La señal después de pasar por el receptor es filtrada según la frecuencia que se quiere estudiar, luego pasa a un amplificador de esta y posteriormente a un convertidor de frecuencia, el cual busca atenuarla, ya que la que se recibe es muy alta. Dicho instrumento se conoce como conversor de frecuencia intermedia, el cual tiene la función de mezclar la señal original con otra señal artificial y de este modo se obtienen dos señales: Una es la suma de la original y la artificial, es decir la total recibida; y la otra es la resta entre la total y la artificial (del oscilador), la cual nos proporciona la **Frecuencia Intermedia**, que es mucho más

sencilla de manejar y de transmitir y además contiene la misma información que la original ya que se hace con el mínimo de pérdidas.

Ahora bien, imaginemos que tenemos una señal original con una frecuencia de 2 GHz y la frecuencia que se puede procesar es de 300 MHz para lo cual se debe crear una señal de 2300 MHz o 1700 MHz, y en ambos casos, al hacer la resta de la frecuencia original con cada una de estas otras se obtiene 300 MHz, pero con este mismo ejemplo, puede haber dos opciones, dado que con cada frecuencia que se escoja para el oscilador puede haber otra fuente de origen, ya que por ejemplo si se tiene una señal artificial de 1700 MHz además de recibir la frecuencia de 2 GHz, también podría hacerlo con una de 1400 MHz y en ambos casos se obtiene la señal con la frecuencia que se puede procesar, por un lado se obtiene una Banda simple en la que se filtra la señal diferente a la que se quiere estudiar, y una Banda Doble en la cual no se filtra esta y por lo tanto ingresan dos frecuencias diferentes al oscilador (PARTNER¹⁰, 2003)

Para el caso final, la frecuencia se amplifica nuevamente, y por último es analizada, pero este proceso se puede realizar de dos maneras: Por una parte, se utiliza un Medidor de frecuencias que realiza una cuantificación de la Energía por unidad de tiempo en cierto intervalo de frecuencias ya definido y genera que no se varíe mucho el ancho de banda, lo cual provoca que no se pierda gran parte de la energía original, y se reciba menor ruido. Por otra parte, se puede usar un espectrómetro el cual analiza la radiación emitida respecto a la frecuencia; un problema con este último es que el ancho de banda es mucho más pequeño que con un medidor de frecuencias.

Existen dos parámetros que se deben tener presente en la transmisión de una señal, no solo para *ondas de radio*, sino también para las *ondas visibles*, los cuales son: Poder separador y, sensibilidad o poder de percepción.

Por una parte, el **poder separador** o **resolución angular** “*es una medida de la capacidad del aparato para distinguir separados objetos angularmente próximos*” (CERNUSHI & CEDINA, 1974, p.23), es decir, cuando observamos un objeto en el cielo,

¹⁰ Esto se explica entre las páginas 1 a la 3.

no se percibe como algo puntual, sino un círculo (discos de difracción o disco de Airy) alrededor de su ubicación, y a veces el disco de un objeto se cruza con el de otro y en ese punto el poder separador del objeto no es suficiente para la observación.

Dado esto, para conocer el poder separador de un telescopio o radiotelescopio se utiliza la **Ecu. (10)**, donde d es el diámetro de la antena y λ es la longitud de onda, pero ya que estas últimas en el espectro de Radio son mucho más grande que en Visible, se necesitaría una antena extremadamente grande para que el poder separador de un Radiotelescopio se compare con el de un Telescopio. Es por ello que en la actualidad se hace uso de la Interferometría como técnica que mejora la observación astronómica.

$$\text{Poder separador} = \frac{d}{\lambda} \quad \text{Ecu. (10)}$$

Por otro lado, la **Sensibilidad** o **Poder de percepción** “*consiste en la capacidad de un determinado instrumento para reaccionar ante reducidas densidades de flujo que llegan hasta él*” (CERNUSHI & CEDINA, 1974, p.24), es decir, es la radiación recibida por la superficie recolectora. Es así que, por el hecho que al igual que con un telescopio, si se aumenta la superficie de un radiotelescopio se puede obtener radiación de fuentes más débiles, frías y pequeñas, lo cual aunque también mejora con la Interferometría, es mejor creando Radiotelescopios más grandes.

Ahora bien, la “*antena de un Radiotelescopio realiza una triple selección de las ondas incidentes: primero, en la polarización; segundo, en el espectro de frecuencias; y por último en las direcciones de propagación de las ondas*” (CERNUSHI & CEDINA, 1974, p.25). Es así, que la antena discrimina entre cómo se propague la onda (Onda libre o guiada); pero además, solo extrae energía del intervalo de frecuencias en que se haya configurado; y por último, depende de la dirección en que lleguen las ondas.

El ideal de una antena de un Radiotelescopio es que al dirigirla hacia un determinado punto en el cielo, este recoja solo la Radiación desde el punto que se quiera estudiar, aunque en la realidad esto no es así y se recibe Radiación de diferentes puntos. Es por ello que se utiliza un **Diagrama Polar** o **de Radiación (Imagen 12)**, el cual muestra la cantidad de radiación recibida de cada punto del cielo. En la *Imagen 12* se muestra una antena dirigida

hacia la dirección de la línea azul, donde se encuentran diferentes lóbulos que representan la cantidad de Radiación recibida en cada punto del Cielo, donde el LÓBULO PRINCIPAL está dirigido hacia el lugar a estudiar y se registra la mayor cantidad de Radiación, pero esta no es la total, y llega más de otros punto diferentes a la fuente, los cuales se representan en los LÓBULOS SECUNDARIOS. En el ángulo medio del Lóbulo primario, se encuentra el *Ancho del haz* de la antena (HPBW) donde la Intensidad es la mitad del máximo.

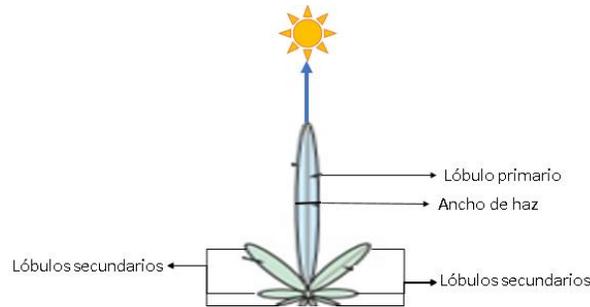


Imagen 12. Diagrama Polar y sus características. Tomada y adaptada de: *Instalación y puesta en marcha de un pequeño Radiotelescopio en la Universidad Politécnica de Cartagena.* p.32

A partir de dicho diagrama, y teniendo en cuenta la difracción de la radiación en la antena está representada por medio de la **Ecu (11)**, siendo x el ángulo respecto a la dirección en que apunta la antena. Esta se puede representar como se ve en la **Imagen 13**, donde el punto **0** muestra el máximo de Intensidad, y además hay dos máximos y mínimos relativos representados en las curvas más pequeñas, donde estos últimos poseen la más baja intensidad.

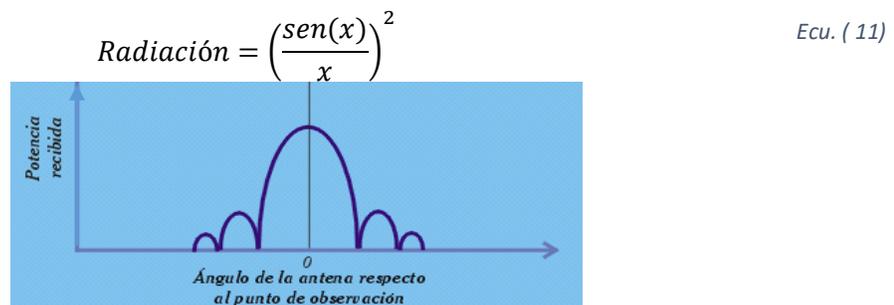


Imagen 13. Patrón de la antena en representación plana. Tomada de: *PARTNET. Curso de iniciación a la Radioastronomía. Capítulo 5: Conceptos técnicos de un radiotelescopio y la radiación recibida.* p.5

De este modo, hay una propiedad muy importante de la antena, la **Directividad**, la cual es cuando el lóbulo principal se hace bastante estrecho y los lóbulos secundarios son bastante pequeños (**Imagen 12**), de modo tal, que la resolución de Radiotelescopio también mejora. Pero tener una mayor directividad o ganancia además implica que debe ser bastante exacto el sitio hacia donde se dirige la antena, ya que al tener su lóbulo principal más estrecho, recoge poca radiación de otro punto diferente a donde se señale. Esto lleva a

suponer que un Radiotelescopio no debe tener una directividad muy alta, ya que al dirigirlo hacia cierto punto no es muy frecuente que se encuentre solo ahí lo que se quiere estudiar, sino que también se espera recibir radiación de sus lados cercanos.

Aunque en un momento no se hizo diferencia entre directividad y ganancia, y es porque no son muy diferentes, solo implica que el primero hace referencia a la potencia que radia o emite la antena, mientras que la **Ganancia** equivale a la potencia que recibe esta. Donde ambas se miden en decibeles (dB).

Por último, el diseño y la construcción de un Radiotelescopio dependen principalmente del tipo de Longitud de Onda que se pretende estudiar. De este modo, por una parte están los Radiotelescopios milimétricos, que trabajan entre algunos pocos centímetros y hasta aproximadamente 1 mm, por otro lado están los Radiotelescopios Submilimétrico, que trabajan con una Longitud de Onda $< 1\text{mm}$, donde estos dos tipos necesitan de superficies recolectoras bastante precisas, ya que al ser tan pequeña la Longitud de Onda, la humedad o diferentes elementos puede llevar a perder la señal, es por ello que se utilizan por lo general cúpulas para evitar vibraciones y también se sitúan en lugares bastante secos (desiertos) o lugares elevados.

2.3.4. Radiofuentes celestes

El tema de interés de este trabajo son las *ondas de radio*, las cuales son unas de las pocas que logran atravesar la atmósfera. Esto es debido a lo ya mencionado y expuesto en la **Imagen 8**, pues la atmósfera y los gases presentes en ésta funcionan como medio en el cual las ondas principalmente son absorbidas o simplemente se genera una cierta atenuación. Para este segundo caso tenemos en particular las *ondas visibles*, gracias a lo cual vemos y percibimos el mundo tal cual como lo hacemos en este momento; donde también las *Ondas de Radio* logran atravesar en gran medida la atmósfera y así con esas es posible captar gran cantidad de información dentro de la Tierra.

Este tipo de ondas provienen de objetos celestes denominados radiofuentes que son todos aquellos que emiten *ondas de radio*. El estudio de este tipo de Radiación se hace principalmente con objetos muy distantes o que están cubiertos por una gran cantidad de gas

o polvo, y genera que la observación óptica no sea muy sencilla de realizar. Es así, que aunque desde el rango del espectro de radio se puede estudiar casi todo el universo, es necesario ver la pertinencia y facilidad para hacerlo.

Por una parte, desde el inicio se intentó estudiar el **Sol** con las ondas de radio, pero se dificultó un poco por ser principalmente producto de interacciones nucleares, incluso Jansky y Rebel intentaron estudiarlo. No fue hasta años después y al darse cuenta que el Sol poseía manchas solares, lo cual posibilitó estudiarlo por este método, y así obtener mayor información sobre este objeto celeste. Pero además de estudiar nuestra estrella, también fue posible hacerlo con nuestro satélite, **la luna, y los Planetas**, los cuales emiten radiación como cuerpo negro a una temperatura baja.

Además de lo anterior, las Galaxias no se quedan atrás, pero para entender esto, primero hay que comprender que existen dos tipos de galaxias, las “normales” y las activas, y a pesar que todas emiten Radio, la mayoría lo hace de una manera bastante débil, solo una parte de las Galaxias Activas lo hacen a gran escala, y aunque las razones no son del todo claras, parece ser por que el agujero negro central tiene una masa bastante grande. Este tipo de Galaxias son las denominadas **Radiogalaxias**, que son las “*que tienen una emisión radio especialmente fuerte, entre 10 000 y 100 000 veces mayor que la de las galaxias normales. Las radiogalaxias suelen estar asociadas a galaxias con forma elíptica, de tipo E, con un núcleo activo*” (PARTNER, 2003, p.8). Además de esto, las galaxias vistas desde el espectro de radio son mucho más grandes que desde el espectro óptico, alcanzando en el segundo incluso millones de parsecs¹¹. La estructura principal de estos objetos, son: un núcleo que contiene una gran cantidad de brillo y coincide con el núcleo óptico, los chorros que llevan gran energía hasta llegar a unos puntos muy calientes (Hot Spot), y por último están los lóbulos que es donde esta Radiación llega al medio exterior. La principal facilidad que permite el estudio de Radiogalaxias es que si hay dos galaxias muy juntas una a la otra se logra distinguir, lo cual en Óptica no es tan sencillo.

¹¹ 1 pc = 3,26156 al = 3,086x10¹⁶m

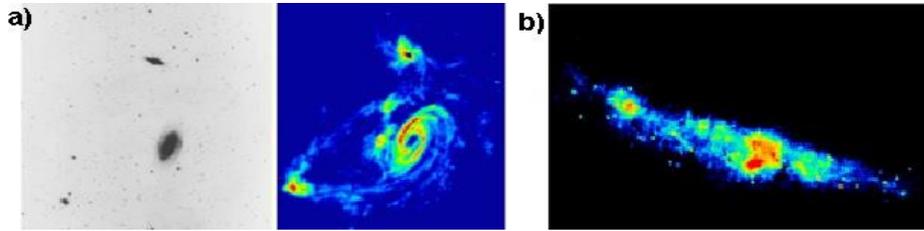


Imagen 14. a) Imagen del grupo de galaxias M81 en óptica y en Radio. **b)** Imagen de Una explosión de Supernova. Tomada de: PARTER (2003). Curso de iniciación a la Radioastronomía. Capítulo 4: Fuente de Radio III: Sistema Solar y Galaxias. p.7

Aparte de los objetos ya mencionados, actualmente se ha buscado estudiar los **cuásares** y **objetos BL-Lac**, los cuales en general son objetos con un núcleo bastante resuelto y luminoso, y se diferencian según su línea de emisión. Ambos al ser muy variables, se convierten en *Blázares*. Respecto a los cuásares, el 10% de ellos emiten Radio de una manera intensa y es así que se les conoce como Radio-Cuásares. En la **Imagen 14. a)** se muestra la diferencia de la observación de la galaxia M81 en óptica y en radio, mientras que en la **Imagen 14. b)** se ve una gran explosión en el espacio vista desde las ondas de radio.

Para estudiar dichos objetos se utilizan los Radiotelescopios ya mencionados anteriormente, y a pesar que el rango de radio es bastante amplio, en Radioastronomía lo principal es que solo se estudie hasta algunos centímetros, ya que primero se necesitarían antenas bastante grandes para que incidan bien en ella, además estas no ingresan en su totalidad a la atmósfera terrestre, y aunque es posible hacerlo fuera de la Tierra también, este proceso se hace más complicado y la radiación difícil de manejar.

Ahora bien, un método muy usado en diferentes tipos de recepción de *ondas electromagnéticas* es por medio de la interferometría, una familia de técnicas de gran importancia en diferentes ámbitos, pero para este caso, se enfocará al uso en la Radioastronomía.

2.4. Interferometría

A pesar de la gran aplicabilidad de las *Ondas de Radio*, y en particular con la Radioastronomía, esta genera grandes inconvenientes respecto a su observación. Y el principal obstáculo, es que al observar un objeto (como se dijo anteriormente) no se ve algo puntual, sino un círculo, conocido como Disco de Difracción, y aunque en la óptica esto no genera muchos inconvenientes, en Radioastronomía sí lo hace, e implica muchas veces

confundir objetos relativamente cercanos a la fuente de observación; lo que lleva a ser casi imposible la resolución angular en estos instrumentos. Tanto es así, que si se tiene un telescopio con lentes de más o menos 5 km de diámetro, este se puede comparar con un Radiotelescopio de 500 Km aproximadamente para tener así igual la resolución entre ambos.

Con esto se vuelve muy poco factible realizar observación del cielo en *ondas de Radio*, pero aquí entra una técnica ya muy antiguamente utilizada por la óptica y es la *Interferometría*. En este caso se usa dos o más receptores (antenas) que están observando la misma fuente, es decir, es la “*combinación de dos o más ondas en el mismo punto del espacio, dando como resultado una mayor intensidad, (interferencia constructiva) o una disminución de la misma (interferencia destructiva)*” (ALMA, s.f., p.26). De esta manera, al recibir la señal, no se observa algo continuo, sino un patrón de interferencia como si fueran una serie de franjas.

En la **Imagen 15** se puede observar dos configuraciones distintas de 2 antenas donde se obtienen dos tipos diferentes de franjas espectrales. De este modo, en la sección **15 a)** hay dos antenas que están muy próximas entre sí y paralelas una de la otra, mientras que en la **15 b)** hay dos antenas más separadas y una diagonal a la otra. Desde esta perspectiva se puede observar que las franjas espectrales vistas como respuesta del interferómetro dependen de la distribución de las antenas. Entre más se aumente la distancia entre estas la frecuencia espacial también aumentará, y por ende la distancia entre franjas disminuirá, y la orientación de estas depende de la orientación relativa entre las antenas.



Imagen 15. Relación entre la posición de las antenas (izquierda) y el patrón de interferencia que se recibe (derecha). Imagen tomada de: <https://mural.uv.es/imarvi/Interf/Interf.html> sección 1.2.

Con el uso de la interferometría se busca principalmente solucionar un poco el problema de la resolución angular, pudiéndose medir según la distancia entre las antenas. Es por ello que se usan varias que recojan la información, e incluso usando antenas en diferentes

puntos de la Tierra se ha llegado a simular un radiotelescopio que tenga el diámetro de la Tierra. Pero no todo queda allí, pues ahora al lanzar telescopios al espacio se puede simular uno aún más grande y todo ello con el poder de la Interferometría.

Con base en esto, existen dos principales tipos de Interferómetros en la Radioastronomía. Por una parte, se tiene los **Interferómetro Conexos**, que son aquellos que se encuentran conectados entre sí por medio de cables. Para mover cada una de estas antenas se utilizan raíles para así variar su distribución y distancia según lo que se quiera estudiar, de esta manera, si están más alejados se tiene una mayor resolución angular, y al acercarlos se puede estudiar regiones del cielo que poseen un gran tamaño.

Por otra parte, se tiene el **Interferómetro de muy Larga Base (VLBI)** que son aquellos que no están conectados entre sí, por lo cual la señal recibida por cada antena es almacenada respecto a señales de tiempo bastante precisas, lo que se logra usando relojes atómicos. Esto se usa principalmente teniendo colaboraciones internacionales de diferentes centros de investigación ya que sería casi imposible tenerlos conectados, logrado simular un Radiotelescopio del diámetro de la Tierra.

Pero esto no es suficiente, no solo basta construir varias antenas y ponerlas en diferentes puntos de la Tierra, ya que si son muy pequeñas mucha radiación que ingrese se perdería pues en los espacios entre las antenas no habría nada que la recoja. Es por ello, que no solo basta con crear varias antenas separadas entre sí por una gran distancia, sino muchas y más grandes que no permitan perder bastante de la información que llega. Es por esta razón, que a pesar que últimamente se ha estado viendo que en lugar de construir solo un gran radiotelescopio se construyen varios correlacionados, o en su defecto, se llega hacer colaboraciones internacionales utilizando antenas de diferentes instituciones en diversos puntos de la Tierra recogiendo cada vez más completa información, y a pesar de esto, los radiotelescopios no dejan ser de tamaños extremadamente grandes.

Por lo general un interferómetro involucra varias antenas, muchas, aunque si se tienen en cuenta solo dos elementos, se pueden hacer las principales descripciones de este fenómeno.

Es por ello, que, como se observa en la **Imagen 16**, se tiene un interferómetro de dos elementos, y ambos observan la misma señal. Dónde: \vec{L} es la línea de base, es decir, la separación entre las antenas; \vec{S} es la dirección de la señal observada; **A** y **B** son cada una de las antenas; θ es el ángulo entre la dirección en que se observa la señal (\vec{S}) y la recta perpendicular al plano de la Tierra; y τ es el desfase que corresponde a la separación entre las dos antenas y se representa mediante la ecu (12), donde c es la velocidad de la luz en el vacío.

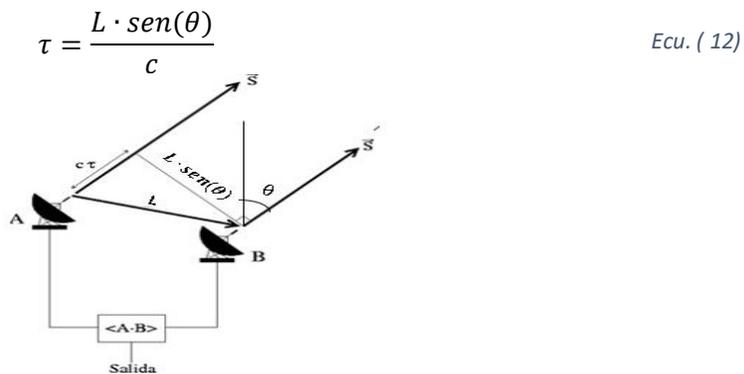


Imagen 16. Principales características de un Radiointerferómetro de dos elementos. Tomada y adaptada de: <https://mural.uv.es/imarvi/Interf/Interf.html> Sección 1.2.

Con todo esto, a pesar que el interferómetro ayuda bastante al estudio de la Radioastronomía, al observar cierta región del cielo, este no es estático y se mueve, por lo cual, las antenas también deben moverse. Pero esto no es así, ya que moverlas requieren grandes esfuerzos, y puede que no se haga durante el tiempo que tarde el experimento, es decir por cada observación todas las antenas se mantienen estáticas, es por ello, que se utiliza un desfase (τ) para cada par de antenas, pero mientras se mueve la fuente debe variar τ , por lo cual L también cambia de dirección con el tiempo y con ello también lo hacen las franjas de interferencia que se obtienen. Con ello, usando la Transformada de Fourier se encuentran diferentes componentes de definen la señal, y estos aumentan según la cantidad de antenas, aunque este método no se usará en el trabajo.

Por otra parte, si se tienen interferómetros¹² más complejos, es decir, que contengan más de dos antenas esto no sería tan sencillo, ya que se necesitaría diferentes desfases; por ejemplo, para la antena **A** necesitaría un desfase respecto a **B** y otro respecto a otra antena **C**

¹² Conjunto de antenas

(Imagen 17); además, al tener ciertas imprecisiones tanto en la posición de la antena como en la de la fuente, puede dar que τ no sea el correcto. Por lo tanto, no se tiene no solo un desfase sino un conjunto de ellos (τ_i) para cada par de antenas (A_i, B_i), y con ello se puede obtener diferentes valores de desfase para cierto tiempo (t) y de este modo en cada suposición de posición de las antenas del interferómetro se puede usar un valor, y si este no es correcto se cambia escogiendo entre toda la familia.

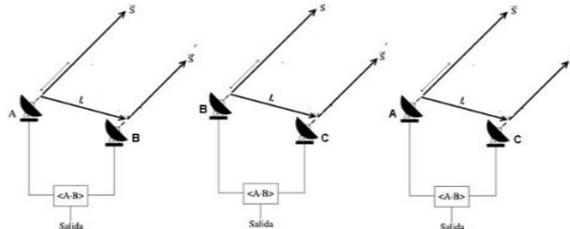


Imagen 17. Representación de un interferómetro de tres antenas por medio de pares. Adaptado de: <https://mural.uv.es/imarvi/Interf/Interf.html> Sección 1.2.

De este modo, que con la interferometría se logran muchas facilidades en la Radioastronomía, y hace más sencillos muchos procesos dentro de esta rama y ayudando de sobremanera a los diferentes tipos de observación astronómica. Aparte de ello, en general con el uso de la Radioastronomía, se logra generar un estudio más completo del universo y abrimos paso en la comprensión de este. Con base a este trabajo surge una estrategia didáctica que logre acercar a los estudiantes sobre los diferentes conceptos tratados.

3. METODOLOGÍA

La presente propuesta de trabajo busca acercar a estudiantes en los conceptos generales en las *Ondas Electromagnéticas*, principalmente las *Ondas de Radio* utilizando la Radioastronomía como eje fundamental. En esta propuesta los conceptos físicos se abordarán con estudiantes que ya tengan los primeros acercamientos a esta área, por ello irá dirigido principalmente en el grado once o de cualquier carrera de pregrado afín, y en general, a cualquiera que quiera ampliar sus conocimientos sobre este tema.

Desde esta perspectiva, se busca que este trabajo pueda involucrar a personas diversas, de diferentes contextos y pensamientos y que a la vez entre ellos se puedan colaborar haciendo un proceso más enriquecedor para todos los que participen y así se complementen unos con otros. Siendo así, con este trabajo es posible además lograr integrar

diferentes áreas del conocimiento y diferentes competencias donde sus integrantes ponen en práctica lo aprendido reforzando los conocimientos adquiridos.

Hay que tener presente que *“El aprendizaje no es un encuentro deportivo al que uno puede asistir como espectador. Requiere la participación directa y activa de los estudiantes”* (JOHNSON, JOHNSON & HOLUBEC, 1994, p.5), y no solo donde el docente imparte información sobre un tema y los estudiantes de forma pasiva lo reciben y resuelven algunos ejercicios con esta. Es por ello que es necesario ir más allá e involucrar a los estudiantes dentro de su proceso de aprendizaje, además de llevar lo aprendido a contextos cotidianos viendo la utilidad del conocimiento adquirido y una aplicación real.

De este modo, *“al poner al alumno frente a una situación problemática real [...] le permite adquirir el conocimiento de manera no fragmentada o aislada”* (ITESM, s.f., p.4) lo que facilita no solo el aprendizaje de cada temática vista en clase, sino también de su conocimiento fuera del aula de manera que sus experiencias cotidianas las puedan asociar junto a los conocimientos que van adquiriendo.

De este modo, la propuesta está enfocada hacia dos metodologías. Por una parte se tiene el Aprendizaje Cooperativo que se sustenta en el trabajo por grupos, el cual *“Requiere la participación directa y activa de los estudiantes.”* (JOHNSON, JOHNSON & HOLUBEC, 1994, p.7), de manera que se involucren dentro de su propio aprendizaje y el docente es un orientador de este. Además, la idea es que los estudiantes logren trabajar en equipo, donde se colaboren unos a otros de forma que entre todos busquen lograr un objetivo que les beneficie. Para ello es importante que cada participante del equipo cumpla con su papel dentro de este, de modo que *“todos los alumnos tienen un mejor desempeño que si hubieran trabajado solos”* (JOHNSON, JOHNSON & HOLUBEC, 1994, p.8).

Por otra parte, otra metodología en que se basa la presente propuesta, en el Aprendizaje Orientado a Proyectos (AOP), el cual *“Es un método basado en el aprendizaje a través de la experiencia y la reflexión, donde tiene gran importancia el proceso de indagación alrededor del proyecto planteado”* (FERNÁNDEZ, s.f., p.1). Para este caso, la idea es que los estudiantes trabajen por medio de equipos en los cuales van desarrollando una serie de actividades para finalmente desarrollar un proyecto donde implementen los

conocimientos adquiridos. Además, genera mayor responsabilidad en los estudiantes de modo que intentan resolver problemas con habilidades que se evidencian en su cotidianidad.

La propuesta se divide en cinco momentos con diferentes actividades en cada uno, las cuales están enfocadas principalmente a la parte experimental abordando las temáticas ya mencionadas. Es así, que a continuación se expone muy sintéticamente cómo está dividido cada momento y hacia qué está dirigidas las actividades en cada caso realizadas por medio de equipos; de igual manera, los resultados que se esperan obtener al finalizar el respectivo momento. Además, durante todas las actividades los estudiantes deben ir elaborando una cartilla que evidencie su trabajo.

En el **primer momento**, se diseñan actividades enfocadas a la temática de *ondas*, en el cual los estudiantes se espera que ya tengan un primer acercamiento hacia ellas, de modo que se pueda enriquecer esas ideas y fortalecerlas, además que reconozcan sus fenómenos y propiedades (**Tabla 5**).

Objetivo	#	Actividades	Resultados esperados
Evidenciar algunas concepciones que tienen los estudiantes acerca de las ondas, su propagación y los fenómenos presentes en estas.	1	Prueba diagnóstico acerca de la temática	Se espera que los estudiantes comprendan:
	2	Socialización con base a la anterior actividad	-Los fenómenos de difracción e interferencia de una onda por medio de la cubeta de ondas al colocar diferentes objetos en esta.
		Cubeta de Ondas	
	3	Refracción de objetos al cambiar de medio	-El fenómeno de refracción haciendo que varios objetos cambien de medio pasando del aire al agua.
Propagación de una perturbación en una cuerda		-La propagación de una onda en una cuerda mientras se hace oscilar.	

Tabla 5. Síntesis del primer momento de la propuesta didáctica.

En el **segundo momento**, las actividades están enfocadas en la temática de *magnetismo, electricidad y ondas electromagnéticas*, donde los estudiantes realizarán un primer acercamiento a estos términos, al igual que la diferencia entre ondas electromagnéticas y ondas mecánicas (**Tabla 6**).

Objetivo	#	Actividades	Resultados esperados
Realizar una primera aproximación a lo que se conoce como ondas electromagnéticas, su historia y algunos usos en la actualidad.	1	Actividad experimental sobre el magnetismo.	Se espera que los estudiantes: -Comprendan los fenómenos magnético y eléctrico al acercar diferentes elementos a un imán y a una bomba cargada por fricción -Relacionen la electricidad y el magnetismo al evidenciar el cambio de dirección de una brújula al acercarla a un circuito en presencia de corriente. -Diferencien entre una onda mecánica y una electromagnética por medio de la caracterización de cada una de ellas explicando su medio de propagación.
		Actividad experimental sobre la electricidad	
		Actividad experimental sobre la relación entre electricidad y magnetismo	
		Casos de electromagnetismo en la vida real	
	2	Diferencia entre onda electromagnética y onda mecánica	

Tabla 6. Síntesis del segundo momento de la estrategia didáctica.

El **tercer momento**, se enfoca en actividades acerca del *Espectro electromagnético*, principalmente las *Ondas visibles y de Radio*; en este momento se realiza un breve análisis de lo que los estudiantes conocen respecto al tema, para posteriormente revisar ejemplos acerca los diferentes tipos de espectros electromagnéticos. Además, se realiza una actividad sobre la propagación de ondas electromagnéticas, para finalizar enfocando el tema hacia las ondas de Radio, y algunos ejemplos en la vida diaria (**Tabla 7**).

Objetivo	#	Actividades	Resultados esperados
Aproximar a los estudiantes hacia lo que es el espectro electromagnético, enfocados en la parte de ondas visibles y de Radio.	1	Diagnóstico por medio de preguntas.	Se espera que los estudiantes logren: -Diferenciar los distintos rangos del espectro electromagnético como lo son los rayos x, gamma, ultravioleta, infrarrojo, microondas, y en especial las ondas de radio. -Comprender que la propagación de una onda electromagnética depende de la distancia entre el emisor y el receptor -Evidenciar la descomposición de la luz mediante la construcción de un espectroscopio. -Reconocer en el uso de las telecomunicaciones, las ondas de radio, principalmente en el celular, mediante la recepción de señal.
	2	Gráficos y videos sobre tipos de ondas electromagnéticas	
	3	Construcción de un espectroscopio	
	4	Actividad experimental sobre la antena construida por Hertz en 1887	
	5	Videos sobre el funcionamiento de las antenas de telecomunicaciones y del celular móvil	
	6	Actividad de cierre.	

Tabla 7. Síntesis del tercer momento de la propuesta didáctica.

El **cuarto momento**, se enfoca en actividades acerca de la *Radioastronomía*. En este se realizarán una serie de actividades enfocadas primero a entender un poco la astronomía

desde la parte óptica, luego haciendo un primer acercamiento a las demás formas de observación, hasta llegar a la Radioastronomía, abordando sus principales características, implicaciones en la vida y algunos conceptos físicos inmersos allí (**Tabla 8**).

Objetivo	#	Actividades	Resultados esperados
Acercar a los estudiantes a los principales conceptos de la radioastronomía y el uso del radiotelescopio	1	Preguntas previas acerca de aquello que los estudiantes conocen sobre el tema.	Se espera que los estudiantes: -Relacionen conceptos como ondas electromagnéticas, ondas de radio y espectro electromagnético con lo que se conoce en radioastronomía. -Construyan un Radiotelescopio que permita implementar los conocimientos ya aprendidos y recibir alguna señal que puedan decir a qué se debe el ruido que recibe la antena. -Comprenan el funcionamiento y partes de un Radiotelescopio teniendo claros conceptos como su montura, tipos, datos que recoge, ancho de banda, rendimiento, y sensibilidad, por medio de lecturas y datos que recojan.
	2	Video introductorio a la radioastronomía.	
	3	Indagación por parte de los estudiantes sobre algunas propiedades de los Radiotelescopios.	
	4	Lectura sobre el Radiotelescopio.	
	5	Construcción de un Radiotelescopio de onda corta.	
	6	Actividad de cierre	

Tabla 8. Síntesis del cuarto momento de la propuesta didáctica.

El **quinto momento (Tabla 9)**, está enfocado en el tema de *Interferometría*. Donde se propondrán diferentes actividades buscando realizar un breve acercamiento hacia lo que se conoce como interferometría, y principalmente las características esenciales que se necesitan para su aplicación en la Radioastronomía.

Objetivo	#	Actividades	Resultados esperados
Aproximar a los estudiantes al concepto de interferometría, y su aplicación en la Radioastronomía.	1	Preguntas para verificar los conocimientos previos sobre el tema con base en la actividad 2 del cuarto momento.	Se espera que los estudiantes: Comprenan qué es la interferometría y lo relacionen con la Radioastronomía por medio de la lectura sobre la conformación y el funcionamiento del programa ALMA, entre otros que ellos mismos averiguarán; a través de la apropiación de los conceptos.
	2	Lectura sobre ALMA como ejemplo	
	3	Indagación y exposición acerca del Interferómetro, principalmente en la Radioastronomía.	

Tabla 9. Síntesis del quinto momento de la propuesta didáctica.

Para terminar, a lo largo de todas las actividades se irá realizando una evaluación continua del proceso, igual que al finalizar con base en la cartilla elaborada, en los

comentarios de sus demás compañeros y en la socialización final de su trabajo. Los criterios fundamentales serán la participación, el cumplimiento de las actividades, el respeto hacia sus compañeros y docente, y la propiedad con que manejen los respectivos temas.

4. DISCUSIONES

Durante la realización del presente trabajo, y con base en cada experiencia y momento del proceso se fueron evidenciando diferentes planteamientos que fomentaban y enriquecían este. Es así que, al finalizar con el proceso es posible hacer una serie de reflexiones desde los ámbitos abordados para el trabajo.

Es así que teniendo en cuenta los objetivos, tanto general como específicos, y como base el problema de investigación planteado. Por lo tanto en este apartado se abordan tres aspectos para tener en cuenta: los resultados esperados, las conclusiones y las recomendaciones generales del trabajo.

Todo lo expuesto se dan en una serie de discusiones no solo con base en las conclusiones determinadas por la experiencia de acuerdo al trabajo realizado, sino también sugerencias que pueden servir de base a la hora de llevar esta propuesta al aula de clases, y los resultados que se espera que puedan llegar a lograr al finalizar las actividades propuestas:

4.1. Resultados esperados.

La propuesta metodológica mostrada anteriormente, permite plantear algunos resultados que se espera los estudiantes logren al finalizar el conjunto de actividades propuestas, dentro de estos:

- Los estudiantes darán cuenta de algunas características propias de una onda electromagnética, así como los fenómenos presentes en estas y en toda onda, como la interferencia, la refracción, difracción y reflexión, entendiendo principalmente su propagación en diferentes medios asociándolo así con las telecomunicaciones mediante la cual la señal logra viajar de un punto a otro de acuerdo a los fenómenos descritos entendiendo, por ejemplo, cómo funcionan las llamadas telefónicas.

- Los estudiantes comprenderán el proceso que se lleva a cabo en las telecomunicaciones evidenciando los efectos eléctricos y magnéticos presentes en esas, y además de relacionar y ver la dependencia que tienen entre sí al evidenciar lo que sucede con un campo magnético en presencia de una corriente y viceversa, entendiendo el uso de la antena dentro de la radioastronomía y las señales que esta capta.
- Los estudiantes, mediante la construcción del radiotelescopio relacionarán conceptos como ondas electromagnéticas, espectro electromagnético, ondas de radio y sus implicaciones en la radioastronomía, de igual forma entenderán que es posible captar señales en algunos rangos del espectro dependiendo de su longitud de onda, reconociéndolas desde objetos comunes (radio, celulares, antenas de telecomunicaciones, entre otras) y con ello reconocer diferentes métodos de observación astronómica que se pueden usar, sin recurrir necesariamente a la óptica.
- Los estudiantes relacionarán las ondas de radio con fenómenos presentes en su cotidianidad como al recibir una llamada en su celular o la señal del WiFi de su casa o colegio, y así relacionarlos con procesos astronómicos que se pueden encontrar en noticias y en experimentos, por ejemplo, la descripción de objetos celestes y la forma en que los percibimos mediante los fenómenos ondulatorios en el espacio.
- Los estudiantes reconocerán en la interferometría un método eficaz en diferentes áreas de la ciencia, y específicamente en la observación astronómica mediante las ondas de radio permitiendo recoger información más a fondo acerca del universo y de los objetos celestes en este, por lo que actualmente es un método muy usado y de gran importancia principalmente a la radioastronomía, siendo una de las técnicas más usadas y valiosas en esta rama de la astronomía.

4.2. Conclusiones.

En esta medida, con base al proceso de elaboración del presente trabajo surgen algunas conclusiones y reflexiones hechas a nivel metodológico, conceptual y experimental:

Conclusiones de orden metodológico

- La enseñanza de las ondas electromagnéticas, principalmente de las ondas de radio, es un elemento esencial en el estudio del electromagnetismo, y es necesario no dejarlo de lado en las clases de Física, sino que se pueden articular con el estudio de diversos temas como las ondas, cargas, entre otros, así como sus implicaciones en el estudio de la astronomía.
- La astronomía al ser una rama del conocimiento llamativa en la actualidad, se puede, a partir de ella, estudiar, por ejemplo, las ondas electromagnéticas, y en ellas las ondas de radio. Esto ya que permite abarcar diferentes conceptos, teorías y temáticas desde algo que para los estudiantes es interesante, además poder involucrar diferentes ramas del conocimiento que enriquecen, amplían y fortalecen lo que los estudiantes van aprendiendo. Lo cual implica que es posible estudiarlo tanto de forma conceptual como experimental en la construcción del conocimiento.

Conclusiones de orden conceptual

- La radioastronomía es una técnica cada vez más usada en la actualidad, pero para comprenderla es necesario tener claro diferentes conceptos como ondas, ondas electromagnéticas, espectro electromagnético y ondas de radio lo que lleva a que en su implementación en cualquier clase de ciencias se le dé un contexto a los saberes, y además, que los estudiantes al lograr manipular y recrear instrumentos de observación pueden poner en práctica lo visto en clase.
- Los fenómenos electromagnéticos, y en general el electromagnetismo son una de las bases más importantes para la astronomía, sobre todo la astronomía actual, ya que se puede abarcar diferentes rangos del espectro electromagnético de manera que cada uno de ellos permite comprender un aspecto importante del universo y enriquecer cada vez más los conocimientos. Además, el electromagnetismo facilita muchos aspectos de nuestra vida y da un margen más amplio para la comprensión sobre diferentes aspectos de las ciencias y la tecnología ampliando los conocimientos de estos.

- Anteriormente era común ir enriqueciendo los procesos principalmente mecánicos, ya que en ellos se centrada gran parte de la cotidianidad en cierta época, pero el mundo actual está lleno de aparatos tecnológicos, donde la mayoría tiene implícito algún proceso electromagnético, y hacen la vida un poco más sencilla, hasta depender de ese, por lo que se hace importante comprender el papel que el electromagnetismo juega en nuestras vidas y por tanto, estudiarlo y comprenderlo tiene mucho valor para entender gran parte del mundo actual y desenvolverse adecuadamente en este.

Conclusiones de orden experimental

La actividad experimental en las clases de ciencias tiene un papel muy importante, a la vez que puede motivar a los estudiantes a su estudio, y por ello, las actividades planteadas junto con la construcción del radiotelescopio como base, procura articular diferentes saberes (técnicas de experimentación, fenómenos ondulatorios, espectro electromagnético, entre otros), todo esto teniendo en cuenta el papel de la astronomía, y en ese aspecto, donde la práctica y el uso de diferentes aparatos contribuye a un manejo más a fondo de diferente información, así como una mejor apropiación de esta.

Es en este punto donde la construcción del radiotelescopio tiene una gran importancia, y puede ser llevado al salón de clases como medio no solo para abarcar conceptos astronómicos, sino con base en indagar en diferentes temáticas, como las ondas electromagnéticas, y en este caso particular las ondas de radio:

- El radiotelescopio juega un papel muy importante dentro de la radioastronomía logrando comprender y recoger información que sustenta esta; y su construcción, que aunque sencilla, conlleva comprender diversos conceptos físicos principalmente en ondas electromagnéticas, en particular ondas de radio, por lo cual es importante un estudio riguroso de estas para poder elaborarlo.
- La recolección de información con el radiotelescopio evita grandes inconvenientes principalmente atmosféricos para la observación, contrario a la óptica, además que es posible elaborarlo con instrumentos sencillos, a bajo

costo, y de fácil adquisición; de modo que, un estudio accesible por medio de este aparato se puede realizar en cualquier contexto, y aquí es donde las instituciones educativas juegan un papel muy importante al permitir que de manera práctica se puedan abarcar conceptos y temáticas diversas.

4.3. Recomendaciones

Debido a que la estrategia no se logró llevar a cabo, se hace preciso mencionar algunas recomendaciones para una posible implementación:

- La propuesta está diseñada para abarcar la mayor cantidad de sesiones posibles o para que sea tratado como un tema transversal en el estudio del electromagnetismo, ya que al involucrar un gran gama de conceptos, es necesario dedicar bastante tiempo e intentar no presionar a los estudiantes, y a que manejen su ritmo, pero sin retrasar su proceso y procurando que todos los equipos de trabajo vayan iguales y se puedan colaborar unos a otros.
- Es necesario motivar constantemente el trabajo que los estudiantes van realizando, de modo que sea llamativo para ellos tratar los temas planteados, desarrollando así las actividades por gusto y no obligación. Además, es importante que estas se lleven a cabo en lugares amenos para los estudiantes, generando un ambiente cómodo y agradable de trabajo.
- La construcción del radiotelescopio debe ser un proceso clave del trabajo, y es en esta donde se deben poner en práctica y complementar los conocimientos adquiridos a través de cada una de las actividades y no como algo aparte o para finalizar el proceso, y es importante que tanto docente como estudiantes comprendan esto para así tener un trabajo más enriquecedor para todos.
- Las variadas temáticas que se pueden trabajar con la propuesta pedagógica planteada incluyen desde astronomía, ondas, ondas electromagnética y electromagnetismo que por lo general se manejan a lo largo de las clases de física en colegio, pero también otras como espectro electromagnético, radiación electromagnética y ondas de radio, entre otras que por lo general no son tomadas en cuenta, por lo que es necesario tenerlo presente a la hora de realizar la implementación.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antón, M. (s.f.). Ondas electromagnéticas. EUO. Departamento de óptica.

Atacama Large Milimeter Array (ALMA). (s.f.). ALMA en la escuela. Observatorio Europeo Austral (ESO), Asociación Astronómica Internacional (NOAJ), Observatorio Nacional de Astronomía Radial (NRAO). Basado en: “El Universo invisible” de Universe Awareness (UNAWA) y “Explorando nuestros orígenes cósmicos - Material educativo sobre ALMA” de (ESO).

Belendes, A. (2008). La unificación de luz, electricidad y magnetismo: la “síntesis electromagnética” de Maxwell. Departamento de Física. Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal. Universidad de Alicante. Alicante, España.

BRESSER, Group of companies (s.f.). Manual de astronomía. Recuperado de <https://www.bresser.de/c/es/support/teleskop-fibel/manual-de-astronomia/>

Calvet, E. (s.f.). Las maravillas del cosmos. Astronomía general divulgada. Tomo 1. Editorial Plus Ultra. Aldus S.A. de artes gráficas. Madrid.

Cennushi, F. & Codina, S. (1974). Panorama de la radioastronomía moderna. Departamento de astronomía. Facultad de humanidades y ciencias. Universidad de la república. Montevideo, Uruguay. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington, D.C.

Centro Nacional de Física de Partículas, Astropartículas y Nuclear (CPAN). (2010). IV concurso de Divulgación Científica. Proyecto propuesto por José Luis Lombardero Piñeros.

Díaz, J. (2017). Diseño de un radiotelescopio para el estudio de tormentas solares con el receptor de radiofrecuencia callisto. Escuela técnica superior de ingeniería de telecomunicación universidad politécnica de Cartagena. Trabajo de grado Ingeniería de Telecomunicaciones.

EcuRed. Astronomía. <https://www.ecured.cu/Radioastronom%C3%ADa>. S.f.

El Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM). (s.f.). Las estrategias y técnicas en el rediseño. El método de proyectos como técnica didáctica. Vicerrectoría académica, Instituto tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

Fernández, A. (s.f.). Aplicación de una metodología activa para la formación en competencias: Aprendizaje Orientado a Proyectos. Proyecto de innovación metodológica y/o evaluadora. Memoria. Con la participación de: Gonzáles, J. & otros.

GeoCastAway. 29 de enero de 2018. ¿Qué es la Astronomía? Ecured.cu. de <https://www.youtube.com/watch?v=XjcEYANHVPm>

Gómez, P. & Gonzales, E. (2012). Las ecuaciones de Maxwell.

Hincapié, J. (2016). Diseño y Construcción de un Radiointerferómetro Solar de dos elementos. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de ingeniería y electrónica. Facultad de ingeniería. Bogotá, Colombia.

Johnson, D., Johnson, R. & Holubec, E. (1994). El aprendizaje cooperativo en el aula.

Luna, A et al. (2013). Manual de construcción de un radiotelescopio en la banda de 12ghz para usos docentes. Coordinación de Astrofísica. INAOE (Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica). Puebla, México.

Luque, J. (s.f.). Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico. ACTA (Autores científicos-técnicos y académicos).

Madrid Deep Space Communications Complex (MDSCC). (s.f.). Radioastronomía. Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA). Se encontró en https://www.mdsc.nasa.gov/index.php?Section=Hra_y_radiotelescopios y <https://www.mdsc.nasa.gov/index.php?Section=Radioastronomia>

Morcillo, C. (2015). La experimentación en la enseñanza de las ciencias para docentes en formación inicial: un caso de microbiología. Una mirada desde la historia de las ciencias. Universidad del Valle. Instituto de educación y pedagogía. Licenciatura en educación básica con énfasis en ciencias naturales y educación ambiental. Santiago de Cali.

NASA (National Aeronautical and Space Administration). (s.f.). Manual de Astronomía.

Oster, L. (1984). Astronomía Moderna. Original de Editorial Holden Day, Inc. San Francisco. Versión española por: José Chabás Bergón. Editorial Reverté, S.A. Barcelona, España.

Palomar, R. (2013). Enseñanza y aprendizaje de la astronomía en el bachillerato. Universidad de Valencia. Departamento de didáctica de las ciencias experimentales y sociales. Tesis doctoral.

Proyecto Académico con el Radio Telescopio de NASA en Robledo (PARTNER). (2003). Curso de iniciación a la Radioastronomía. LAEFF-INTA. Madrid.

Rosenberg, M., Russo, P., Bladon, G. & Lindberg, L. (2013). ¿Por qué es importante la astronomía? Unión astronómica Nacional. Traducido por: María Jesús Martínez (IAC).

Sánchez-La Fuente, E. (2013). Radiación infrarroja y Fondo Cósmico de Microondas (CMD). Observatorios Espaciales Hershel y Plank. Reportaje.

UNED (Universidad Nacional de Educación a Distancia). (2011). Enseñanza. Enseñanza y divulgación de las ciencias. Introducción a la radioastronomía. Facultad de Ciencias.

UNESCO (United Nations Education Scientific and Cultural) & IAU (International Astronomical Union). (2009). Astronomía.

Universidad Politécnica de Madrid (UPM). (2008). Aprendizaje Orientado a Proyectos: Guía rápida sobre nuevas metodologías. Servicio de innovación educativa.

Vera, A. (2012). Explorando las ondas: una propuesta didáctica para la enseñanza - aprendizaje de algunos conceptos básicos del movimiento ondulatorio. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Tesis presentada como requisito parcial para optar por el título de Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales. Director: Magister en Ciencias Francisco Julián Betancourt Mellizo. Bogotá, Colombia.

6. ANEXOS

6.1. Anexo 1: Traducción texto escrito por Karl Jansky en 1933

Publicado en Astrophysics Data System (ASD). <http://adsabs.harvard.edu/full/2005ASPC..345....3J>

ESTUDIOS DIRECCIONALES DE ATMÓSFERAS A ALTAS FRECUENCIAS

RESUMEN: Se describe un sistema para registrar la dirección de llegada e intensidad de las ondas cortas estáticas. El sistema consiste en un conjunto de antenas direccionales rotatorias, un doble receptor de detección y un registrador automático operado con energía. La operación del sistema es tal que la salida del registrador se mantiene constante a pesar de la intensidad de la estática.

Los datos obtenidos con este sistema muestran la presencia de tres grupos separados de estática: Grupo 1, estática de tormentas eléctricas locales; Grupo 2, estática de tormentas eléctricas distantes; y Grupo 3, Un tipo de silbido constante de origen desconocido.

Se dan curvas que muestran la dirección de llegada e intensidad de la estática del primer grupo trazado en contra la hora del día y por varias tormentas eléctricas diferentes.

La estática del segundo grupo se encontró que correspondía a ondas largas en la dirección de llegada y se escuchan solo cuando las ondas estáticas largas son muy fuerte. La estática de este grupo proviene la mayor parte del tiempo de direcciones que se encuentran entre el sureste y el suroeste como hace las ondas estáticas largas.

Se dan curvas que muestran la dirección de llegada de la estática del tercer grupo trazadas en contra la hora del día. La dirección varía gradualmente a lo largo del día yendo casi por completo a lo largo de la brújula en 24 horas. La evidencia indica que la fuente de la estática es de alguna manera asociada al sol.

INTRODUCCIÓN

Por algún tiempo varias investigaciones han hecho registros de un tipo u otro de la dirección de llegada de la estática en longitudes de onda largas. Watson Watt ha hecho un exhaustivo

estudio de la dirección de llegada de estática en Inglaterra. Otros trabajos después de él han usado aparatos similares al suyo en Australia y África. Captain Bureau ha hecho un trabajo considerable sobre el estudio de la estática en Francia. En este país, L. W. Austin con E. B. Judson trabajaron en el trabajo del problema de las ondas estáticas largas. Harper y Dean, también en este país, hicieron un estudio de la llegada de ondas estáticas largas en Maine. Un pequeño trabajo, sin embargo, se ha estado haciendo en la dirección de llegada de la estática de ondas cortas y muy cortas con la excepción de una serie de observaciones hechas por Mr. Potter es descrita en su documento sobre ruido de ondas cortas.

Desde la mitad de Agosto de 1931, se han tomado registros en Holmdel, N. J., de la dirección de llegada y la intensidad de estática de 14,6 metros. La Fig. 1 muestra un diagrama esquemático de un sistema de grabación. Este consiste en un sistema de antena rotacional, un conjunto de medición de ondas cortas, y un registrador de temperatura Leeds y Northrup renovado para registrar intensidades de campo.

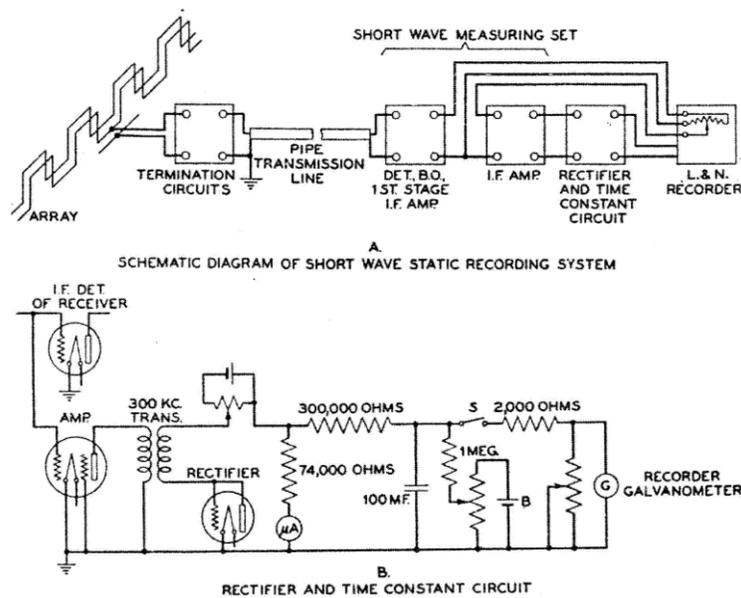


Fig. 1

La antena rotacional, de la cual se muestra una fotografía en la Fig. 2, es un sistema de antenas (matriz) receptor de dos longitudes de onda de lado ancho tipo Bruce hecha de tubo de latón de $\frac{3}{4}$ de pulgada. La matriz fue diseñada para operar sobre una longitud de onda de 14.5 metros. Como se muestra en la fotografía está montada sobre un marco de madera que a su vez es montado en un conjunto de cuatro ruedas y un pivote central. La estructura está

conectada por un accionamiento por cadena a un pequeño motor síncrono que se redujo para que la matriz haga una rotación completa una vez cada 12 minutos.

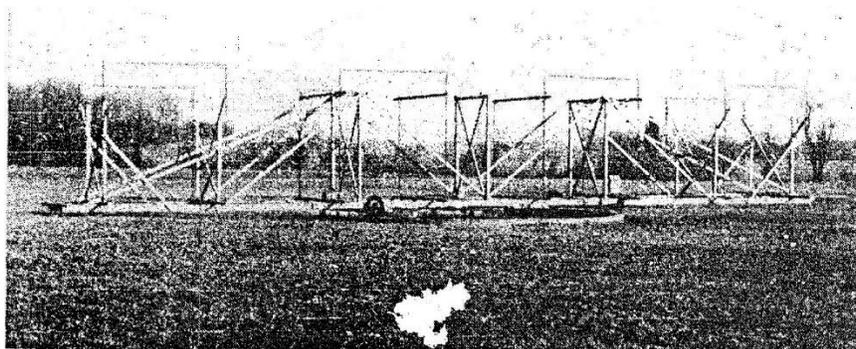


Fig. 2—Short-wave rotating antenna array.

Ya que la estática en ondas cortas es extremadamente débil la mayor parte del tiempo, el sistema de grabación tiene que ser muy sensible; tan sensible que el primer ruido del circuito del receptor es registrado. A cuenta de la interferencia la cual es encontrada sobre los 14,5 metros, esto fue necesario para operar el sistema sobre longitudes de onda de 14,6 metros. Esto, sin embargo, hace pequeñas diferencias en la directividad de la matriz, la característica direccional de estas longitudes de onda se muestra en la Fig. 3.

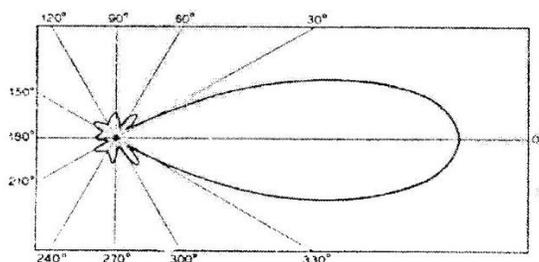


Fig. 3—Directional characteristic of array at 14.6 meters.

El equipo de terminación de la matriz está alojado en una caja colocada sobre la matriz y es conectado al conjunto de medición en una pequeña casa de cerca de 275 pies (83,82 metros) de distancia por medio de 3/8 de pulgada de línea transmisión de tubo concéntrico de cobre enterrada a 6 pulgadas en el suelo. La Fig. 4 es un diagrama esquemático de la matriz, el equipo de terminación y la línea de transmisión del tubo de cobre.

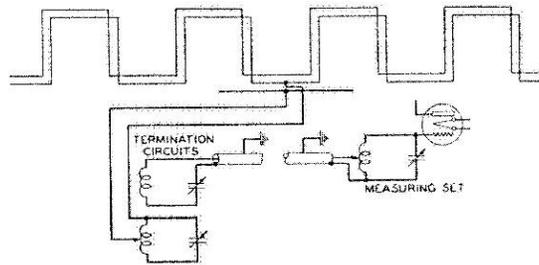


Fig. 4—Schematic diagram of array, termination, and pipe transmission line.

La Fig. 5 es una fotografía del interior de la casa, muestra dos receptores con sus grabadores asociados. Los aparatos de la derecha es el sistema de registro de la onda corta. A la izquierda está el sistema de registro de onda larga, los registros que fueron usados para comparar con los del sistema de ondas cortas. El sistema de antenas de onda larga consiste en un circuito rotacional y una antena estacionaria tipo L dando la familiar característica direccional de la forma cardioide.

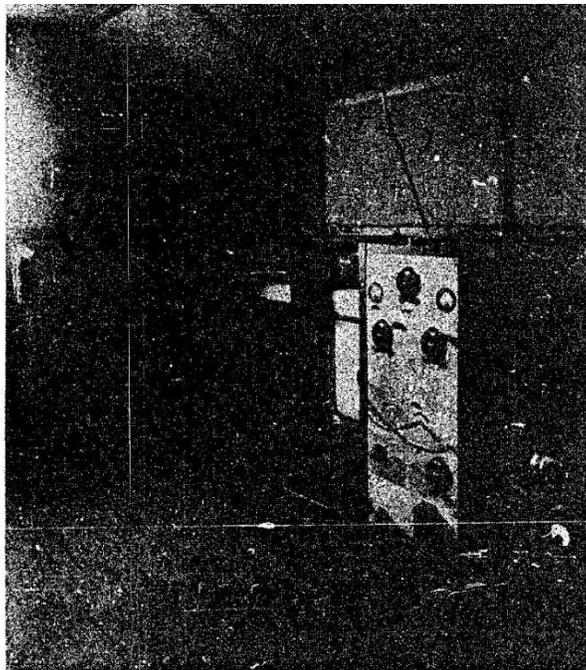


Fig. 5—Long- and short-wave static recording systems.

El receptor usado es un conjunto de medición de intensidad de campo de onda corta del tipo de doble detección que se describió hace algún tiempo.

La salida de este receptor es conectada mediante un circuito con un largo tiempo constante del receptor Leeds and Northrup la operación de la cual es discontinua. Esto cambia

automáticamente la ganancia del receptor al final de intervalos de 10 segundos de tal manera que la salida del receptor se mantiene constante. La ganancia es cambiada por medio de un potenciómetro no inductivo insertado en el amplificador de frecuencia intermedia. Este potenciómetro reemplaza el alambre deslizante encontrado en los registradores de temperatura estándar. El bolígrafo hace un registro continuo de la posición del brazo del potenciómetro y este registro puede ser calibrado al obtener la dirección de la intensidad de campo.

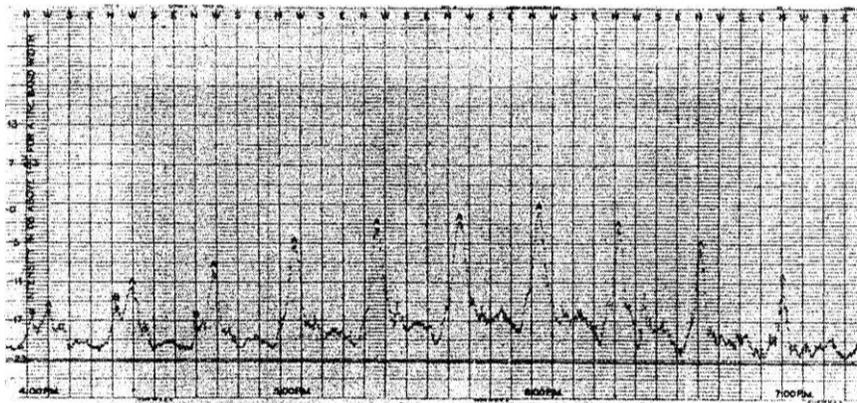


Fig. 6—Sample record of local thunderstorm static on short waves. August 27, 1931.

La operación del receptor es como sigue: Para un periodo de 9 segundos la salida rectificada del conjunto carga el condensador con 100 microfaradios a través de la resistencia de 300.000 ohmios, ver Fig. 1B, la carga es proporcional a la energía recibida por la estática durante 9 segundos siempre que el rectificador sea un dispositivo de ley cuadrada. Durante el mismo tiempo la batería B carga el condensador en el sentido opuesto de la estática. La batería B y la resistencia asociada son ajustadas para que así no haya cambio en la estática promedio en el periodo de 9 segundos el cambio resultante en el condensador es cero. Al final del intervalo el interruptor S es cerrado por una cámara en el eje receptor y el condensador es descargado a través del galvanómetro registrador. Si el nivel de la estática no cambia durante el intervalo no cambiará la carga en el condensador y, por lo tanto, el galvanómetro no se deflactará y la ganancia del receptor permanecerá sin cambios. Si el nivel de la estática incrementa o decrece el galvanómetro mostrará una correspondiente deflexión y el mecanismo de registro decrecerá o incrementa la ganancia del conjunto acordeamente.

En el sistema usado el rectificador no es exactamente un dispositivo de “ley cuadrada” siendo un rectificador de dos elementos en serie con una resistencia; sin embargo, como fue operado con una muy pequeña corriente (5×10^{-6} amperios) se aproximaba a la ley cuadrada lo suficientemente precisa para el presente propósito.

RESULTADOS

Para los datos obtenidos se encontraron tres grupos distintos de estática que se registran. El primer grupo está compuesto de la estática registrada por tormentas eléctricas locales y centros de tormenta. La estática en este grupo es casi siempre del tipo choque. Esto es muy intermitente, pero los choques a menudo tienen picos de voltajes muy altos. El segundo grupo está compuesto de estática débil muy estable que viene probablemente de refracciones capa de Heaviside para tormentas eléctricas a cierta distancia. El tercer grupo está compuesto de un silbido muy constante tipo estática, el origen de este no se conoce.

Durante el tiempo que se han hecho los registros, la estática del primer grupo que surge de varias tormentas eléctricas locales ha sido registrada y estudiada. Los datos de algunos registros típicos de estas tormentas han sido reportados y son mostrados en las Figs. 7, 9, 10, 11 y 12. En estas figuras la curva superior muestra la dirección de llegada de la corriente principal o corrientes de estática trazada contra el tiempo y la curva inferior muestra la intensidad de estas tormentas en el tiempo correspondiente. En adición la corriente principal que se muestra es usual en otras corrientes menores, pero estas son difíciles de mostrar en debido detalle para interferencia de estática aleatoria para chubascos (aguaceros) locales los cuales se presentan generalmente durante estos periodos. La Fig. 6 es una sección del típico registro de este tipo de estática. Este es el registro del 27 de Agosto de la cual la Fig. 7 es la réplica. Los picos marcados A indican la posición de la tormenta principal. Esta marca B muestra la posición de una de las tormentas menores.

La Fig. 7 muestra los datos obtenidos en este registro. Esta representa una fuerte tormenta eléctrica que pasan cerca de Holmdel en la noche. Durante las horas de la tarde la tormenta procede de varios aguaceros. La estática de estos aguaceros fue registrada, pero esto es poco de ellos y la dirección de cada cambio tan rápido (como puede ser observada visiblemente) que no fue posible observarlo en los receptores. Durante final de la tarde y cerca de las horas

de la noche la estática del sur se hizo más fuerte que los aguaceros locales indicando que definitivamente una tormenta central se formó aquí o que se acerca dentro del rango del receptor desde esa dirección. A partir de entonces, este centro de tormenta no muestra un camino resto, pero, como se muestra por los registros, rodeó el receptor y desapareció en el noroeste. La manera en que la intensidad incrementó y decreció mientras pasaba la tormenta se muestra claramente en la curva inferior de la figura.

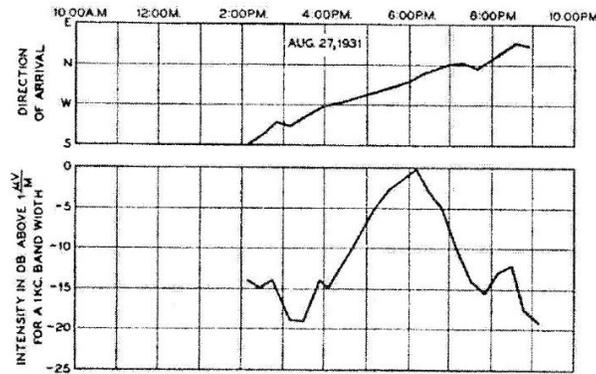


Fig. 7—Direction of arrival and intensity of local storm type static on 14.6 meters.

Para el propósito de comparación, la Fig. 8 muestra la réplica del registro de ondas largas para el mismo día. Note que la proporción de la intensidad de la estática de ondas largas en microvoltios por metro para un ancho de banda de 1 kilociclo para el de estática de onda corta era 63 dB cuando la tormenta era más fuerte. Esta proporción es probablemente también un poco alta porque el dispositivo rectificador no era verdaderamente “ley cuadrada”. Si nosotros asumimos la ley inversa a la frecuencia para la intensidad de la estática esta proporción debe tener 53,5 dB.

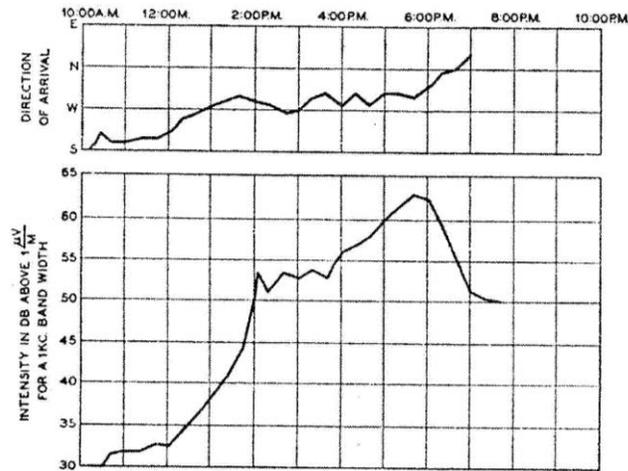


Fig. 8—Direction of arrival and intensity of local storm type static on 6936 meters. August 27, 1931.

La Fig. 9 muestra los datos obtenidos para el registro de un bien definido centro de tormenta que viaja en línea recta o casi recta hacia el receptor. Esta estática vino del oeste cercano en la tarde, continuó viniendo de esta dirección mientras la tormenta se acercaba, y entonces la tormenta pasando Holmdel cambió rápidamente la dirección desde el oeste hacia el noroeste y del norte al noreste donde permaneció mientras la tormenta retrocedía hasta que la estática no era lo suficientemente fuerte para ser registrada. Una tormenta menor procedente de la principal por aproximadamente una hora como se muestra por la curva corta procedente de la principal. La tormenta principal puede estar cercana pasando Holmdel del horizonte septentrional, pero en ningún momento se acercó más de 15 millas.

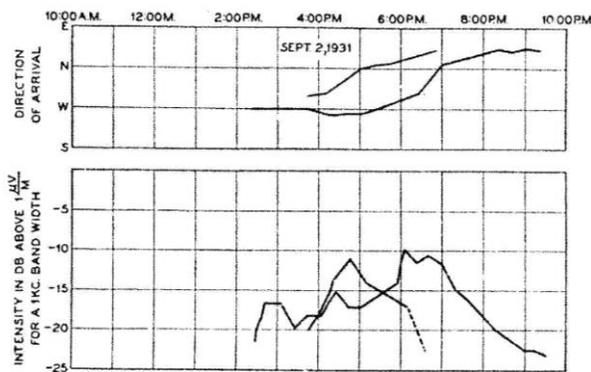


Fig. 9—Direction of arrival and intensity of local storm type static on 14.6 meters.

La Fig. 10 muestra los datos obtenidos por el receptor pequeños centros de tormenta, pero bien definidos que muestran una a la otra en rápida sucesión. En ese día, varias pequeñas tormentas eléctricas pueden verse pasar a lo largo del horizonte septentrional.

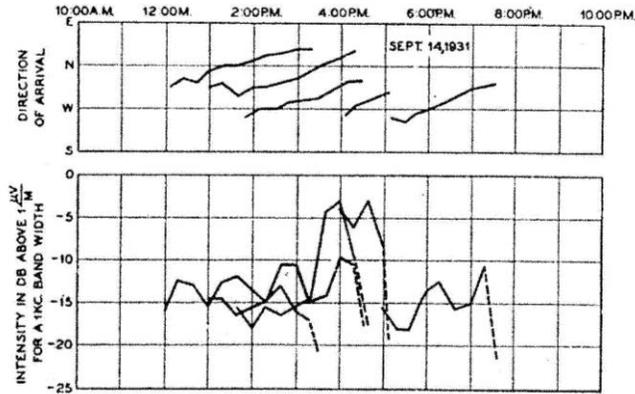


Fig. 10—Direction of arrival and intensity of local storm type static on 14.6 meters.

Hasta ahora de los registros discutidos han sido de tormentas que se acercan desde el suroeste u oeste y pasa al noroeste del receptor. La Fig. 11, por otra parte, muestra los datos del registro de dos tormentas ocurridas el mismo día que se acerca desde el sur y pasa al receptor del sureste.

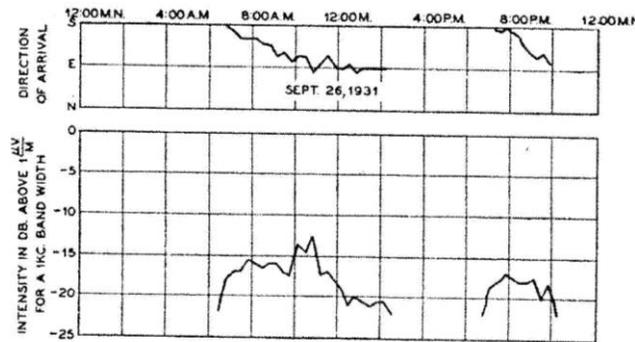


Fig. 11—Direction of arrival and intensity of local storm type static on 14.6 meters.

Finalmente, la Fig. 12 muestra los datos de un receptor de una tormenta que se acerca al receptor desde el oeste y se divide, parte de ella pasando por el norte y parte por el sur del receptor.

Para esta figura es evidente que el promedio de las tormentas eléctricas son audible por cuatro horas después y cuatro horas antes que alcanzaran Holmdel. Tomando 35 millas como velocidad promedio de una tormenta eléctrica esta obtiene una distancia de 140 millas desde el centro de la tormenta estaba distante de Holmdel cuando la estática todavía puede ser oída.

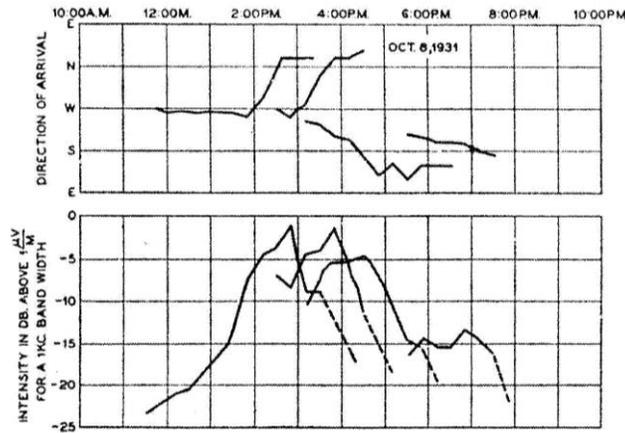


Fig. 12—Direction of arrival and intensity of local storm type static on 14.6 meters.

También es digno de mención que de lejos la mayoría de tormentas vienen del suroeste y oeste y pasan al norte del receptor con solo una ocasión que pasa al sur y sureste. Las direcciones entre el sureste y el noreste parecen estar libre de este tipo de estática en Holmdel y antenas direccionales construidas allí para recibir desde estas direcciones en ondas cortas de ben tener problemas con estática solo con poca frecuencia. Por supuesto, esto no necesariamente se sostiene con otras ubicaciones receptoras. Localizaciones en algunas secciones, por ejemplo, haría probable recibir una igual cantidad de este tipo de estática de todas las direcciones.

La estática del segundo grupo, que probablemente se original en largas distancias, son usualmente muy débiles de 14,6 metros. De hecho, solo ocasionalmente son lo suficientemente fuerte para actuar en el receptor. Debido a esto, muy pocos registros satisfactorios son obtenidos. De los registros que se obtienen, sin embargo, y para observaciones auditivas esto determinó que la estática es de tipo chope y estruendo; esta dirección de llegada muestra muy cercana la estática de onda corta; y finalmente, se escucha solo cuando la estática de onda larga viene de tormentas eléctricas distantes muy fuertes. Esto, por lo tanto, proviene de tormentas eléctricas locales de alguna distancia del receptor. La más común dirección de llegada de esta estática, como estática de onda larga, son esas direcciones entre el sureste y el suroeste.

El 1 de Marzo de 1932, este tipo de estática era registrado por receptores de onda corta, entre las 2:30 p.m. y 3:50 p.m. Los datos obtenidos son mostrados y comparados con los obtenidos

con ondas largas en la Tabla 1. Las direcciones de llegada del para ambas, las ondas largas y cortas para este día desde el sureste. Como se muestra en la tabla, la diferencia entre la intensidad de la estática de onda larga y corta varía entre 56 y 62 dB. Estos valores deben ser probablemente algo bajos porque el rectificador no es un dispositivo de “ley cuadrada”.

TABLE 1

Time	Intensity of static in db above 1 (microvolt per meter) For a 1—kc band width		Difference
	Long-Wave	Short-Wave	
2:30 P.M.	34.0	-22.0	56.0
2:50	37.5	-24.0	61.5
3:10	37.0	-22.5	59.5
3:30	35.5	-24.0	59.5
3:50	37.0	-25.0	62.0

Ya que la estática es tan débil que no se puede registrar mucho tiempo, el método de choque de medición estática fue usado por Potter pudiendo probablemente ser usada como gran avance en la medición de esto.

La estática del tercer grupo también es muy débil. Esta, sin embargo, es muy estable, causando un silbido en los teléfonos que puede apenas ser distinguido de un silbido causado por un ruido fijo. Este es realmente distinguible de estática ordinaria y probablemente no se origina en áreas de tormentas eléctricas. La dirección de llegada de esta estática cambia gradualmente en todo el día dando casi una vuelta a la brújula en 24 horas. Esta no completa el círculo, pero en la mitad de la noche cuando alcanza el noreste comienza aparecer en el receptor. Esta nueva estática luego cambia gradualmente la dirección durante el día y se extingue en el noroeste, esta comienza a extinguirse y en el mismo tiempo la estática del noroeste comienza aparecer en el receptor. Esta misma estática entonces, cambia gradualmente la dirección durante el día y se extingue en el noroeste además y el proceso se repite día tras día. La Fig. 13 muestra la dirección de llegada de esta estática de tres días diferentes trazado en contra de la hora del día. La curva 1 es del 2 de Enero de 1932, a curva 2 es del 26 de Enero de 1932, y la curva 3 es del 24 de Febrero de 1932. La Fig. 14 es una fotografía de la sección de uno de los registros.

Este tipo de estática fue primero definitivamente reconocido solo hasta final de Enero. Previo a este tiempo había sido considerada simplemente como interferencia de algún portador no

modulado. Ahora, sin embargo, que esto se ha detectado es posible volver a los viejos registros y trazar la posición a ellos.

Durante la última parte de Diciembre y la primer parte de Enero las direcciones de llegada de esta estática coinciden, la mayor parte de las horas del día, con la dirección del sol para el receptor. (Ver curva 1, Fig. 13.) Sin embargo, durante Enero y Febrero las direcciones cambian gradualmente para que ahora (1 de Marzo) preceda la dirección del sol por más de una hora. Se notará que las curvas 2 y 3 de la Fig. 13 tienen cambios a la izquierda. Desde Diciembre 21, los rayos del sol han estado más y más perpendiculares al lugar de recepción causando amanecer que ocurre cerca y más cerca del receptor cada día. Parecería que le cambio en la latitud del sol está conectado con los cambios de posición de las curvas, Sin embargo, los datos por ahora solo cubren observaciones tomadas unos pocos meses y más observaciones son necesarias después y duras y rápidas deducciones pueden ser dibujadas.

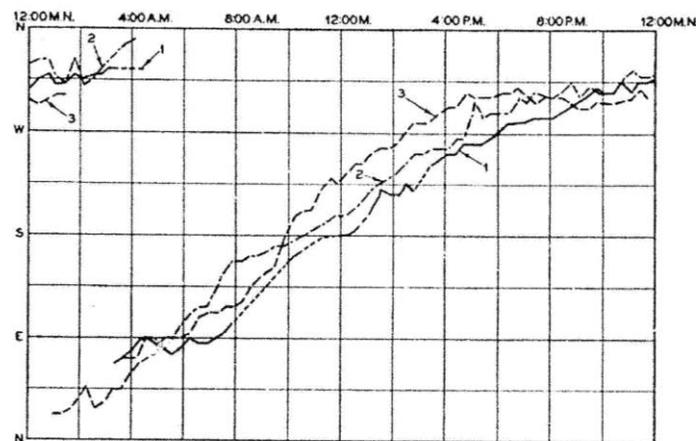


Fig. 13.—Direction of arrival of hiss type static on 14.6 meters.

El hecho que las direcciones de llegada cambien casi 360 grados durante 242 horas y que el cambio en la posición de la curva observada durante tres meses sobre los datos que se han tomado corresponde al cambio en latitud del sol ofrece una indicación que la fuente de esta estática es de algún modo asociada con la posición del sol. Puede ser que la estática venía de la dirección del sol o, más probablemente, podía venir del punto subsolar de la tierra.

La intensidad de esta estática nunca es muy nocturna. En ningún momento durante el periodo que se han tomado registros ha excedido los 0.39 microvotios por metro para un ancho de

banda de 1 kilociclo. Como se notará en el registro (Fig. 14), sin embargo, se presenta durante por el contrario en periodos tranquilos es indistinguible.

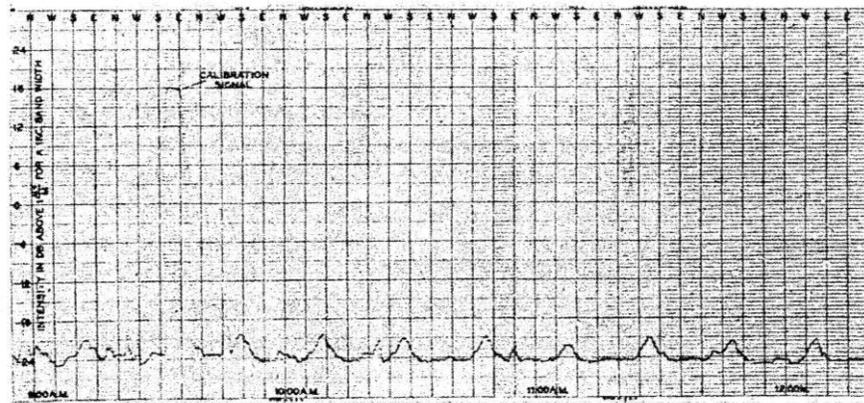


Fig. 14—Sample record of short-wave hiss type static.
February 24, 1932.

Los experimentos que se han descrito es este documento son llevados a cabo en Holmdel, Nueva Jersey. El escritor desea agradecerle al Sr. Friis su deuda por estas útiles sugerencias.

6.2. Anexo 2: Propuesta didáctica



**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA
NACIONAL**

Educadora de educadores

**Universidad Pedagógica Nacional
Facultad de Ciencia y Tecnología
Licenciatura en Física**

Leidy Lorena Pedraza Ahumada

RESUMEN

En el presente documento se realiza una propuesta metodológica que puede ser usado como medio para la explicación del tema acerca de las ondas electromagnéticas, específicamente de las ondas de radio, abordándolo principalmente desde el ámbito experimental y utilizando la Radioastronomía para afianzar los conocimientos que se presentan. La propuesta se piensa para estudiantes de último grado de colegio (undécimo) en el área de Física o para estudiantes de primeros semestres de la universidad, no solo que estudien carreras relacionadas a ciencias, sino que se pueda aplicar a cualquiera, siempre y cuando el estudiante ya haya visto temáticas tales como: carga eléctrica, flujo eléctrico, campo magnético, corriente, resistencia, fuerza eléctrica, fuerza magnética, propagación de una onda, fenómenos ondulatorios y propiedades ondulatorias principalmente.

INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo la humanidad se ha dedicado a observar y analizar el comportamiento de los astros en nuestro cielo, en un comienzo solo con la vista, lo cual fue suficiente hasta cierto punto, luego con la llegada de los monóculos y posteriormente del telescopio se fueron abriendo nuevas técnicas de observación, pero en su momento fueron simplemente en el ámbito óptico. Posteriormente, con el descubrimiento del espectro electromagnético se va agrandando el camino y las maneras en que se puede ver.

Partiendo del estudio de las Ondas Electromagnéticas es posible llegar a esta gran gama de Espectros y además se logra comprender un poco más las primeras. Una parte que permite un estudio detallado de todo ello es por medio de las Ondas de Radio, las cuales componen el rango más amplio y diverso del Espectro Electromagnético, además, de ser el generador de la gran parte de comunicaciones terrestres y de abrir un nuevo campo de estudio

dentro de la astronomía, denominado Radioastronomía y que por medio del conocimiento del Radiotelescopio permite comprender lo ya mencionado.

Es así que, en aras de aproximar a los estudiantes a las principales características y funciones de las Ondas Electromagnéticas, centrado en el Espectro Electromagnético, y más específicamente las Ondas de Radio se busca realizar una serie de actividades que faciliten este proceso. Esta serie de actividades se enfocan en gran parte en la observación del cielo con diferentes métodos, que no solo involucran la óptica. Además, que se involucran diferentes temas en uno solo, y llevándolos al contexto real de cada uno de los estudiantes se les hará más sencillo interiorizarlos.

En general en esta propuesta no se involucran ecuaciones ni planteamientos matemáticos formales, lo cual genera que las actividades sean más de tipo fenomenológico, donde el estudiante logre comprender lo que sucede en cada caso sin involucrar nada más allá de su experiencia, o hechos que puedan entenderse en la realidad. Esto ya que *“muchos alumnos piensan que el conocimiento científico se articula en forma de ecuaciones y definiciones que tienen que ser memorizadas más que comprendidas”* (CAMPANARIO & MORA, 1999, p.1) pero esto no tiene porque ser así, pues muchas veces ello solo lleva a problemas que repercuten en la enseñanza de las ciencias.

Desde esta perspectiva, la propuesta está fundamentada desde el Aprendizaje Cooperativo, basado en grupos de trabajo en los cuales se busca el apoyo mutuo entre docentes, donde el docente presenta las actividades y sirve como mediador y orientador entre el conocimiento y los estudiantes. Además, de tomar aspectos importantes de Aprendizaje Orientado a Proyectos (AOP).

OBJETIVO GENERAL

Propiciar el aprendizaje del estudio de Ondas Electromagnéticas, en especial de las Ondas de Radio por medio de actividades enfocadas en la Observación Astronómica.

COMUNIDAD

Es una propuesta está pensada para estudiantes que ya cuenten con los primeros acercamientos a el área de física, por ello iría dirigido principalmente a estudiantes de grado once y de universidad, no solo aquellos que estudian alguna carrera relacionada con ciencia, sino se espera que sirva a cualquiera que quiera tener un conocimiento más amplio sobre conceptos relacionados sobre Ondas Electromagnéticas, en especial Ondas de Radio.

Alcance de la propuesta

En esta propuesta se espera que los estudiantes logren una aproximación a los conceptos de Ondas Electromagnéticas, en especial las Ondas de Radio propiciando de este modo

JUSTIFICACIÓN

Los temas relacionados a ondas electromagnéticas pocas veces se toman en cuenta en las áreas de física del colegio, y en la universidad solo se toma en un par de cursos y nunca se relaciona este con la Astronomía, es decir que muchas cosas quedan sin ver. Abarcando desde el colegio, solo se toca los que son las ondas en general sin ahondar mucho en sus explicaciones y en conceptos que pueden ser muy importantes en la comprensión de estos temas.

De este modo, cuando el estudiante razona *“sobre los fenómenos naturales que lo rodean y tratar de explicarse las causas que los provocan, se pretende que evolucionen las concepciones del niño sobre el medio, pero sobre todo que se desarrolle su actitud científica y su pensamiento lógico”* (CANDELA, 2001, p.1). Es así que cuando los estudiantes experimentan cierta concepción física desde su contexto se les es más sencillo apropiárselas, y tomar una actitud crítica frente a ellas, de modo que no sea una simple creencia en lo que dicen los docentes, científicos e incluso los libros de texto y artículos, es más una constante confrontación de las leyes, teorías y conceptos que se le pueden presentar, siempre sustentados en hechos de la vida.

Esto lo expone MORCILLO (2015, p.28) al hablar que la tarea *“del científico y la comunidad científica en general está determinada por debates, polémicas, necesidades personales e intereses sociales, esto es, preguntarse por sus problemas fundamentales, la*

naturaleza del método, el papel del experimento, la validez y legitimidad del conocimiento” es decir, que el conocimiento científico no está dado en todo su conjunto, siempre se puede analizar y confrontar con ideas que se tengan, no es algo ya dicho sin oportunidad de refutar, enriquecer o contradecir y dentro de esto el experimento juega un papel de gran importancia.

Referente al tema que compete este trabajo, desde la antigüedad a todos les ha llamado la atención el observar el cielo, e incluso en la actualidad esto se muestra tanto en pequeños a grandes, además que *“La Astronomía y los temas relacionados con ella son la vanguardia de la ciencia y la tecnología, resolviendo cuestiones fundamentales sobre nuestra existencia y sobre el Universo en el que vivimos”* (Rosenberg, Russo, Bladon & Lindberg, 2013, p.1) además que abarca muchos temas a los que simplemente se han abarcado, como la observación desde la óptica (principalmente).

Es momento de desligarnos de esa mirada de la Astronomía, que, aunque es importante, es bastante insuficiente en muchos casos. En la actualidad existen nuevas ramas de estudio dentro de ella, y desde los cuales es posible comprender temas que incluso se tenían como complejos. La sociedad actual avanza a pasos gigantes, y es por ello que hay que florecer junto con ella y principalmente de la enseñanza, buscando nuevas y mejores formas de hacerlo.

Por último, varias de las actividades planteadas en la presente propuesta se encuentran en marcadas de acuerdo a lo expuesto en un documento elaborado por el programa PARTNER (Proyecto Académico con el Radio Telescopio de NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio) en Robledo), en el cual se proponen una serie de actividades para ser llevadas a cabo en instituciones educativas para que los estudiantes comprendan qué es la Radioastronomía y sus aplicaciones en la actualidad; de este modo se convierte en una muy buena guía para llevar a un aula de clases.

MARCO TEÓRICO

Desde la antigüedad el hecho de observar y comprender lo que sucede el cielo ha sido un gran problema de estudio, pero no solo bastaba con lo que vemos a plena vista sino que se empezó a ir más allá, siendo algo que abarcó cientos de años, e incluso nos afecta en

la actualidad. Es por ello que, con el surgimiento de distintos conocimientos, herramientas y desarrollos teóricos se permitió que áreas como la astronomía progresaran cada vez más y *“Con el desarrollo de los telescopios astronómicos, los seres humanos pudieron ver cada vez más allá en el espacio”* (BRESSER, s.f.), pero esto no fue suficiente, pues debido a que para este tipo de exploración *“se usa solo el espectro visible, justo lo que sus ojos pueden ver, y esa es una pequeña porción”* (Hurley, N, s.f.), es por ello que se vio la necesidad de ir más allá y explorar con otro medio diferente a los conocidos. Por tal motivo, se sigue trabajando en nuevos campos de investigación, pero solamente unos pocos métodos involucran algo diferente a la óptica.

Lo anterior nos lleva a explorar en áreas nuevas, como lo es la fotografía, y ya que desde Herschel y Daper al descubrir la radiación infrarroja y ultravioleta, con el descubrimiento de las ondas de radio, de los rayos X entre otros, se abrieron nuevas posibilidades a la observación.

Entre estas, se destacarán las ondas de radio, descubiertas en 1932 por Karl Jansky y estudiadas posteriormente por Rebel. Este tipo de ondas tienen una longitud de onda comprendida entre menos de 1 mm y más de 1000 km, y una frecuencia con un rango aproximadamente entre 3 Hz y 3×10^{12} Hz, las cuales se usan principalmente para la televisión, radio y otros sistemas de comunicación. Esto permite realizar una caracterización más amplia de lo correspondiente a Ondas Electromagnéticas y de diferentes conceptos.

Por una parte, se tienen características propias de toda onda, la cual tiene una propagación en forma sinusoidal que oscila respecto a un punto de equilibrio. De este modo, las ondas tienen ciertas propiedades como la Amplitud, longitud de onda, frecuencia, periodo y valle y cresta que permiten esta caracterización. Pero aparte de lo anterior, las también poseen una serie de fenómenos que se pueden observar en su propagación. En este caso es posible hacer referencia a la Interferencia, la difracción, la reflexión, y la refracción. Pero además, para el caso de las ondas electromagnéticas, también se tiene la Polarización, ya que se tiene el movimiento tanto de un campo eléctrico (\vec{E}) y de uno magnético (\vec{B}) que se mueven uno perpendicular al otro.

Todos estos conceptos y otros más se pueden representar por medio del estudio de las ondas de radio, y además permiten una comprensión más profunda de lo que implica hoy en día la astronomía y abarcar estas nuevas técnicas de observación. Es decir, la idea es ir más allá de lo que se ha mostrado siempre y buscar nuevas formas de enseñar. Es así que no hace falta solo la teoría, ya que *“la manera de presentar los experimentos no debe ser solamente descriptiva o narrativa para reforzar el papel de las teorías, sino que debe avanzar hacia la caracterización de experimentos que involucren problemáticas y que tengan una riqueza conceptual en sí mismos”* (García y Estany, citado por Morcillo, C. 2015). Es por ello, que con la caracterización por medio de diferentes actividades experimentales contribuye a un mayor afianzamiento de los conceptos físicos antes mencionados.

Es por tanto, que la actividad experimental *“se convierte en un medio para que los estudiantes tengan una forma de interactuar con las teorías científicas, desarrollar habilidades y hábitos, y sobre todo se puede convertir en un espacio distinto en el aula de clases”* (MALAGÓN, AYALA & SANDOVAL, 2011, p.108) de modo que los estudiantes puedan verse más involucrados en el proceso de su aprendizaje y construyan su propio conocimiento.

Dicha propuesta también está muy ligada, al *Aprendizaje Cooperativo*, en el cual las diferentes actividades se desarrollan por medio de equipos de trabajo, en los cuales cada participante tiene una determinada función, y de esta forma todos *“los individuos procuran obtener resultados que sean beneficiosos para ellos mismos y para todos los demás miembros del grupo”* (JOHNSON, JOHNSON & HOLUBEC, 1994, p.5). De esta manera, todo los estudiantes deben trabajar de manera que se busque un beneficio común, pero igualmente el docente es quien guía el proceso y controla las actividades que se van a realizar. Con esto se busca un apoyo mutuo entre compañeros, y un mayor compromiso de cada uno para cumplir las metas propuestas en el trabajo.

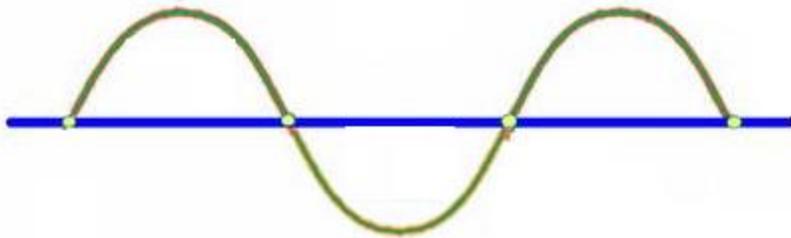
Aparte de esto, se encuentran algunos apartados sobre el *Aprendizaje Orientado a Proyectos (AOP)*, el cual se une con el anterior y agrega ciertos aspectos, como el hecho que existe un líder en cada equipo, y se busca que entreguen un producto final donde se evidencien los conceptos vistos, el cual, además de ser el radiotelescopio, también es una cartilla como fundamento de las actividades desarrolladas.

CUERPO DEL TRABAJO

A continuación se presentan una serie de actividades enfocadas a la comprensión por parte de los estudiantes de los diferentes conceptos que abarcan el trabajo, en primera medida se reforzarán diferentes conceptos e ideas referentes a ondas, para ir llegando a lo que son las ondas electromagnéticas, enfocado en el espectro electromagnético, con el cual se caracterizará las formas de observación astronómica, pasando desde la óptica hasta las Ondas de Radio, con lo que se buscará evidencias conceptos de las ondas electromagnéticas.

PRIMER MOMENTO: Ondas

Objetivo: Evidenciar algunas concepciones que tienen los estudiantes acerca de las ondas, su propagación y los fenómenos presentes en estas.



1. En un primer momento se realizará un primer acercamiento a lo que son las ondas, algunas de sus características, entre las que se incluyen sus propiedades y fenómenos. Para la cual se realizarán algunas actividades, donde la primera se centrará tipo prueba diagnóstica, donde se intentará conocer lo que saben los estudiantes acerca de los temas a trabajar.

De este modo, se generarán unas preguntas orientadoras que buscarán guiar el camino del maestro.

- a. ¿Qué crees que es una onda? Menciona algunos ejemplos.
- b. ¿Para ti cuál es la diferencia entre perturbación y onda?
- c. En la siguiente ilustración coloca las propiedades que conoces de las ondas.
- d. ¿Cómo se comporta el agua cuando cae un objeto sobre ella?
- e. ¿Qué sucede si se dejan caer dos objetos en el mismo pozo en dos puntos distintos?

- f. Si introduces un objeto en el agua, ¿lo que se observa dentro y fuera del agua es igual?
2. Ahora bien, después que los estudiantes desarrollen estas preguntas la idea es desarrollar una pequeña socialización donde se aclaren conceptos e ideas y se llegue a un acuerdo sobre lo expuesto a medida que se van mencionando cada una de las preguntas anteriormente expuestas.
 3. Ya con esto se procede a realizar una explicación más clara acerca de los ejemplos expuestos en las preguntas. Para ello se hará uso de una cubeta de ondas donde se podrán apreciar cada uno de los fenómenos de estas y además otros ejemplos. En este caso, se realizarán diferentes equipos para realizar cada una de las experiencias.

Se realizarán un total de 6 equipos o más si se cree conveniente, la idea es que no sean muy grandes, siendo cada uno de 5 o máximo 6 estudiantes por equipo. Los estudiantes por momentos realizarán unas experiencias de las cuales evidenciarán algún efecto, de manera que cada equipo realice una de estas en momentos, pero como solo son 3 experiencias, cada una la realizarán al tiempo 2 o más equipos, pero la idea es buscar que no compartan datos hasta el final de la actividad. Posteriormente se socializará entre todos para saber a qué llegó cada equipo y qué se puede recoger de cada uno. Estos equipos contarán con un líder, el cual será asignado por el docente, y tendrá como función el hecho de llevar nota a lo tratado en las clases, y que cada uno de sus compañeros tenga una función, ya que entre todos se deben colaborar para lograr un buen desarrollo de las clases. Las experiencias que se desarrollarán serán las siguientes, cada una con sus respectivas preguntas orientadoras:

4. Se experimentará con la cubeta de ondas, primero observando cómo funciona, cómo se forman las perturbaciones y probando con obstáculos a ver que cambia en la propagación de estas, intentar poniendo además dos o más obstáculos.

Preguntas

- ¿Qué cambia cuando no hay ningún obstáculo y cuando se coloca alguno?
- ¿Qué cambia con el uso de cada uno de los obstáculos puestos? De ejemplos de algunos de ellos.
- ¿Qué sucede al colocar dos obstáculos?

- ¿Qué sucede al colocar tres o más obstáculos?
- a. Utilizando un vaso con agua hasta más o menos la mitad de este se van introduciendo diferentes objetos y mirar si cambian la forma y dirección dentro del agua en comparación a cuando están fuera de ella.

Preguntas:

- ¿Cuál es la forma de los objetos antes de introducirlos en el vaso con agua?
- ¿Cambian de dirección los objetos al introducirlos en el vaso con agua?
- ¿Cambian de dirección los objetos al introducirlos en el vaso con agua?
- Realiza una gráfica que muestre lo experimentado
- b. Utilizando una cuerda, se amarra uno de los extremos a un objeto estático, como una reja o una silla o una mesa, y el otro lo sostiene uno de los integrantes del equipo, el cual la moverá de modo que se genere una perturbación y luego la dejará quieta mientras mira lo sucedido.

Preguntas:

- ¿La fuerza con que se oscile la cuerda en qué influye respecto a la perturbación de esta?
- ¿La perturbación que se observa en la cuerda solo se da en un sentido, o al llegar a la pared (o silla o mesa) se devuelve?
- ¿Qué pasaría si se tiene una cuerda más grande? ¿Cambia algo? De ser así ¿Qué cambia?
- Ahora una persona sostiene la cuerda de un lado y otra del otro extremo, ¿qué sucede en este caso? ¿Por qué creen que sucede eso?

Ya con ello, se procede a analizar lo encontrado por cada equipo en cada experiencia intentando resolver las preguntas orientadoras y además intentar llegar a lo que es Interferencia, Reflexión, Refracción y Difracción.

SEGUNDO MOMENTO: Magnetismo, electricidad y ondas electromagnéticas.

Objetivo: Realizar una primera aproximación a lo que se conoce como ondas electromagnéticas, su historia y algunos usos en la actualidad.

Para este segundo momento, se buscará realizar un primer acercamiento hacia lo que son las ondas electromagnéticas, y su diferencia con las ondas mecánicas

1. En una primera actividad se dividirá en tres momentos. En el primero centrado a comprender el magnetismo, el segundo enfocado en la electricidad, y el tercero en cómo se relacionan estos de los cuales, los dos primeros irán centrados en unas experiencias que se realizan con los mismos equipos del primer momento.
 - a. Primero se utilizará un imán y acercarlo a diferentes objetos como lápiz, bolsa, agua cayendo (llave de agua), a un metal u otras cosas, incluido otro imán.
 - b. Segundo se utilizará unos alambres para encender un bombillo led conectado a alguna batería, intentar ver en qué forma deben ir conectados los cables y porqué debe tener un sentido; y luego cortar pedazos de papel pequeños y acercar una bomba inflada después de ser frotada con el cabello de alguno de tus compañeros.
 - c. Tercero y último, utilizando una brújula, dejarla cerca de un celular y ver qué sucede y luego lo mismo, pero cerca del led que se encendió anteriormente y revisar lo sucedido.
 - d. Ver los vídeos que se muestra en los siguientes links y discutirlos en conjunto con lo que se llega respecto a las actividades realizadas usando ejemplos que se puedan observar en la vida real: <https://www.youtube.com/watch?v=FN-tnH36ojY> y <https://www.youtube.com/watch?v=lrWlogPNFo>
2. Lo que se realizó en el primer momento también son ondas, pero ¿cuál es la diferencia? Para ello se utilizará el siguiente video y con ello se generará una discusión que lleve a diferenciar las ondas mecánicas de las electromagnéticas, al igual que entre una onda transversal y una longitudinal, y las diferentes propiedades presentes en estas: <https://www.youtube.com/watch?v=mldpY3B9qtk>

TERCER MOMENTO: Espectro electromagnético: la Luz y la Radio

Objetivo: Aproximar a los estudiantes hacia lo que es el espectro electromagnético, enfocados en la parte de ondas visibles y de Radio.

Pero las ondas electromagnéticas tienen una gran variedad, y solo una pequeña porción de esta es la luz visible, lo que nuestros ojos ven. Es por esto que se dividen en diferentes rangos dentro de toda una gama denominada espectro electromagnético que se encuentra dividido en distintos rangos: Radio, Microondas, ultravioleta, luz visible, infrarrojo, rayos x y rayos gamma. Para abarcar esto se realizarán las siguientes actividades:

1. Se realizarán unas primeras preguntas para conocer lo que conocen los estudiantes sobre el tema, y al finalizar se socializará sobre lo que se responde:
 - a. La luz al ser una onda electromagnética ¿qué rango equivale en todo su conjunto?
 - b. Aparte de la luz (óptica) ¿qué otros tipos de ondas conoces?
 - c. ¿Qué usos conoces que tenga cada tipo de estas ondas? Ejemplos
 - d. ¿sabes el trayecto que debe recorrer una onda para que se produzca una llamada de un celular a otro?
2. En los mismos equipos que se ha estado trabajando, se hace uso de los siguientes gráficos, en los cuales los integrantes deberán recortarlos, pegarlos en su cuaderno y deben intentar responder en qué se usa, y qué tipo de ondas electromagnéticas se implica en su uso.



Y así para complementar un poco, y luego de realizar una discusión entre todo para ver a que se llegó en las imágenes se procede a ver el siguiente video y relacionarlo con lo ya mencionado: https://www.youtube.com/watch?v=5E3kl_7_cT0. La idea es no centrarse en las demás longitudes de onda, sino en este caso solo en el espectro visible, sin dejar de hacer referencia al hecho que existe otra gama de “luz” que no podemos ver directamente.

3. Dentro del espectro electromagnético se encuentra la luz visible, la que podemos percibir, pero dentro de esta, existe una variedad de colores, de los cuales se desprende la luz blanca (como el caso de las bombillas blancas o el sol). Para comprender un poco más esto se elaborará un espectrómetro, el cual permitirá separar los colores de la luz y además, observar (si se desea) el espectro determinado de cada elemento. Para ello se utilizarán los materiales que se expondrán a continuación y el procedimiento posteriormente:

Materiales:

- CD que no tenga nada gravado y sea plateado por una cara o un DVD.
- Tijeras y cinta negra.
- Caja o tubo pequeña de cartón.
- Cartulina o témpera negra.

Procedimiento:

1. Tomamos la caja o tubo y le recubrimos en su interior con cartulina o tempera negra, de modo que quede negro en el interior.	
2. Haz un orificio en la parte posterior del tubo de cartón de más o menos 1.5 cm de lado en forma cuadrada y centrada.	
3. Toma el CD y quita la parte metálica que tiene, la cinta, de manera que este quede totalmente transparente.	

<p>4. Si utilizas un tubo como el del ejemplo, coloca cinta negra, o pinta la tapa, y si es caja asegúrate que esas partes queden bien cubiertas.</p>	
<p>5. En el extremo opuesto al cual se hizo el orificio, se hace una abertura utilizando un bisturí, de modo que también quede centrada.</p>	
<p>6. Coloca el CD en la parte posterior de la caja intentando que las líneas de este queden lo más paralelas posibles a la ranura hecha en el paso anterior. Si deseas recorta una parte del CD y pega.</p>	

Ahora ya está listo para usar, puedes observar desde el CD tanto en el orificio hecho, o por fuera de este. Se observarán los espectros de absorción y emisión respectivamente de cada fuente de luz vista. En este caso, la idea es que cada estudiante elabore su propio espectrómetro.

4. La región óptica del espectro es el más conocido pues es lo que vemos y con ello comprendemos gran parte del mundo como lo hacemos, pero como ya se ha visto esto no es lo único y existe otra gran gama. Dentro de estos están las ondas de radio, las cuales nos permiten gran parte de las comunicaciones en tierra y en el espacio; además que es una de la poca radiación que nos llega del universo que atraviesa la atmósfera y llega a nosotros, por lo cual se puede estudiar sin salir al espacio.

Las ondas de Radio están presentes en casi todo en nuestras vidas, desde el uso del celular, hasta los nuevos hallazgos que se tienen del universo. Estamos rodeados de estas ondas y por ello no es posible pasarlas desapercibidas. Para comprender un poco esto, la idea será elaborar una antena similar a la realizada por Heinrich Hertz hacia 1887, para lo cual usando un carrete de Ruhmkorff (transformador de alto voltaje) conectado a dos varillas de metal como se muestra en la **ilustración 1**. Ante esto, la idea era generar una chispa, que provocaría un campo eléctrico y uno magnético, ambos variables, los cuales producirían una perturbación transportándose por medio de una onda electromagnética, y de esta manera Hertz construyó un generador de ondas electromagnéticas.

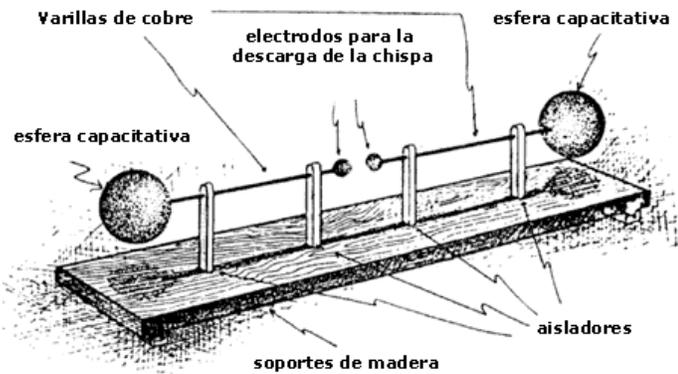


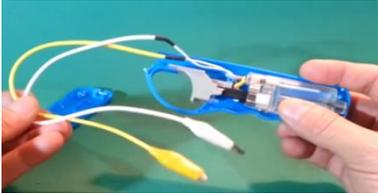
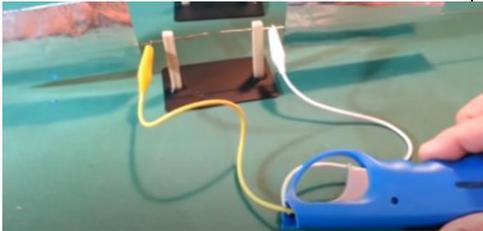
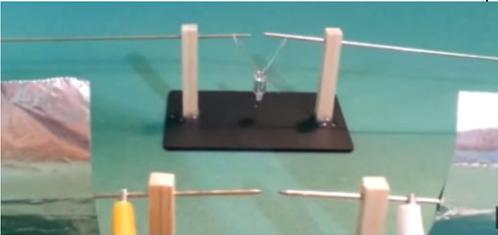
Ilustración 1. Esquema de la antena generadora de Ondas Electromagnéticas desarrollada por Hertz. Tomada de: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/112/htm/sec_17.htm

Aparte de lo anterior, al crearse la chispa, la onda electromagnética se transporta por el aire, por lo cual se debía construir un receptor de esta onda. Para ello Hertz construyó en una ocasión un anillo que estaba abierto en una sección y ahí los dos extremos sobrantes terminaban en forma de esfera, y acercándolo al generador antes mencionado, al generar la chispa iba a generar que se produjera una chispa también en este anillo. De este modo se corrobora que las ondas viajan y la intensidad de potencial en la esfera receptora será mayor entre mayor sea la intensidad de corriente eléctrica en el dispositivo emisor; esto fue lo que hizo Hertz, pero ahora vamos a hacerlo nosotros, para lo cual se necesitan los siguientes **materiales:**

- Alambre de cobre
- Láminas de papel aluminio.
- Un bombillo led.
- Dos bases pequeñas y cuatro soportes de madera o cualquier material aislante.
- Cables (caimán-caimán si es posible).
- Generador de chispa: Para este caso se puede usar un encendedor eléctrico (como el de la imagen), o el generador de chispa de un encendedor o briquet, aunque es mejor el primero. Pero si se tiene un generador de alto voltaje también se puede usar.



Procedimiento

<p>1. En cada soporte de madera colocar un pedazo de cobre de aproximadamente 20 cm como se muestra en la figura, y así con 4 iguales.</p> 	<p>2. Dos de estas configuraciones se colocan en una base de madera y se unen por medio de un led como se muestra:</p> 
<p>3. Con las otras dos configuraciones también se colocan en la otra base de madera, sin que se toquen sus extremos, pero en las partes de cobre sobrante se colocan en cada parte dos láminas de aluminio una en cada lado del alambre como se muestra:</p> 	<p>4. El encendedor de cocina se desarma, y dado que en este contiene un elemento que produce chispa, y de él salen dos cables, a los cuales se conectan</p> 
<p>5. Estos cables que están conectados al encendedor van conectados al alambre de cobre con las láminas de aluminio.</p> 	<p>6. Se colocan las dos configuraciones antes mencionadas cerca, de modo que al accionar el encendedor, se produzca chispa y se encienda el led.</p> 
<p>Se procede a probar el dispositivo, y probar diferentes distancias a los que puede estar el led, además que si se tiene otra fuente de mayor voltaje que se pueda conectar en lugar del encendedor y produzca chispa se puede usar, pero con una mayor precaución.</p>	

Este dispositivo construido por Hertz y ahora por nosotros, tiene una función similar a la de todas aquellas antenas o dispositivos móviles (que también funcionan como antenas).

En medida en que reciben y transmiten ondas electromagnéticas, de los cuales hay muchos ejemplos, pues si vemos alrededor hay cientos.

5. Para terminar, se realizará una breve explicación sobre el funcionamiento de las diferentes antenas, que para caso de practicidad solo irá centrado en las que tienen forma de parábola, para lo cual se hará uno de siguiente video: <https://www.youtube.com/watch?v=YJ-cttC6aSM> y después de discutir dicho video se intentará sintetizar con un ejemplo, como en el caso del teléfono móvil que nos permite comunicarnos a grandes distancias, y para ello se analizará el siguiente video: https://www.youtube.com/watch?v=VU_wXCUB3nk.
6. Antes de continuar, es necesario intentar sintetizar todo lo visto e buscar que por equipos de trabajo saquen ciertas conclusiones, y posteriormente se recoja a nivel colectivo de manera que todos puedan tener la misma información.

CUARTO MOMENTO: La Astronomía y Radioastronomía.

Objetivo: Acercar a los estudiantes a los principales conceptos de la Radioastronomía y el uso del Radiotelescopio.

En este momento se realizarán una serie de actividades enfocadas primero a entender un poco la astronomía desde la parte óptica, luego haciendo un primer acercamiento a las demás formas de observación, hasta llegar a la Radioastronomía, abordando sus principales características, implicaciones en la vida y los conceptos físicos inmersos en ella.

1. Desde la antigüedad las personas se han maravillado con observar el cielo, principalmente nocturno. Hasta cierto momento la observación directa fue suficiente, pero luego con la aparición de monóculos, binoculares y posteriormente del telescopio esta se fue innovando, y lo siguió haciendo incluso en la actualidad. Pero antes de continuar, se precisa conocer un poco lo que saben los estudiantes acerca de este tema, por lo cual se generarán las siguientes preguntas orientadoras como medio para ver lo algo de lo que saben los estudiantes sobre estos temas:

Preguntas:

- ¿Qué piensas que es la astronomía?
- ¿Qué dispositivos conoces para poder observar el cielo?
- ¿Qué podemos observar en el cielo utilizando los dispositivos mencionados?
- ¿Sabes cómo funcionan estos dispositivos? De ser así ¿cómo lo hacen?

La idea es ir discutiendo estas preguntas a nivel grupal e ir sacando conclusiones a lo que planteen los estudiantes.

2. Para complementar un poco las ideas anteriormente propuestas de las estudiantes, se mirará el siguiente vídeo y se discutirá resolviendo dudas y viendo la importancia de la Radioastronomía en la vida: <https://www.youtube.com/watch?v=8DKw01iPoCw>.
3. La siguiente actividad es por parte de los estudiantes, los cuales en sus equipos de trabajo deberán traer imágenes, noticias, esquemas, dibujos, entre otras cosas que les permitan buscar información en internet acerca de las principales diferencias entre un

telescopio y un radiotelescopio. Para esto se pueden basar en los siguientes conceptos o categorías que les puede facilitar el trabajo:

- Construcción, montura y dimensiones.
- Sensibilidad y poder resolutivo.
- Funcionamiento.
- Tipo de datos que recoge.
- Objetos que se pueden estudiar.
- Ancho de banda que permite estudiar.

Con esta información, la idea es que se vaya construyendo una cartilla basada en información, imágenes y/o dibujos sobre todo lo que puedan de acuerdo a la Radioastronomía, que se irá complementando a medida que se desarrollen las demás actividades, y al final pueda ser socializado ante todo el grupo.

4. Para continuar y complementar el ejercicio anterior, se le proporcionará a los estudiantes la siguiente lectura, que fue tomada textualmente de: Programa-guía de Radiotelescopios PARTNER, y se puede encontrar en http://partner.cab.inta-csic.es/Upload/201309/PG_RT_13.pdf, dicha lectura se deberá leer en sus equipos y revisar si pueden agregar algo a la cartilla ya mencionada.

¿Qué es un radiotelescopio?

Un radiotelescopio es un aparato que capta las ondas de radiofrecuencia procedentes del espacio. Esto permite determinar la posición de las radiofuentes en la bóveda celeste y estudiar dichos objetos en la frecuencia en la que está sintonizado el radiotelescopio. Los radiotelescopios actuales constan de un colector de ondas, denominado normalmente antena, y de un receptor.

El colector de ondas o antena

Para las ondas de longitud inferior a un metro se emplean como colectores las antenas parabólicas; para mayores longitudes de onda se usan las redes de antenas. La ganancia de potencia de un radiotelescopio se mide en términos de la mejora frente a una simple antena dipolar (una antena de radio o de TV común) y depende directamente del área de la antena e inversamente del cuadrado de la longitud de onda a la que opera el radiotelescopio. En una antena de alta ganancia, la radiación es captada por un estrecho haz, cuyo ancho depende de la relación entre la longitud de onda y el diámetro de la antena. En el caso de las antenas parabólicas, su poder resolutivo, análogamente a los telescopios ópticos, viene dado por la relación entre la longitud de onda y el diámetro de la parábola; pero así como

en los telescopios ópticos se captan las ondas de longitud de onda inferior a la micra ($1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{ m}$), los radiotelescopios trabajan con ondas con longitud de onda millones de veces mayor y, por tanto, su poder resolutivo es mucho menor. Para que un radiotelescopio que observa a una longitud de onda de 6 cm tenga la misma resolución que un telescopio óptico de 5 m, su diámetro debería ser de unos 500 km. Para alcanzar una mayor resolución en radio, muy superior en algunos casos a la de los telescopios ópticos, se usan interferómetros.

Montura

En algunos radiotelescopios, la antena está situada sobre una montura ecuatorial, a lo largo de dos ejes perpendiculares, ascensión recta y declinación, con uno de ellos, el de declinación, alineado con el eje de giro de la Tierra. Esta alineación, denominada polar, depende de la localización del radiotelescopio y coincide con la latitud del lugar. El uso de monturas ecuatoriales facilita la labor del seguimiento de las radiofuentes, pues basta girar la antena alrededor de un solo eje, el de ascensión recta, para tener la radiofuente permanentemente enfocada. Sin embargo, son monturas caras y difíciles de construir, sobre todo, en los radiotelescopios de antenas muy grandes.

En la siguiente imagen se pueden apreciar dos antenas, cada una con dos monturas diferentes:



Rendimiento

El rendimiento de un radiotelescopio está limitado por varios factores:

- La exactitud de la superficie reflectora, que puede desviarse de su forma ideal.
- Las diferencias térmicas, que producen expansiones y contracciones que deforman la estructura.
- Las deflexiones debidas a los cambios en las cargas gravitatorias que se producen cuando se mueve la antena durante el seguimiento.

Las desviaciones de la superficie parabólica son importantes cuando alcanzan el 10% de la longitud de onda a la que operan. Los radiotelescopios diseñados para operar en longitudes de onda milimétrica o submilimétrica necesitan una superficie reflectora muy precisa (el 10% de 1 mm es 0,1 mm o $100\mu\text{m}$ –micras-), que parece a veces prácticamente la de un espejo. Debido a que las superficies pequeñas pueden ser construidas con más

precisión que las grandes, los radiotelescopios diseñados para operar en el rango milimétrico o submilimétrico (microondas) son más pequeños que los diseñados para observar las ondas de radio largas. Tradicionalmente, el problema de la deformación gravitatoria ha sido minimizado mediante el empleo de estructuras móviles lo más tensas posible. Una técnica más efectiva, basada en el principio de homología, permite a la estructura deformarse bajo la acción de la gravedad, pues la sección transversal y el peso de cada miembro de la estructura móvil son elegidos con el propósito de que las fuerzas de gravedad deformen la superficie reflectora en un nuevo paraboloide con un foco ligeramente diferente. Entonces, sólo es necesario desplazar el alimentador o el subreflector a la posición del nuevo foco para mantener las prestaciones óptimas del radiotelescopio. Los diseños homológicos sólo han sido posibles con la ayuda del diseño asistido por ordenador.

Algunos radiotelescopios, particularmente aquellos diseñados para operar en el rango milimétrico y submilimétrico, se colocan dentro de cúpulas protectoras, que anulan los efectos del viento y de las diferencias térmicas. Esto no puede hacerse en los grandes radiotelescopios.

El coste de construcción de una gran antena puede ser reducido fijando la estructura al suelo y moviendo el alimentador o el subreflector para dirigir el haz de recepción, aunque sólo con unos pocos grados de amplitud para evitar introducir aberraciones en la señal.

Para el caso de longitudes de onda relativamente largas, donde la superficie reflectora tiene un margen de precisión de unos pocos centímetros, resulta práctico construir grandes estructuras en las cuales la superficie reflectora puede ser una simple estructura formada por varillas metálicas en lugar de ser una superficie continua, reduciendo de esta manera el peso total de la antena, y permitiendo aumentar su tamaño.

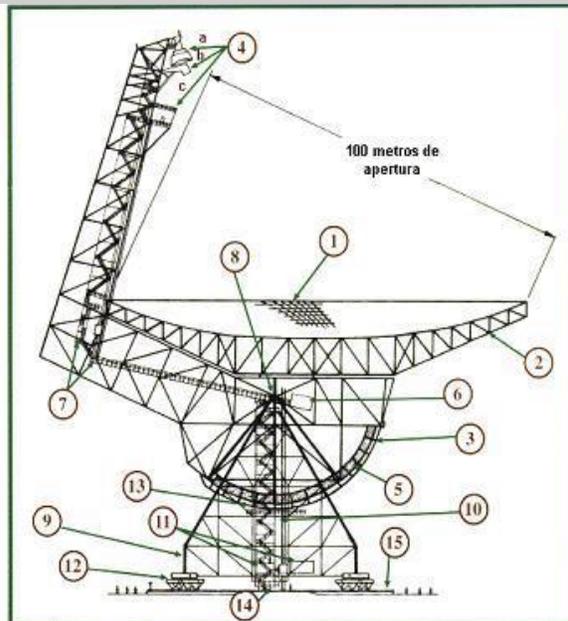
Disposición de elementos

En los radiotelescopios más simples, el receptor se coloca directamente en el foco de la antena parabólica y la señal detectada se lleva por cable hasta un registrador en donde se puede analizar. Sin embargo, en este tipo de configuración es difícil acceder a la instrumentación para su mantenimiento y reparación, y razones de peso limitan el tamaño y el número de receptores individuales que se pueden instalar en el foco.

En los radiotelescopios más grandes, en los que hay receptores para varias bandas, la disposición más usada es la denominada Cassegrain. En esta disposición, en el lugar del foco primario se sitúa el reflector secundario o subreflector, que tiene forma de hiperboloide de revolución. Este subreflector vuelve a reflejar las ondas enviándolas hacia el alimentador o cono receptor, situado en la base de la superficie reflectora parabólica. De este modo se facilita el acceso a la instrumentación del receptor para su mantenimiento, y se permite un tamaño y peso mayores por estar en un punto más estable. Los radiotelescopios con subreflector tienen la ventaja de permitir reconfigurar el conjunto con el fin de mejorar la ganancia total.

A continuación se muestra un ejemplo de la Disposición de elementos en el radiotelescopio GBT, en Green Bank (EEUU).

1. Superficie del reflector primario
2. Estructura de soporte del reflector
3. Rueda de elevación
4. Reflector secundario
(a) subreflector
(b) foco primario
(c) sala receptora
5. Contrapeso
6. Sala de control de superficie activa
7. Vía de acceso al punto focal
8. Punto de elevación (Elevation bearing)
9. Soportes (Alidada)
10. Ascensor
11. Sala de material
12. Vagones y raíles de azimut
13. Raíles de elevación
14. Punto de giro o pivotaje (Pintle bearing)
15. Vía de azimut (Pintle bearing)



Sensibilidad

La sensibilidad del radiotelescopio, esto es, la habilidad para detectar radiofuentes débiles depende:

- Del área y la eficiencia de la antena.
- De la sensibilidad del receptor empleado para amplificar y detectar la señal.

➤ De la duración de la observación.

La superficie colectora de un radiotelescopio suele tener forma de paraboloides de revolución. Esta superficie actúa como un espejo, de forma que las ondas planas que le llegan de la radiofuente se reflejan en ella y son enviadas hacia el denominado foco primario. La forma paraboloide de la superficie colectora permite filtrar interferencias procedentes de otras fuentes a las que no se está apuntando, ya que las ondas que no incidan frontalmente contra dicha superficie no serán reflejadas hacia el foco primario. En el foco primario se coloca el receptor, denominado alimentador. En un radiotelescopio, el alimentador es una guía de ondas en forma de trompeta (feed horn) que está conectado a un receptor de radio muy sensible. El receptor de radio, denominado radiómetro, tiene una importancia capital pues determina la relación señal-ruido. Se usan receptores con amplificadores de bajo ruido enfriados criogénicamente para minimizar el ruido.

Debido a que algunas fuentes astronómicas son extremadamente débiles, los radiotelescopios tienen antenas muy grandes y emplean receptores muy sensibles.

Las débiles fuentes astronómicas son fácilmente enmascaradas por las interferencias terrestres, por lo que los radiotelescopios deben protegerse de las interferencias producidas por el hombre. Para hacernos una idea de lo increíblemente débiles que son las señales recibidas basta señalar que la energía recogida por todos los radiotelescopios del mundo, más de 80, a lo largo de los últimos 50 años es menor que la energía liberada por una gota de lluvia al chocar contra el suelo.

Las observaciones suelen durar varias horas y se emplean sofisticadas técnicas de procesamiento de señales para detectar sólo las astronómicas, que son un millón de veces más débiles que el propio ruido generado en el receptor. Los cálculos necesarios para reducir los datos a información científicamente útil se realizan con potentes ordenadores

¿Cómo funciona un telescopio?

La radiación es recogida por la parábola de la antena y enviada hacia el subreflector. Desde ahí, se refleja hacia un punto en la parábola de la antena, donde se encuentra el alimentador (feed horn, en inglés). Allí la frecuencia se selecciona mediante filtros, y se envía la señal resultante, a través de una guía de ondas y, previo paso por el amplificador de bajo ruido (LNA Low Noise Amplifier, en inglés), hacia un convertidor de frecuencia intermedia. Desde allí, la señal es conducida por medio de fibra óptica hacia el centro de procesamiento de datos.

Las señales de alta frecuencia, como las que se reciben en un radiotelescopio, se atenúan muy rápidamente al transmitirlas por un cable, por lo que si se trabajase a estas frecuencias todo el sistema receptor sufriría grandes inestabilidades. Para transmitir una señal con una pérdida mínima, es conveniente bajarle la frecuencia. Esto se hace utilizando un convertidor de frecuencia intermedia, que en realidad es un mezclador que combina la señal original recibida en la antena con otra señal artificial y monocromática, es decir de frecuencia fija, proporcionada por un oscilador local. Esta mezcla tiene como consecuencia el cambio en la frecuencia de la emisión recibida del cielo que nos interesa, y la obtención de dos

señales: una cuya frecuencia es la suma de la original más la del oscilador local y otra cuya frecuencia es la resta (en valor absoluto) de las mismas. Esta última señal, llamada de frecuencia intermedia es la que se utiliza para ser propagada por los cables con las mínimas pérdidas, ya que proporciona exactamente la misma información que la señal inicial y es más fácil de transmitir.

Los radiotelescopios son usados para medir tanto el continuo de ancho de banda como características espectroscópicas debido a líneas atómicas y moleculares encontradas en la parte radio del espectro electromagnético. En los primeros radiotelescopios, las observaciones espectroscópicas eran hechas sintonizando un receptor a lo largo de un rango de frecuencias. Este procedimiento consumía mucho tiempo y restringía las observaciones. Los radiotelescopios modernos funcionan en un gran número de frecuencias simultáneamente, gracias a dividir las señales en miles de canales de frecuencias separadas, que cubren un ancho de banda de decenas o centenas de Mhz.

El tipo más sencillo de radio espectrómetro emplea un gran número de filtros (cada uno de ellos sintonizado a una frecuencia y seguido por un detector separado), para producir un receptor multifrecuencia. Si el receptor es de banda ancha y se pretende detectar señales débiles, la salida del receptor es promediada sobre períodos de varias horas, para así reducir el efecto del ruido generado por el propio receptor.

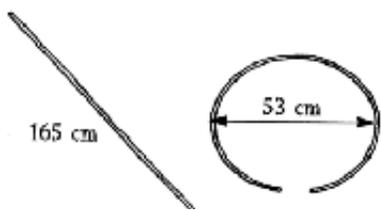
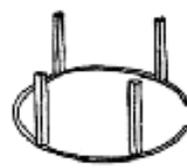
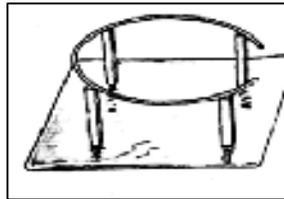
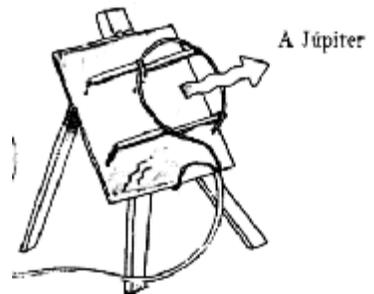
INFORMACIÓN 1. Datos acerca de Radiotelescopios. Información tomada de: Programa-guía de Radiotelescopios PARTNER.

Aparte de sacar información de la lectura para la cartilla, en equipos de trabajo se dividan los temas vistos, y realizar una presentación muy breve utilizando carteleras o una presentación en power point donde se aclaren los términos y conceptos a sus demás compañeros.

5. Por último, se elaborará una antena real, para ello se utilizarán los siguientes materiales:

- Radio doméstica de onda corta (entre 18 y 22 MHz).
- 165 cm de alambre de cobre rígido.
- Una base de madera de 60x60 cm.
- Cuatro palos de madera de más o menos 30 cm de longitud.
- Papel aluminio.
- Cable coaxial.

Procedimiento:

<p>1. Con los 165 cm de cobre elaborar una circunferencia de 53 cm de diámetro sin cerrarla.</p> 	<p>2. Sujetar los palos de madera e cuatro partes de la circunferencia de cobre:</p> 
<p>3. Forrar por un lado de la base de madera con papel aluminio.</p>	<p>4. Colocar sobre la base de madera que tiene aluminio la circunferencia.</p> 
<p>5. Coge el cable coaxial y quita la cubierta externa en un extremo, y el conductor central de este se conecte a un extremo de la circunferencia, y el conductor externo trenzado se conecta al aluminio. Y el otro extremo del cable se conecta a la radio.</p> 	
<p>6. Puedes colocar la antena sobre una base y dirígela hacia algún objeto celeste, como por ejemplo a Júpiter como se muestra en la imagen, ya que este planeta emite radiación en longitud de onda ya expuesta.</p>	

Es importante recordar, que todo esto visto debe llevar sus conclusiones y cada momento en la cartilla que se ha estado elaborando.

- Para finalizar, con la antena que se ha construido, se saldrá al patio del colegio o universidad y la dirigirán hacia distintas partes y escuchar lo que puede captar la antena, así como tratar de entender a qué se debe esto y qué lo genera.

A continuación se muestran algunas imágenes con base a esta antena diseñada con anterioridad, al igual en los siguientes enlaces se pueden observar dos videos tomados del radio al ser conectado en la antena: <https://youtu.be/yEPk5toIWY> y <https://youtu.be/6efuNSa4zw4>

Las fotografías muestran el primer prototipo que se elaboró aunque debido a tiempo y por la pandemia, no fue posible tener un estudio detallado de la señal que se recibió, aunque se espera que los estudiantes logren manipularlo por más tiempo, y dirigiéndolo hacia diferentes objetos y fuentes logren interpretar la señal recibida y descubran la fuente de esta, sabiendo que mucha de la que se obtenga va a ser ruido, aunque los cambios en la estática recibida al variar la dirección a la que apunta la antena logrará ayudar con este análisis y determinar de dónde proviene y que tipo de señal se recoge.

Para todo esto, se debe tener presente cada temática y concepto vistos en las anteriores actividades poniendo en práctica lo que se ha trabajado.





QUINTO MOMENTO: Interferometría

Objetivo: Aproximar a los estudiantes al concepto de interferometría, y su aplicación en la Radioastronomía.

En este momento se realizarán diferentes actividades buscando realizar un breve acercamiento hacia lo que se conoce como interferometría, y principalmente las características esenciales que se necesitan para su aplicación en la Radioastronomía.

1. Para comenzar, retomando el video de la actividad dos del cuarto momento, al final se hace referencia a la interferometría, y desde ahí se esperan tomar las ideas principales respecto a este tema, así que se tomarán las siguientes preguntas sugeridas para guiar la discusión con base en este tema. Si es necesario, volver a ver el video.

Preguntas:

- ¿Qué es la interferometría?
 - ¿Cómo es su aplicación en la Radioastronomía? ¿Qué función cumple?
 - ¿Has escuchado algún instrumento que utilice esta técnica? De ejemplos
2. Después de discutir acerca de estas preguntas, se leerá con base al proyecto ALMA, uno de los más grandes en torno a la Radioastronomía y que utiliza Interferometría. La idea es que con esta lectura que fue tomada textual de la página de ALMA, y se encuentra en <https://www.almaobservatory.org/es/sobre-alma/observando-con-alma/> se saque las ideas principales de cada párrafo, y las logren discutir en los equipos a modo de conversatorio, además de sacar conclusiones a nivel general, no solo de lo que dice la lectura, sino de lo que opinan frente a ella.

Observando con ALMA



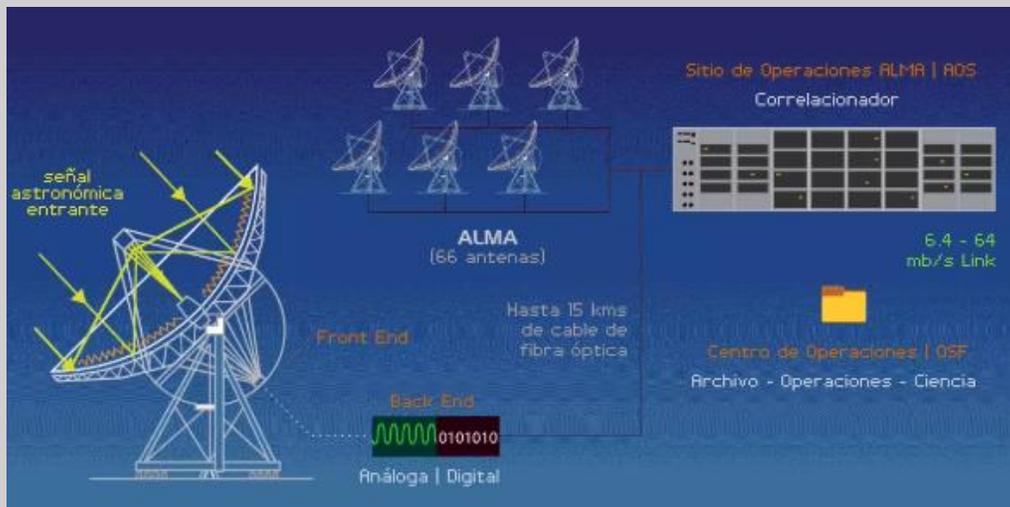
Las 66 antenas de ALMA funcionan juntas como si fueran un solo telescopio gigante. Para ello utilizan una técnica denominada interferometría. Esta consiste en recolectar una señal proveniente del Universo usando dos o más antenas y combinarlas para analizar la señal y así obtener información sobre la fuente de tal emisión (ya sea una estrella, planeta o galaxia).

Al combinar ondas de radio capturadas por dos o más antenas es posible obtener imágenes de altísima precisión. Estas imágenes son similares a las que se obtendrían con un telescopio o antena de diámetro igual a la mayor distancia posible entre las antenas (en el caso de ALMA hasta 16 kilómetros). Pero construir y operar una antena de ese tamaño es tecnológicamente inviable (al menos con las tecnologías actuales), por lo que resulta mucho más plausible construir varias antenas pequeñas y utilizarlas combinadamente.

Sin embargo, en la práctica, esto no es tan sencillo.

Para su funcionamiento, ALMA depende de que tanto sus 66 antenas como su electrónica trabajen en forma perfectamente sincronizada, con una precisión de una millonésima de millonésima de segundo. Asimismo, el camino recorrido por la señal astronómica desde su llegada a cada antena, hasta que es combinada en el computador central – el Correlacionador – debe ser medido con una exactitud similar al diámetro de un cabello humano (centésimas de milímetro). Y como si esto no presentase suficientes desafíos, está el problema de reducir la perturbación que sufre la señal desde que toca cada antena hasta ser digitalizada y transmitida por varios kilómetros de fibra óptica hacia el computador central. Incluso antes, apenas la señal astronómica penetra la atmósfera

terrestre, ésta es parcialmente absorbida, desviada y retardada por moléculas de dióxido de carbono (CO₂), oxígeno y agua (sí, aún a 5.000 metros de altitud y en las áridas condiciones del desierto de Atacama existe agua). Modelos atmosféricos sofisticados, estaciones de monitoreo de condiciones climáticas y radiómetros para medir la cantidad de vapor de agua presentes en la línea de visión de cada antena, son utilizados por ALMA para corregir estos efectos atmosféricos indeseados.



Arriba se muestra un esquema del trayecto que sigue una señal astronómica captada por una antena de ALMA. En un primer momento, la señal es recibida por la antena, para luego pasar por el Front End, enfriado por criogenización a 4° Kelvin, donde se reduce su frecuencia. Luego la señal es digitalizada por el Back End y transmitida por fibra óptica hasta el edificio central, donde el correlacionador combina la señal de todas las antenas. ALMA y es controlado desde el Centro de Operaciones (OSF, por su sigla en inglés), donde se recibe, procesa y almacena la información.

Como su nombre lo indica, el Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA o Gran Conjunto Milimétrico/submilimétrico de Atacama) es un conjunto de antenas. Sus principales desafíos técnicos son poder apuntar simultáneamente todas las antenas a un mismo punto del cielo, captar la señal astronómica con cada antena, convertirla a formato digital, transmitir la señal desde cada antena a un edificio central, donde un supercomputador combina las señales recibidas para generar los datos a partir de los cuales se hará el análisis científico de la fuente que originó dicha señal.

Todo esto con una precisión y calidad jamás vista. Un ejemplo cotidiano puede ayudar a entender este aparentemente complicado proceso: El sistema auditivo humano está diseñado de tal modo que cada uno de sus componentes cumple una función muy similar a ALMA, en este caso con el propósito de hacer llegar el sonido al cerebro. Al apuntar una oreja hacia la fuente de un sonido, gracias a su anatomía ésta canaliza el sonido y lo hace llegar a un receptor (el tímpano) capaz de captarlo y convertirlo en un impulso eléctrico que es transmitido por el nervio auditivo hasta el cerebro. El cerebro recibe la señal de ambas orejas, las combina y analiza con el fin discernir sobre la naturaleza de la fuente (quién, cómo, dónde).

Esta cadena es análoga a las distintas etapas por las que pasarán las ondas de radio que han viajado por millones de años por el espacio hasta llegar a cada antena de ALMA. Asimismo, esta cadena define la arquitectura e ingeniería de ALMA, así como su modelo organizacional.

INFORMACIÓN 2. Contextualización acerca de ALMA. Tomada de: <https://www.almaobservatory.org/es/sobre-alma/observando-con-alma/>

3. Con base en la lectura anterior, los estudiantes deberán buscar más información acerca de los interferómetros, tanto de manera general, pero principalmente en la Radioastronomía. Sus principales aplicaciones y ejemplos, para al final exponer a nivel general lo investigado. Además que toda esa información debe ir contenida en la cartilla que se ha estado elaborando, la cual será tomada en cuenta a modo de proyecto final con base a todo el trabajo realizado a lo largo de las actividades. Teniendo en cuenta la creatividad y el manejo de información de cada uno de los temas tratados.

EVALUACIÓN

La evaluación de todo el proceso se llevará a cabo por medio de dos parámetros. Por una parte, basado en el proceso que lleven a cabo cada equipo, en particular, las discusiones que se han tenido en cuenta y para ello se tendrá muy en cuenta los aportes del líder escogido al inicio de las actividades, para saber si se cumplieron los objetivos de cada momento, además de una autoevaluación de cada integrante y la coevaluación, que se basa en aquello que los compañeros pueden observar del trabajo de cada uno. Por otra parte, se hará una evaluación del producto de las actividades, principalmente de la cartilla y la elaboración de radiotelescopio y las conclusiones que logren mostrar.

Para todo ello se tendrán en cuenta los criterios expuestos en la siguiente rúbrica, donde estos cada uno de ellos es necesario que los tenga muy claro el maestro, y se lo dé a conocer a sus estudiantes desde el inicio de las sesiones de modo que conozca cómo se les evaluará, de este modo, a continuación se expresa la respectiva rúbrica de evaluación.

CRITERIOS	Excelente	Sobresaliente	Aceptable	Regular	Deficiente
Participación en cada una de las actividades	Participa activamente en cada una de las actividades	Participa en cada una de las actividades	Participa en algunas de las actividades	Participa poco en algunas actividades	No participó en ninguna actividad
Cumplimiento de las actividades	Cumplió con todas las actividades propuestas	Cumplió con la mayoría de actividades propuestas	Cumplió con algunas actividades propuestas	Cumplió con pocas de las actividades propuestas	No cumplió con las actividades propuestas
Respeto frente a la opinión de sus compañeros y docente.	Respeto siempre a sus compañeros y docente	Respeto casi siempre a sus compañeros y docente	Respeto a veces a sus compañeros y docente	Respeto muy poco a sus compañeros y docente	No respeta a sus compañeros y docente
Propiedad de los temas tratados	Demuestra gran propiedad frente a los temas tratados	Demuestra cierta propiedad frente a los temas tratados	Demuestra alguna propiedad frente a los temas tratados	Demuestra poca propiedad frente a los temas tratados	No demuestra propiedad frente a los temas tratados

Tabla 10. Criterios de evaluación de la propuesta didáctica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRESSER, Group of companies (s.f.). Manual de astronomía. Recuperado de <https://www.bresser.de/c/es/support/teleskop-fibel/manual-de-astronomia/>

Campanario, J. M., Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. Grupo de Investigación en Aprendizaje de las Ciencias. Departamento de Física. Universidad de Alcalá de Henares. 28871 Alcalá de Henares. Madrid

Candela, M. (2001). Cómo se aprende y se puede enseñar ciencias naturales. Traducido por: Gloria Vitale. Virginia, Estados Unidos.

Johnson, D., Johnson, R. & Holubec, E. (1994). El aprendizaje cooperativo en el aula.

Malagón, J., Ayala M. & Sandoval S. (2011). El experimento en el aula. Comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes. Universidad Pedagógica Nacional. Centro de Investigaciones Universidad Pedagógica Nacional (CIUP). Bogotá, Colombia.

Morcillo, C. (2015). La experimentación en la enseñanza de las ciencias para docentes en formación inicial: un caso de microbiología. Una mirada desde la historia de las ciencias. Universidad del Valle. Instituto de educación y pedagogía. Licenciatura en educación básica con énfasis en ciencias naturales y educación ambiental. Santiago de Cali.

Proyecto Académico con el Radio Telescopio de la NASA en Robledo (PARTNER). (s.f). RADIOTELESCOPIOS. Programa-guía.

Rosenberg, M., Russo, P., Bladon, G. & Lindberg, L. (2013). ¿Por qué es importante la astronomía? Unión astronómica Nacional. Traducido por: María Jesús Martínez (IAC).