

COMPRENDIENDO LOS EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN INVISIBLE.  
UNA PROPUESTA PARA LA ENSEÑANZA DE LA RADIACIÓN A NIVEL  
BÁSICO Y MEDIO

PRESENTADO POR:

Jose David Campos Barrero

Gladys Granados Huertas

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL**  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA.

**Noviembre, Bogotá- Colombia**

AÑO 2015

COMPRENDIENDO LOS EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN INVISIBLE.  
UNA PROPUESTA PARA LA ENSEÑANZA DE LA RADIACIÓN A NIVEL  
BÁSICO Y MEDIO

Trabajo presentado como requisito para optar al título de:  
**LICENCIADO(A) EN FÍSICA.**

PRESENTADO POR:

Jose David Campos Barrero

Gladys Granados Huertas

ASESORA:

Marina Garzón Barrios

**Línea de Profundización:**

*ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS DESDE UNA PERSPECTIVA CULTURAL*

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL**  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA.

**Noviembre, Bogotá- Colombia**

AÑO 2015

*Agradezco a mi hermana Adriana Campos, a mis amigos y compañeros de universidad, y a la profesora Marina Garzón quienes me brindaron un apoyo constante en cada proceso tanto personal como académico durante toda la carrera.*

*Este importante logro se lo dedico a mi gran amiga Johanna Barrantes quien fue un apoyo durante la carrera para poder cumplir mis metas y también por ser una gran inspiración como persona.*

*Este paso tan importante en mi vida, es fruto de la formación otorgada por mis abuelos. Agradezco inmensamente el apoyo incondicional de una madre entre muchas madres, mi abuela Bertha María Caro. Gracias Toñito, por tus lineamientos y carácter. Gracias familia por su voto de confianza. Gracias profesoras María Mercedes Ayala y Marina Garzón por su orientación hacia el desarrollo de este trabajo y primordialmente por los lazos de amistad construidos. Y finalmente gracias amigos.*

*Dedico este gran triunfo a la memoria de mi tía Berenice Huertas Caro y de mi abuelo Antonio Huertas Torres.*

RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de Grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central.
Título del documento	COMPRIENDIENDO LOS EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN INVISIBLE. UNA PROPUESTA PARA LA ENSEÑANZA DE LA RADIACIÓN A NIVEL BÁSICO Y MEDIO.
Autor(es)	Granados Huertas, Gladys; Campos Barrero, Jose David.
Director	Garzón Barrios, Marina.
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2015. 46p.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	CONTAMINACIÓN INVISIBLE, RADIACIÓN, RADIOFRECUENCIA, PROPUESTAS ALTERNATIVAS EN EDUCACION, MEDIDAS DE PREVENCION, PRINCIPIO DE PRECAUCION.

2. Descripción
<p>Este trabajo está orientado hacia la búsqueda de otras alternativas para la enseñanza de las ciencias. Alternativas que enfatizan en establecer una mirada interdisciplinar para darles un sentido a las ciencias dentro de las aulas de clase, y a su vez, que estas ciencias estén dirigidas hacia el análisis y la reflexión de problemáticas sociales propias del contexto de las grandes ciudades.</p> <p>De este modo, el trabajo de investigación pretende reconocer desde el contexto educativo una problemática socio-cultural, por esto se aborda la <b>Contaminación Invisible</b> como una problemática actual característica de la cultura, que se genera en el ambiente debido a la producción desmesurada de los artefactos tecnológicos usados a diario por las personas. Para tener un mayor acercamiento a esta clase particular de Radiación electromagnética, se muestra un panorama de las concepciones que se tienen sobre la Radiación, no solo desde el ámbito científico de autores como Planck, Hertz, Laplace, Lavoisier entre otros, sino también desde los medios de comunicación, y dentro del público en general.</p> <p>Del mismo modo, se hace un avance en el estado de arte con respecto a la <b>Contaminación Invisible</b>, con el fin de tener las bases para proponer actividades que encaminen a los estudiantes hacia la comprensión del fenómeno de radiación y la formación de medidas de prevención para su actuar dentro del entorno y hacia la construcción del sentido del aprendizaje para su vida.</p>

### 3. Fuentes

- Aulí, E. (2002). *¿Qué es la contaminación electromagnética?* España.
- Barrientos García, B. (2007). *Experimentos simples para entender una tierra complicada*. México: UNAM.
- Bauman, Z. (2005). *Los retos de la educación en la modernidad líquida*. Barcelona, España: Gedisa. S.A.
- Berkson, W. (1985). *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Eintein*. Madrid: Alianza.
- Fajardo Bonilla, H. A., & Remolina, Y. A. (2013). *Exposición a campos electromagnéticos en el espectro de radiofrecuencia entre los 0 y 300 Ghz y efectos biológicos en la salud humana*. Bogotá.
- Gallego Serna, L. M., & Torres Osorio, J. I. (2013). Metodología para el diagnóstico de áreas urbanas con alta exposición a radiaciones electromagnéticas emitidas por estaciones base de telefonía móvil. Manizales.
- García Palacios, E. M., González Galbarte, J. C., López Cerezo, J. A., Luján, J., Martín Gordillo, M., Osorio, C., & Valdés, C. (2001.). *Ciencia, Tecnología y Sociedad: una aproximación conceptual*. Madrid.: Cuadernos de Iberoamerica.
- Garzon, M. (2015). Memoria sobre el calor por MM. Lavoisier y De Laplace. *Universidad Pedagógica Nacional*, 24.
- Pedrerros, R. I., Amarilo, A., Reyes, R., & Torres, O. (1999). *La autorregulación Un universo de posibilidades*. Bogotá: El fuego azul.
- Planck, M. (1913). *The theory of heat radiation*. Berlín.
- Segura, D. (2005). *La comprensión y la Explicación*. Bogota: Asociación Colombiana para el Avance de las Ciencias.

### 4. Contenidos

Este trabajo está conformado por cuatro capítulos.

El primer capítulo se titula LA BUSQUEDA DE SENTIDO PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS: se muestran diferentes perspectivas en educación las cuales muestran puntos de convergencia alrededor del sentido de la enseñanza de las ciencias, en el cual se muestra una postura ante la misma.

El segundo capítulo se titula LA RADIACIÓN: aquí se aborda el tema de la radiación partiendo de los imaginarios sociales que se tienen frente a este fenómeno, del mismo modo se toman a consideración algunas perspectivas de diferentes científicos, entre ellos, Planck, Laplace y Lavoisier y Herschel y Hertz, enfatizando en este último los experimentos relacionados con radiación eléctrica.

El tercer capítulo se titula CONTAMINACION ELECTROMAGNETICA: enuncia ¿Qué es la contaminación invisible?, sus principales características y maneras de clasificación desde un

ambientalista llamado Enric Auli. Por otra parte, muestra la problemática actual alrededor de la contaminación invisible, donde a pesar de haber múltiples investigaciones, sigue latente la incertidumbre sobre los efectos que puede ocasionar sobre la salud. De igual manera muestra las organizaciones nacionales e internacionales encargadas al respecto.

Finalmente el cuarto capítulo titulado PROPUESTA ALTERNATIVA PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS: se proponen actividades catalogadas en cuatro fases, desde una concepción cualitativa y experimental donde se considera posible que el estudiante reconozca características del fenómeno de radiación a partir de sus efectos sensibles que contribuyan a formar medidas de prevención dentro de su actuar en el diario vivir.

### **5. Metodología**

- Se reconoció propuestas alternativas en la enseñanza de las ciencias.
- Se dio a conocer el fenómeno de la radiación desde las perspectivas de diferentes autores.
- Se realizó un avance en el estado de arte de los efectos de la radiación en el espectro de radiofrecuencia sobre la salud.
- Se diseñó actividades que contribuyan a los estudiantes en reconocimiento del fenómeno de radiación.

### **6. Conclusiones**

- Si bien la enseñanza de las ciencias debe estar acorde a las necesidades y cambios de la sociedad, es reiterativo que en los escenarios educativos se aborden problemáticas que corresponden al contexto, para así poder generar cambios y mejoras en la sociedad desde las aulas de clase.
- Este trabajo permite reconocer que las teorías físicas sobre electromagnetismo han sido de utilidad para tratar de dar respuesta a los efectos producidos por los CEM sobre los organismos vivos, sin embargo, los tejidos vivos presentan barreras que vuelve el sistema y sus interacciones en algo complejo.
- El avance en el estado de arte realizado en este trabajo permite dar cuenta de una pequeña parte de las investigaciones realizadas, pero también mostrar que desde la disciplina quedamos cortos para poder entender aspectos complejos de la problemática que necesariamente deben involucrar un trabajo conjunto con diferentes ramas del conocimiento.
- El hecho de que a la fecha no se hayan establecido efectos contundentes por la OMS, no quiere decir que la educación se deba mantener al margen de este tema, por el contrario, es un problema que afecta directamente a la ciencia y por qué no decirlo también a puntos de vista desde la interdisciplinariedad.
- Las empresas de telecomunicaciones se han convertido en uno de los negocios más rentables a nivel mundial, se puede inferir que estos intereses económicos son parte fundamental en el manejo de los resultados de las investigaciones o la réplica experimental. Sin embargo, en un futuro próximo se espera que se clarifique la controversia.
- Ante un tema tan controversial como éste, y con tanta información presente indistintamente por medio de comunicación y dentro de la cultura, se considera importante que los docentes, como agentes activos de la sociedad, no tomen a la ligera los acontecimientos, sino que por el contrario, desde una postura clara se contribuya a generar recomendaciones preventivas por medio del reconocimiento del fenómeno.

- Sin duda alguna la variedad de experimentos que se pueden realizar para contribuir en procesos de comprensión en el aula alrededor del tema de la radiación son múltiples, sin embargo es de resaltar que en la propuesta se omitieron varios experimentos por diferentes motivos, entre ellos por fallas técnicas, por costos o por la dificultad de conseguir los materiales. Por ejemplo la realización de un radio sin pilas, fue un experimento que se consideró viable para proponerlo en la propuesta, sugerido por libros como “electricity experiments for children” y también en videos de YOUTUBE, pero a pesar de conseguir los materiales, el experimento nunca funcionó.

<b>Elaborado por:</b>	Gladys Granados Huertas y Jose David Campos Barrero
<b>Revisado por:</b>	Marina Garzón Barrios.

<b>Fecha de elaboración del Resumen:</b>	2	12	2015
--	---	----	------



## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
LA BÚSQUEDA DE SENTIDO PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS.....	2
PERSPECTIVAS, VÍNCULOS Y PROPUESTAS.....	2
1.    La Escuela Pedagógica Experimental (EPE):.....	4
2.    Perspectiva CTS “Ciencia, Tecnología y Sociedad”:.....	5
CAPÍTULO II.....	8
LA RADIACIÓN.....	8
ENTENDIENDO LA RADIACIÓN DESDE LA HISTORIA.....	9
SOBRE LA RADIOFRECUENCIA.....	13
CAPÍTULO III.....	20
CONTAMINACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.....	20
CAMBIOS Y ADAPTABILIDADES.....	20
¿Es un problema Global?.....	22
PROYECTOS, AUTORES E INVESTIGACIONES.....	25
•    Investigaciones:.....	27
ALGUNOS ESTUDIOS IN VITRO.....	29
ALGUNOS DE LOS ESTUDIOS EN ANIMALES:.....	29
•    En Mamíferos y aves.....	31
•    ALGUNOS DE LOS ESTUDIOS EN HUMANOS:.....	31
CAPÍTULO IV.....	34
PROPUESTA ALTERNATIVA PARA DOCENTES.....	34
FASES Y ACTIVIDADES.....	36
•    ACTIVIDADES EN LA FASE I:.....	36
•    ACTIVIDADES EN LA FASE II:.....	37
•    ACTIVIDADES EN LA FASE III:.....	40
•    ACTIVIDADES EN LA FASE IV:.....	43
CONCLUSIONES:.....	44
ANEXOS.....	48
ANEXO 1.....	49
ANEXO 2.....	57
ANEXO 3.....	67

## **TABLA DE IMÁGENES.**

Imagen 1. Experimento de Hertz que permite evidenciar la inducción mutua entre dos circuitos. ....	15
Imagen 2. Mapa de la fase I primera actividad: “video sobre cambios en la manera de disfrutar la infancia” .....	36
Imagen 3. Mapa de la fase II segunda actividad: “espectro-periscopio” .....	37
Imagen 4. Mapa de la fase II tercera actividad: “colores alucinantes” .....	38
Imagen 5. Mapa de la fase II cuarta actividad: “disco de Newton” .....	39
Imagen 6. Rayos X.....	39
Imagen 7. Rayos solares. ....	39
Imagen 8. Rayos solares. ....	39
Imagen 9. Mapa de la fase II actividad: “experiencia con el control remoto de un carro o una alarma”. .....	40
Imagen 10. Mapa de la fase III actividad: “bloqueador solar y puerta de microondas” .....	40
Imagen 11. Mapa de la fase III actividad “luz ultravioleta, gafas y billetes” .....	41
Imagen 12. Mapa de la fase III actividad: “control del TV y propagación de la señal con obstáculos”. .....	42
Imagen 13. Mapa de la fase III actividad: “interacción de tarros de diferentes materiales y llamadas de celular” .....	42

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo está orientado hacia la búsqueda de otras alternativas para la enseñanza de las ciencias. Alternativas que enfatizan en establecer una mirada interdisciplinar para darles un sentido a las ciencias dentro de las aulas de clase, y a su vez, que estas ciencias estén dirigidas hacia el análisis y la reflexión de problemáticas sociales propias del contexto de las grandes ciudades.

Con la intención de proponer actividades que encaminen a los estudiantes hacia la formación de criterios para su actuar dentro del entorno y hacia la construcción del sentido del aprendizaje para su vida.

De este modo, se muestran algunas propuestas alternativas en la enseñanza de las ciencias, donde la manera de dar ese sentido es por medio de la relación entre lo que se aprende en las clases y el contexto en el que se vive diariamente.

Por otro lado, el trabajo de investigación pretende reconocer desde el contexto educativo una problemática socio-cultural, por esto se aborda *la Contaminación Invisible* como una problemática actual característica de la cultura, que se genera en el ambiente debido a la producción desmesurada de los artefactos tecnológicos usados a diario por las personas. Para tener un mayor acercamiento a esta clase particular de Radiación electromagnética, se muestra un panorama de las concepciones que se tienen sobre la Radiación, no solo desde el ámbito científico de autores como Planck, Hertz, Laplace, Lavoisier entre otros, sino también desde los medios de comunicación, y dentro del público en general.

Teniendo en cuenta la relevancia que tiene *la Contaminación Invisible* aquí, se hace un avance en el estado de arte de esta problemática enunciando qué es la Contaminación Invisible?, cuáles son algunas de las entidades que participan no solo a nivel nacional sino internacionalmente? y mostrando el panorama controversial alrededor de las diferentes investigaciones realizadas, para dar cuenta que este es un tema de estudio pertinente de ser llevado a la escuela.

Finalmente, se encuentra una propuesta de actividades que encaminen a los estudiantes a generar criterios de prevención con relación a la exposición a la Radiación en el espectro de radiofrecuencia presente en el ambiente y que es producida por diferentes aparatos tecnológicos con los que se convive en el entorno diariamente, de una manera cualitativa y experimental.

## CAPÍTULO I.

# LA BÚSQUEDA DE SENTIDO PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS.

### PERSPECTIVAS, VÍNCULOS Y PROPUESTAS.

En los espacios educativos es común encontrarse con preguntas que cuestionan el sentido de aprender y enseñar ciencias, sobretodo en contextos en los que ya la información es inmediata y la construcción del conocimiento se hace a través de las herramientas tecnológicas. Estos cuestionamientos llevan a que en el aula de clase se busquen nuevas formas de llamar la atención y el interés de los estudiantes. Para esto es necesario acoplarse a los cambios mismos que la sociedad va adquiriendo ya sean políticos, económicos, tecnológicos, educativos, etc.

El ministerio de educación nacional (MEN), actualmente establece que uno de los parámetros esenciales para la formación de personas con pensamiento científico requiere que la ciencia y su enseñanza tengan una mirada interdisciplinar, para que la ciencia sea cercana a las necesidades del entorno de los sujetos que aprenden. Por tal razón, es importante mirar la enseñanza de las ciencias desde propuestas que permitan a los estudiantes comprender distintos fenómenos que suceden en su entorno y tener los criterios suficientes para tomar medidas de prevención, soluciones alternativas o mejoras que permitan el avance mismo de la sociedad.

En esta medida, se aborda el tema de la Contaminación Invisible vista como una polución omnipresente que se atañe a la sobreproducción acelerada, utilización y acoplamiento de aparatos tecnológicos en los estilos de vida como lo son los hornos microondas, teléfonos celulares, radios, televisores, antenas wifi, antenas repetidoras, satélites, torres de alta tensión, internet, chat, etc. Siendo estos ejemplos de fuentes de emisión, que emplean para su funcionamiento señal de radiofrecuencia RF<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Radio Frecuencia: Es una parte del espectro electromagnético que está en el rango de  $10^2$  Hz y  $10^9$  Hz.

Por tal razón, a continuación se hace una serie de reflexiones alrededor de la necesidad de involucrar en la enseñanza de las ciencias problemas relacionados con los efectos que produce los desarrollos tecno-científicos sobre las sociedades. Estas reflexiones buscan dar sentido a la enseñanza de las ciencias proponiendo a los estudiantes que vinculen lo que aprenden en la clase con lo que sucede en su contexto.

Dicho en otras palabras, en este trabajo se reconoce que la manera en que la ciencia y la tecnología permean constantemente la cotidianidad de los sujetos, hace que al interior de la sociedad los individuos generen cierto tipo de relaciones y construcciones debido a su interacción con lo que se podría decir son los objetos producto de la tecnología. Una característica actual de estas relaciones, es que los sujetos recurren a un conocimiento superficial que les permite hacer uso de los aparatos sin mayor dificultad; el problema aquí no se centra en conocer a profundidad el funcionamiento interno de los aparatos, porque con qué fin se haría, sino por el contrario, cuestionar hasta qué punto puede llegar a afectar el uso de ellos.

Desde esta perspectiva, al ser estudiantes de la línea de profundización *Enseñanza de las ciencias desde una perspectiva Cultural*, se fortalecen cualidades en la formación como docentes hacia la validez de saberes propios de las culturas y el respeto por la otredad, donde la existencia de saberes diferentes del conocimiento científico no implican necesariamente que sean catalogados como erróneos y donde el contexto sociocultural es importante y por eso la propuesta de Contaminación Invisible se considera necesaria para ser abordada en el aula.

Es ver cómo el contexto cultural termina permeando las construcciones de cada individuo, asimismo, el docente también está obligado a tener presente el contexto al que va a compartir cierto conocimiento de modo que se acople y no genere una barrera con el conocimiento per sé. Así pues, es necesario hablar de la radiación como un tema importante dentro de la Contaminación Invisible y que está presente en el ambiente.

En el desarrollo de la propuesta se reconocen diferentes perspectivas para encaminar el sentido dentro de la enseñanza de las ciencias, ya que no es un problema reciente sino que se ha venido reflexionando desde décadas anteriores.

Tras la conformación de grupos de investigación han aparecido diferentes enfoques educativos y experiencias pedagógicas que buscan dar un sentido a la enseñanza de las ciencias

sin dejar de lado el contexto socio cultural, como enuncia el profesor (Orozco, 2015) en su conferencia *el enfoque CTS un lugar de interrogación a la cultura científico-tecnológico en la educación colombiana*. Entre algunas de las propuestas están los siguientes dos ejemplos, que a continuación se mencionan porque presentan puntos de convergencia con la propuesta que aquí se plantea.

### ***1. La Escuela Pedagógica Experimental (EPE):***

Más allá de ver a otra institución educativa, es resaltar una manera distinta de pensar la educación en comparación con la mayoría de establecimientos educativos presentes en Bogotá, que a pesar de ir encaminada en oposición a la enseñanza tradicional ha persistido en el tiempo.

La escuela pedagógica experimental a través del trabajo con proyectos permite que se puedan vincular problemáticas propias del contexto, con un trabajo enfocado a nuevas formas de enseñanza, saliendo de los contenidos curriculares, y donde *“no es el aprendizaje sin sentido de las disciplinas lo que captura el interés de nuestros jóvenes. El aprendizaje de las disciplinas es importante y debe propiciarse, pero su aprendizaje deberá estar inmerso en el sentido y el sentido puede lograrse con la necesidad de comprender, ya sea al solucionar un problema o al adelantar un proyecto”*. (Segura, 2005)

En concordancia con esta mirada, se considera importancia abordar en el aula problemas o situaciones cercanas a las vivencias cotidianas de los estudiantes, donde ellos sientan interés por buscar soluciones a un problema propio.

Pero para hacer de esto una realidad, se considera muy importante realizar un cambio en la forma de concebir la enseñanza de las ciencias, donde la preocupación no sea centrada en contenidos teóricos, sino reemplazada por nuevos caminos de comprensión y reflexión sobre la relación que existe entre esos conceptos y el medio en el cual se encuentran inmersos los estudiantes, para pasar de ser receptáculos de información, a sujetos críticos y pensantes de sus acciones.

Estas miradas conciben la ciencia como una construcción social, donde las dinámicas propias del contexto han contribuido en la generación de las teorías científicas; como ejemplo está también la perspectiva ciencia-tecnología-sociedad.

## **2. Perspectiva CTS “Ciencia, Tecnología y Sociedad”:**

Conocida como estudio social de la ciencia y la tecnología, propone estudios que buscan el desarrollo de formas de análisis e interpretación sobre la ciencia y la tecnología desde un carácter interdisciplinario.

Existen dos fuentes de origen del enfoque en CTS, el primero tiene que ver con programas STPP *Science, Technology and public policy*, y el segundo con la crítica social de la Ciencia y la Tecnología.

Este enfoque CTS su origen hacia finales de los años 60 y principios de los años 70, una época donde las sociedades vivenciaron distintos acontecimientos negativos después de la segunda guerra mundial, como consecuencia de catástrofes científicas, por ejemplo, los derrames de petróleo en las playas del sur de Inglaterra, las contaminaciones de radioactividad en diferentes partes del mundo debido a la explosión de reactores nucleares (Windscale, Kyshtim,), el hundimiento de tres submarinos soviéticos en los años de 1970, 1983, 1986, envenenamientos farmacéuticos, entre otros, (García Palacios, y otros, 2001.)

Es así, que al interior de la sociedad norteamericana se comienza a generar críticas sobre la idea de progreso que hasta fechas anteriores era considerada como una verdad ineludible.

De igual manera, en contraposición a estos hechos, aparecieron grupos ecologistas, movimientos contraculturales, protestas públicas, revueltas en Estados Unidos contra la Guerra de Vietnam, denuncias por el impacto ambiental, entre muchos otros; que son ejemplos claros de la inconformidad presente al interior de la sociedad, sobre los verdaderos beneficios de la ciencia y la tecnología.

El surgimiento de estos cuestionamientos dentro de un tipo de sociedad sobre los pros y contras que se atribuyen a la ciencia en una época particular, son un ejemplo claro de la manera en que la sociedad puede participar desde sus interpretaciones e inconformidades de una manera crítica, democrática y consensuada. Estas relaciones que se dan al interior de la Ciencia-Tecnología-Sociedad son un aspecto de convergencia con la propuesta de enseñanza porque permite centrar la atención en las interacciones y no en un aspecto aislado del ámbito social. De esta perspectiva se está en consonancia con la manera en que surgen desde las comunidades

cuestionamientos sobre los procedimientos tanto de la ciencia como de la tecnología, y el cambio en la manera de percibirla.

En la década de los 80's, después de extenderse el enfoque CTS en universidades, se amplió hacia la educación secundaria. En esta época, comienzan a aflorar estudios que critican la enseñanza de las ciencias y de los que surgen propuestas para acoger el enfoque CTS en la educación, como por ejemplo *Ciencia para todos*, *Alfabetización científica y tecnológica*, y *Comprensión pública de la ciencia*. (Ramírez, 2013).

De estos pilares la alfabetización científica es uno de los objetivos centrales del enfoque CTS, sin embargo, esta postura de alfabetización científica concibe un conjunto de procedimientos y parámetros que se deben seguir para lograr la alfabetización, para los cuales, estos procesos se ven como evangelización de la ciencia, donde la ciencia es la única forma de lograr conocimiento. Para intereses del trabajo, es necesario aclarar que si bien la alfabetización científica es uno de los pilares del enfoque CTS, se busca que el contexto sociocultural sea un factor que permita al estudiante y al docente re-contextualizar los diversos saberes científicos pertinentes para los intereses del contexto social en el que se encuentran. Esto implica que como entes activos de la sociedad se busque un puente que una los saberes y creencias locales con los saberes científicos pertinentes para el contexto en el que se encuentra.

Asimismo, la acogida del enfoque CTS en la academia permite concebirlo como una propuesta alternativa para abordar el estudio de la ciencia, la tecnología y sus consecuencias sociales desde el aula, con miras hacia la formación de sujetos reflexivos y conscientes ante su entorno. Estas propuestas se intersectan en un mismo interés, el de aproximar al estudiante a una enseñanza de las ciencias y la tecnología involucrando el razonamiento crítico de los problemas sociales actuales.

Estas perspectivas han permitido considerar apropiado dentro de la propuesta el tema de la Contaminación Invisible, no solo por lo controversial que es, sino también porque la educación en estos momentos se encuentra alejada del problema en comparación con otras entidades, y es a partir de ella que se puede empezar a generar conciencia desde los que podrían ser los potencialmente más afectados y vulnerables (los niños) y también generar un impacto positivo desde lo social.



De esta manera se plantea una propuesta inicial que puede proyectarse a un contexto más amplio, alrededor de un tema que sin duda alguna no se puede dejar solamente al interés de quienes están inmersos en el panorama científico, sino que vale la pena trasladarlo de una manera comprensible al contexto cotidiano.

Para concluir, la manera en que se abordan los conceptos de la ciencia, en este caso la ciencia contemporánea, van dirigidos a públicos especializados y terminan siendo medios educativos excluyentes de públicos generales, lo cual aleja a la población general del interés por el estudio de la ciencia y de la comprensión de los efectos de la radiación.

## **CAPÍTULO II.**

### **LA RADIACIÓN.**

Al escuchar la palabra radiación generalmente se elaboran imágenes catastróficas relacionadas con problemas en el cuerpo humano y en el ambiente, debido a la exposición continua o no a las diferentes fuentes de emisión; ejemplo de esto es el miedo que muchas personas tienen frente al uso del microondas, el uso de teléfonos celulares, a vivir cerca a las estaciones base de telefonía móvil, a la exposición solar, y a cualquier otro ente relacionado con la palabra radiación. Alrededor de este tema las personas dicen “la radiación del celular hace daño sobre la salud” o “al calentar la comida dentro del microondas ésta es irradiada y eso es perjudicial para el organismo”, pero la gente no dice frases como “la estufa de mi casa calienta los alimentos con radiación infrarroja” o “el control del televisor utiliza radiofrecuencia para poder cambiar el canal”. Con esto se hace evidente que cada persona desde su profesión y cultura tiene una percepción y concepción de lo que para ellos es radiación y que muchas veces asocia con un pequeño rango de ejemplos.

Sin embargo, el público en general desconoce este fenómeno y da por sentado lo que los medios informan al respecto. Esto ha hecho que se establezcan ideas negativas sobre la radiación, porque al oír la palabra radiación es común que las primeras relaciones que se hacen son con la bomba de Hiroshima, la explosión de la planta nuclear de Chernóbil, cáncer en diferentes partes del cuerpo, esterilidad y muchos otros efectos negativos.

El termino radiación evoca entonces, un sinnúmero de definiciones que la misma sociedad ha ampliado por su desconocimiento. Basta ver que en internet la palabra radiación se entiende como una forma de propagación de energía a través del espacio vacío, como energía ondulatoria o como partículas materiales que se propagan en el espacio, y muchas otras más que no permiten concretar este término, ya que con estas definiciones se digan una y mil cosas a la vez, por ejemplo, se hablaría de radiación sonora a la propagación del sonido producida por un parlante o de radiación marina a la producida por la propagación de las olas del mar; los cuales son ejemplos que no tienen relación alguna con este término.

## **ENTENDIENDO LA RADIACIÓN DESDE LA HISTORIA**

La radiación no es un fenómeno descubierto recientemente, ni se habla de él hace poco, por el contrario, ha sido un tema controversial en la historia de la física. Desde el siglo XVII ya era conocido que el calor se propagaba por convección, conducción o radiación, siendo este último encaminado por experimentos que se realizaban comúnmente desde la óptica, lo que llevo a la necesidad de hablar bien sea de rayos de luz o de rayos de calor. Esto trajo como consecuencia que se establecieran relaciones entre luz y calor.

Al hacer pasar un haz de luz solar por un prisma, este se descompone en varias franjas de diferentes colores que van del rojo al violeta, produciendo lo que se conoce como el espectro de la luz solar; caso similar ocurre con la radiación del calor proveniente del mismo. El alemán Sir Frederick William Herschel (1738-1822) fue muy conocido por ser un excelente músico y astrónomo. Hacia 1800 se interesó por verificar cuanto calor se transmite por las franjas del espectro de luz solar, teniendo presente que cada color deja pasar un nivel diferente de calor. Para esto, hizo pasar un haz de luz proveniente del sol a través del prisma, el rayo se difractó y produjo el espectro de colores que se extienden en franjas que van desde el rojo hasta el violeta, como era de esperar. Después de esto, puso en cada franja un termómetro para ver si existía diferencia alguna de temperatura en cada color; y colocó un termómetro aparte para tenerlo como referencia, cerca de la franja roja. Tuvo como resultado que no había diferencia de temperatura entre cada color, pero en el termómetro de referencia tenía una temperatura mayor que los otros termómetros, es decir, que había mayor temperatura en la zona infrarroja; así encontró que esta radiación invisible por niveles inferiores al rojo se comporta de la misma manera que la luz visible asociándole los mismos comportamientos de reflexión, refracción, absorción y transmisión. Era la primera vez que alguien demostraba que había otra forma de iluminación o radiación que era invisible al ojo humano.

En esta línea de relaciones entre luz y calor también están enmarcados los aportes hechos por los franceses Pierre-Simón Laplace (1749-1827) y Laurent de Lavoisier (1743-1794), porque en el último cuarto del siglo XVIII produjeron uno de los aportes más significativos entorno a la

cuantificación del calor, un problema que para la época era difícilmente de superar, debido a que no contaban con los dispositivos para medir la cantidad de calor.

Para esta época las dos teorías más acertadas del calor eran: 1) Donde se consideraba como un fluido, *el calórico*, que es capaz de combinarse y pasar de un cuerpo a otro; y 2) la teoría cinética, que se basaba en los movimientos de los componentes internos de la materia debido al calor. Sin embargo, los experimentos utilizados por Lavoisier y Laplace se encajaban perfectamente en estas dos teorías, descrito en el primer apartado de su libro *Mémoire sur la chaleur*. *“Puesto que ambas hipótesis responden bastante bien a algunos fenómenos particulares, señalan que no habiendo manera de decidir sobre una u otra forma de entender la naturaleza del calor “lo que nos queda es observar sus efectos... podemos elegir uno fácil de medir, y que sea proporcional a su causa”* (Garzon, 2015). Con base en esto, el siguiente apartado evidencia dicho fenómeno:

*“Si ponemos en contacto dos cuerpos cuya temperatura es diferente, las cantidades de movimiento que se comunicarán mutuamente serán en principio desiguales; la fuerza viva de las más frías se incrementará en la misma cantidad que disminuirá la fuerza viva de la otras, y este aumento tendrá lugar hasta que las cantidades de movimiento comunicadas de una parte y de otra sean iguales; en este estado la temperatura de los cuerpos alcanzará la uniformidad.*

*Esta forma de mirar el calor explica fácilmente por qué el impulso directo de los rayos solares es inapreciable, mientras que los rayos producen mucho calor.*

*Su impulso es el producto de su masa por su simple velocidad; sin embargo, aunque esta velocidad sea excesiva, su masa es tan pequeña, que este producto es casi nulo, en lugar de que su fuerza viva sea el producto de su masa por el cuadrado de su velocidad, el calor que ésta representa, es de un orden más superior al de su impulso directo. Este impulso sobre un cuerpo blanco, que refleja ampliamente la luz, es más grande que en un cuerpo negro, y sin embargo los rayos solares comunican al primero menos calor, porque estos*

*rayos, al reflejarse, llevan su fuerza viva, que transferirán al cuerpo negro que los absorbe”.*

En este caso, en el calor que es capaz de emitir o absorber un cuerpo, o simplemente la radiación que puede emitir un cuerpo, se puede relacionar con la luz que es radiada por este, estableciendo así otra relación entre la luz y el calor.

Por otra parte, el físico alemán Max Planck (1858-1947) en su libro *The Theory of Heat Radiation*<sup>2</sup> traducida por Martin Masius, expone en una primera parte que el calor se puede propagar en un medio estacionario bien sea por conducción o por radiación. La primera depende de la temperatura del medio en el cual esta tiene lugar, es decir, de la distribución no uniforme de la temperatura en el espacio, como una medida del gradiente de temperatura. La segunda, es totalmente independiente de la temperatura del medio, por ejemplo, si se hacen pasar rayos del sol por un lente de hielo a 0°, en el foco de este se concentran los rayos que encienden un cuerpo inflamable, sin aumentar la temperatura del lente de hielo. En palabras de Planck, *“la radiación es un fenómeno más complicado que la conducción de calor. La razón para esto, es que el estado de la radiación en un instante dado y un punto del medio no pueden ser representados, cómo el flujo de calor por conducción, por un solo vector (esto es, una sola magnitud direccionada). Todos los rayos de calor que en un instante dado pasan a través de un punto en el medio son perfectamente independientes uno del otro, y con el fin de especificar completamente el estado de radiación, la intensidad de radiación debería ser conocida en todas las direcciones, infinita en número, que pasan a través del puntos en cuestión; para éste propósito, dos direcciones opuestas deberían ser consideradas como distintas, porque la radiación en una de aquellas es bastante independiente de la radiación en la otra”.*

Para Planck, la radiación era un fenómeno interesante de analizar porque para él los rayos de luz provenientes del sol son también rayos de calor. Y al ver que la radiación abarcaba una gran complejidad, dispuso sus investigaciones para estudiar la distribución de energía radiada por un cuerpo negro como una función de la temperatura.

Un cuerpo negro en general se puede entender como una sustancia ideal que absorbe toda la luz que llega a él, y desde la termodinámica, como un emisor perfecto de radiación. Además,

---

<sup>2</sup> Anexo.

para esta época era conocido que cuando un cuerpo es moderadamente calentado, emite una radiación invisible donde la frecuencia de las ondas son demasiado bajas para actuar sobre el ojo humano y la única manifestación perceptible es en forma de calor. Por ejemplo, cuando un trozo de hierro se calienta, la luz que emite al comienzo es de un rojo tenue, después de un lapso de tiempo se torna de un rojo más brillante, pasando por toda la gama del espectro de luz visible, hasta que finalmente llega a un blanco resplandeciente.

Entonces, el problema de la radiación de un cuerpo negro consiste en determinar cómo cambia la intensidad de la energía radiada de las diferentes frecuencias con la temperatura. Por ejemplo, a una temperatura dada, cómo varía la cantidad de energía radiada en el rojo con respecto a la energía radiada en otras frecuencias como el naranja, azul, violeta etc.

Para esto, Planck parte de la premisa de que el espectro de radiación de un cuerpo negro se debía a una situación de equilibrio termodinámico y además era un proceso irreversible. El problema se planteaba de la siguiente manera: si se inyecta una distribución inicial arbitraria de energía en una cavidad aislada, la distribución de energía tenderá al equilibrio a medida que la energía es absorbida y reemitida por cualquier mota de material negro. La aproximación al equilibrio es irreversible y, por tanto, la entropía tiene que aumentar al llegar al equilibrio termodinámico entre la radiación y la materia.

Los avances en la teoría de radiación siguieron este curso de curiosidades y diversos intereses para comprender dicho fenómeno; gracias a estos resultados se produjeron avances como por ejemplo, en la espectroscopia atómica para saber de qué están hechas las estrellas, de que se compone el universo y para poder evidenciar fenómenos que no son tangibles con nuestros sentidos.

En este campo, se han podido establecer distintas escalas de radiación dependiendo de la frecuencia y la longitud de onda que emita la fuente de emisión, y a partir de esto, se determinan los efectos que pueden llegar a producir. Es bien conocido por los medios que la radiación ultravioleta es perjudicial para la salud por los efectos que ésta produce en la piel, y también, como se dijo anteriormente, que la radiación infrarroja emite una mayor temperatura que la radiación de luz visible.

Para los intereses del trabajo, el cual se enfoca en la contaminación invisible (para ser más precisos sobre la radiación por radiofrecuencia), se hablará de radiaciones no ionizantes, entendiendo esta como aquella radiación que no es capaz de ionizar la materia, que están comprendidas en el espectro que abarca a la radiofrecuencia y el ultravioleta.

## **SOBRE LA RADIOFRECUENCIA.**

Según la ANE (Agencia Nacional del Espectro)<sup>3</sup>, el término radiofrecuencia por lo general se suele referir a fenómenos relacionados con el medio en el que se transportan las telecomunicaciones (radio, televisión, telefonía) que comprende frecuencias que van de los 3 MHz a los 3 GHz. Este espectro de radiofrecuencia se divide en tres bandas de frecuencia que ofrecen diferentes servicios por parte de la industria:

- La banda UHF (ultra high frequency o ultra alta frecuencia) tiene un rango de frecuencia que va de los 300 MHz a los 3 GHz. En este rango de frecuencia, se ubican las ondas electromagnéticas que son utilizadas por las compañías de telefonía fija y telefonía móvil, distintas compañías encargadas del rastreo satelital de automóviles y establecimientos, y las emisoras radiales como tal.
- La banda VHF (very high frequency o muy alta frecuencia) tiene un rango de frecuencia que va de los 30 MHz a los 300 MHz. También es utilizada por las compañías de telefonía móvil y terrestre y las emisoras radiales, además de los sistemas de radio de onda corta (aficionados) y los sistemas de telefonía móvil en aparatos voladores. Es una banda mucho más potente que puede llegar a tener un alcance considerable, incluso, a nivel internacional.
- La banda HF (high frequency o alta frecuencia) tiene un rango de frecuencia que va de los 3MHz a los 30 MHz. Tiene las mismas prestaciones que las bandas anteriores, pero esta resulta mucho más “envolvente” que el anterior puesto que algunas de sus “emisiones residuales” (pequeños fragmentos de onda que viajan más allá del aire

---

<sup>3</sup> Es es la entidad que se encarga de planear estratégicamente el uso del espectro radioeléctrico, así como su vigilancia y control en todo el territorio nacional colombiano.

terrestre), pueden chocar con algunas ondas del espacio produciendo una mayor cobertura de transmisión.

Sin embargo, aunque hay múltiples fuentes encargadas de difundir información acerca de este tipo de radiación, no es claro lo que comunican al público, debido a que en la literatura se encuentran difusas definiciones que no permiten conceptualizar este término; y se tiende a generar explicaciones alrededor de la radiofrecuencia que pueden ser o no acertadas. Ejemplo de esto ocurre cuando en una comunidad se instala una antena de telefonía celular, aquí se genera una gran controversia por los posibles efectos que esta genera sobre la salud, y no se dan argumentos teóricos que sustenten estos efectos. Otro ejemplo de esto es cuando la radiofrecuencia se utiliza para productos estéticos; los aparatos que utilizan esta radiación ayudan a estirar las fibras de colágeno, dando importancia a los resultados que produce y no a los posibles efectos negativos que podría dejar al utilizarlos. Por tal razón, es importante que la sociedad conozca en que consiste este tipo de radiación, que desde una primera aproximación, se comprendan los efectos físicos que esta puede lograr.

Al hablar de radiofrecuencia y sus múltiples aplicaciones, se suele referir en primera instancia a la radio, cuyas bases se encuentran en los experimentos de Hertz. Estos experimentos fueron cruciales tanto en el campo disciplinar como en el industrial, lograron que la teoría de Maxwell fuera aceptada de manera cabal en la comunidad científica y que se lograran grandes avances en la comunicación inalámbrica, aunque este no fuera de su interés inicial.

Heinrich R. Hertz (1875 – 1894) en 1887 comenzó con estos experimentos cuando Hermann von Helmholtz le presenta un problema que planteaba la Academia de Ciencias de Berlín. La cual ofrecía un premio a la primera persona que demostrara experimentalmente la existencia de algún efecto electromagnético al variar la polarización de un material dieléctrico. Para esto, Hertz sabía que dicho efecto podía deducirse de la teoría de Maxwell, que a grandes rasgos decía que las perturbaciones electromagnéticas tenían una velocidad finita (la velocidad de la luz); se encontró con que este efecto era demasiado débil, y por ende, imperceptible para los instrumentos construidos hasta la época.

Hertz procedió a elaborar los cálculos necesarios para poder encontrar dicha polarización; se encontró que al utilizar corrientes alternas de alta frecuencia podría observar algún efecto en los límites de proximidad. Con esto comenzó con una serie de experimentos que están bien

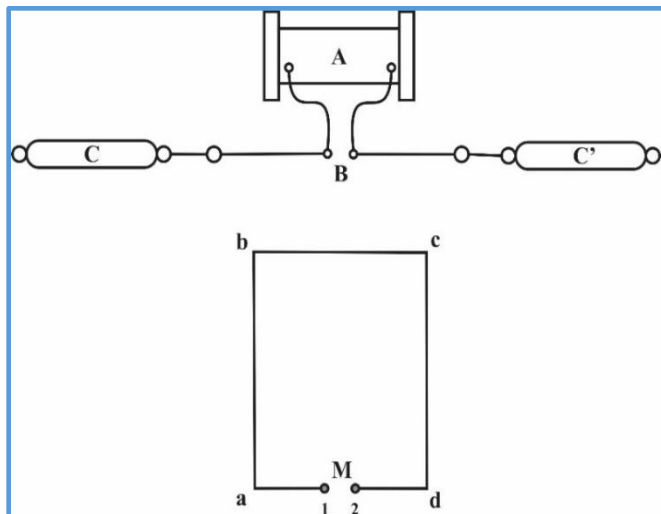


detallados en su libro “*electric waves*” donde comienza describiendo el problema inicial y como este fue cambiando a medida de que se encontraba con algún obstáculo<sup>4</sup>. En el transcurso de estos experimentos se encontró con dos fenómenos inesperados, uno relacionado con la influencia de la luz ultravioleta, y otro con la detección de los efectos electromagnéticos a distancias superiores a las esperadas.

Este último efecto, se considera que fue el inicio para el desarrollo de las telecomunicaciones, porque permitió entender la radiación por radiofrecuencia y sus aplicaciones. El montaje inicial que elaboró fue el siguiente:

Partiendo del hecho que ya sabía que tenía que utilizar circuitos de alta frecuencia para poder detectar la variación de la polarización de un material dieléctrico, Hertz comienza a utilizar circuitos de carga y descarga para poder generar las oscilaciones necesarias. El experimento le permitió evidenciar la inducción mutua entre dos circuitos, un emisor y un receptor, y le dio a Hertz una idea para demostrar la realidad de las oscilaciones; sabía que si la descarga era oscilatoria debería aparecer el fenómeno de resonancia entre las corrientes inductivas e inductoras.

Si el circuito receptor esta sintonizado con la frecuencia de la fuerza electromotriz variable que actúa sobre él, vibrará por simpatía; pero si no está sintonizado, hará falta una fuerza electromotriz mucho mayor para producir vibraciones. La frecuencia natural de un circuito oscilante depende de su coeficiente de autoinducción y de su capacidad electrostática; y estas magnitudes dependen de la longitud del cable. Entonces el receptor puede sintonizarse modificando su amplitud. Para lo cual elaboro el siguiente montaje:



Hertz podía ajustar la frecuencia del circuito abierto C-C' modificando el tamaño de los conductores metálicos C y C' en los extremos del circuito donde la carga se acumula durante cada vibración. Ajustando la longitud del circuito secundario se sintonizaron los dos circuitos

ollo del trabajo-

Imagen 1. Experimento de Hertz que permite evidenciar la inducción mutua entre dos circuitos.

a la misma frecuencia, consiguiendo así la chispa inducida.

Estos fenómenos de fuerzas eléctricas le permitieron mostrar que estas perturbaciones se describían según la teoría de Maxwell, donde todas las perturbaciones eléctricas se propagan a la velocidad de la luz (300000 km/s). Basándose en los cálculos anteriores, la corriente abierta primaria debería oscilar a  $1,5 \times 10^{-5}$ , entonces las oscilaciones provocarían la propagación de una onda fuera del aparato con un periodo igual al de las oscilaciones. A una distancia muy corta del aparato habría efectos a una velocidad finita de propagación del campo.

Siguiendo con esta idea, Hertz, luego de varios experimentos, demostró la existencia de ondas electromagnéticas comparando las oscilaciones de su aparato con las ondas eléctricas propagadas por un cable, obteniendo como resultado que la perturbación eléctrica viajaba por el aire a una velocidad muy cercana a la de la luz.

Al estar convencido de que la acción de una oscilación eléctrica se extiende como una onda en el espacio, planeo experimentos con el objetivo de concentrar esta acción y hacerlo perceptible a grandes distancias. Para ello altero el dispositivo emisor para poder hacer más perceptible la chispa y lo puso en la línea focal de un gran espejo cóncavo; este primer intento fracasó debido a la desproporción entre la longitud de onda (4,5 metros) y las dimensiones del espejo. Posteriormente Hertz observó que podría realizar los experimentos aumentando la frecuencia de oscilación diez veces más, con lo que la longitud de onda era de una décima parte (45 cm). Con estas ondas y con un espejo cilíndrico cóncavo de dos metros de alto y dos metros de ancho, pudo concentrar las ondas y producir distintos rayos de fuerza eléctrica, y detectándolos con un espejo de las mismas dimensiones; dando lugar a experimentos que comúnmente se realizan con luz y calor radiante. En resumen, estos fueron los experimentos que realizó Hertz:

- La producción del rayo.

Para producir el rayo, tuvo en cuenta que si el emisor está configurado en un espacio libre bastante grande, se puede, con la ayuda del conductor circular, detectar cerca de él a menor escala los fenómenos que ya había observado y descrito anteriormente. La mayor distancia a la que las chispas podrían ser percibidas en el receptor fue de 1,5 metros. Con esto dispuso el emisor en la línea focal de un espejo metálico cóncavo a una distancia de 12,5 cm, un poco más

grande que un cuarto de la longitud de onda utilizada. Si ahora se investiga la vecindad del oscilador con el conductor circular, no hay acción alguna detrás del espejo o en cualquiera de los lados del mismo; pero en la dirección del eje óptico del espejo de las chispas pueden ser percibidos hasta una distancia de 5-6 metros. A continuación, se construyó un segundo espejo, exactamente similar al primero, y se fijó el receptor rectilíneo a él. Se esperaba encontrar que, por interceptar el rayo con este aparato, Hertz debería ser capaz de observarlo a distancias aún mayores; y el evento demostró que no estaba equivocado. En las habitaciones que estaban a su disposición podía percibir las chispas de un extremo al otro. La mayor distancia a la que era capaz, por hacer uso de una puerta, para seguir el rayo era 16 metros.

- Propagación rectilínea.

Al poner una placa metálica de zinc en medio de los dos espejos cóncavos y en ángulo recto en dirección del rayo, las chispas secundarias desaparecen produciendo sombras; y cuando se retira la placa, la chispa nuevamente aparece. Al situar en la misma posición una placa de material aislante las chispas no desaparecen, lo cual se evidenciaba al hacer pasar el rayo por un tabique de madera o una puerta. Si se ponen dos placas metálicas con una abertura, las chispas disminuyen o aumentan dependiendo del tamaño de la abertura, si la abertura se hace cada vez más estrecha, las chispas se vuelven más débiles, y desaparecen cuando la anchura de la abertura se reduce por debajo de 0,5 metros; y aumentan cuando la abertura es de 1.3 metros. No hay límite geométrico para el rayo o las sombras; no hay complicación alguna en producir fenómenos correspondientes a la difracción.

- Polarización.

Se elaboró una pantalla con dimensiones de dos metros de alto por dos metros de ancho con cables de aluminio de 1 mm de espesor separadas tres centímetros paralelos entre sí; si los dos espejos se establecen ahora con sus líneas focales paralelo y la pantalla de alambre se interpone perpendicularmente al rayo con la dirección de las líneas focales, la pantalla prácticamente no interfiere en absoluto con las chispas secundarias. Pero si la pantalla estaba paralela a las líneas focales, el rayo se detiene completamente; aquí, en lo que respecta a la pantalla, esta se comporta como una placa polarizadora de luz. Además cuando el emisor está en una posición vertical de las oscilaciones de esta fuerza, sin duda, tienen lugar las chispas en el plano vertical a través del rayo, y están ausentes en el plano horizontal. Pero los resultados de los experimentos con

corrientes alternas lentamente no dejan lugar a duda de que las oscilaciones eléctricas son acompañados por las oscilaciones de fuerza magnética que tienen lugar en el plano horizontal que pasa por el rayo, son cero en el plano vertical.

- Reflexión.

Hasta ahora ha sido evidente con los espejos que la fuerza eléctrica es reflejada y que este efecto se puede investigar más a fondo. Los dos espejos cóncavos se colocaron uno al lado del otro, pero sin una superficie reflectante cercana a ellos, como era de esperarse en el receptor no se evidenciaron chispas. Al poner una superficie reflectante en un ángulo de incidencia de  $45^\circ$ , que para este caso fue la pantalla de los cables de cobre paralelos del experimento anterior, se encontró que el receptor permanecía oscuro cuando los cables estaban perpendiculares a la dirección de las oscilaciones, pero las chispas comenzaron a aparecer tan pronto como los cables coincidieron con la dirección de las oscilaciones. Si la pantalla se gira alrededor de su eje vertical, las chispas comenzaban a debilitarse; las chispas eran más fuertes cuando la placa estaba inclinada a  $45^\circ$  respecto a la línea focal de los dos espejos.

- Refracción.

Con el fin de averiguar si alguna refracción del rayo se produce al pasar del aire al otro medio aislante, se elaboró un gran prisma hecho de un material duro, para este caso un prisma hecho de asfalto. La base era un triángulo isósceles 1,2 metros en el lado, y con un ángulo de refracción de cerca de  $30^\circ$ ; el prisma se montó sobre un soporte de tal altura que el medio de su borde refractante estaba en la misma altura que las vías de chispas primarias y secundarias. Esto ocasionó que las chispas en el dispositivo receptor no fueran percibidas, y al moverlo radialmente, las chispas comenzaron a aparecer, donde las chispas eran más fuertes a una desviación de  $22^\circ$ . Un ángulo de refracción de  $30^\circ$  y una desviación de  $22^\circ$  en la vecindad de la desviación mínima corresponde a un índice de refracción de 1,69. El índice de refracción de los materiales de paso como para la luz se da como entre 1,5 y 1,6.

Hasta aquí se han explicado brevemente los experimentos que elaboró Hertz para demostrar la forma de cómo se propaga la perturbación electromagnética y como percibirla a grandes distancias. Para estos últimos experimentos, denominó estos fenómenos con el término de rayos de fuerza eléctrica; y concluye esto con el siguiente apartado:

*“Hemos aplicado el término de rayos de fuerza eléctrica a los fenómenos que hemos investigado. Quizá Podemos designar más como rayos de luz de gran longitud de onda. Los experimentos descritos me parecen, en todo caso, eminentemente adaptado para eliminar cualquier duda sobre la identidad de la luz, el calor radiante, y ondas electromagnéticas en movimiento. Creo que a partir de ahora tendremos una mayor confianza en hacer uso de las ventajas que esta identidad nos permite derivar tanto en el estudio de la óptica y de la electricidad.”*<sup>5</sup>

Estos experimentos fueron cruciales tanto como en el campo académico como en el industrial, porque permitió que la teoría de campos tomara validez en la explicación de varios fenómenos y no se tomara solo en cuenta la acción a distancia. Por otro lado, fueron la chispa que detonó la evolución de las tecnologías de comunicaciones que se viven hoy en día; y permiten comprender los posibles efectos que estos puedan tener, ya que con las investigaciones que fueron mencionadas, la radiación en ultimas se puede entender como aquella perturbación electromagnética que tiene efecto sobre la materia y tiene propiedades direccionales, que además de eso inevitablemente está presente todo el tiempo en el medio.

---

<sup>5</sup> Traducción realizada de la conclusión del capítulo *On Electric Radiation*.

### **CAPÍTULO III.**

## **CONTAMINACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.**

### **CAMBIOS Y ADAPTABILIDADES.**

La variedad de cambios que puede experimentar una sociedad como consecuencia de la interacción entre el hombre y su entorno natural, sin duda alguna es muy amplia; así, en éste capítulo se focaliza la atención en una de ellas: la manera acelerada en que se están produciendo los avances tecnológicos.

Este cambio en el entorno social tiene su grado de importancia aquí, porque en las últimas décadas se ha convertido en un elemento usado dentro de las sociedades de manera indiscriminada, a tal punto que, por ejemplo, es muy común ver a las personas de diferentes clases sociales utilizando un celular multifuncional de forma masiva y atemporal. En ese sentido, no solo la demanda de celulares, sino de una amplia gama de aparatos tecnológicos hace que en el entorno se concentren cada vez más una mayor cantidad de señales, por así decirlo.

Por otra parte, así como son evidentes algunos beneficios que otorgan a las sociedades estas invenciones tecnológicas, también es importante mostrar cómo alrededor de este tema se han ido generando cuestionamientos que hasta el momento no están resueltos pero que a pesar de ello vale la pena realizar un acercamiento.

Pues bien, en un primer momento la manera de exponer el panorama es a partir del problema común alrededor de la exposición a Campos Electromagnéticos CEM<sup>6</sup>. Se reconoce que entre la gama de campos magnéticos y eléctricos naturales, los rayos solares son un ejemplo de la radiación que está presente en nuestra vida desde los inicios (García, 1992) y son parte del 84% de la radiación natural que recibe el hombre (Bautista & Perdigón, 2013). Así, se ratifica que estos campos han tenido, tienen y seguirán teniendo un factor de importancia para la existencia de los seres vivos en la tierra, como una clase de radiación muy propia a la vivencia de los sujetos y además con un factor de adaptabilidad muy natural con el paso del tiempo.

Además, también se reconoce que existen Campos electromagnéticos de otras procedencias, que han ido apareciendo con la tecnología contemporánea y especialmente con la mejora continua de los servicios de telecomunicaciones.

Enric Aulí es un ambientalista y experto en bioconstrucción quien en su libro sobre ¿Qué es la contaminación electromagnética? muestra una clasificación a estos nuevos Campos Electromagnéticos, de tal manera que ubica por un lado aquellos de origen humano voluntario, donde los Campos Electromagnéticos se utilizan como el medio para transportar la señal de las telecomunicaciones; por ejemplo allí se ubican las señales que usan los celulares; por otro lado, él clasifica a otro grupo de Campos Electromagnéticos creados de manera involuntaria por el hombre, porque allí son generados como efecto secundario al uso de aparatos que utilizan corrientes alternas, por ejemplo la emisión de radiación debida a las torres de alta tensión que funcionan con corrientes alternas.

Acorde con lo anterior, de estos 2 tipos de Campos electromagnéticos se hacen 2 apreciaciones, la primera es que son el resultado de la invención del hombre, razón por la cual están inmersos dentro del grupo de la radiación artificial y la segunda es que aunque uno sea creado con un objetivo específico y el otro no, sin duda alguna ambos están presentes continuamente en el ambiente sumándose a otros tipos de radiación o Campos Electromagnéticos existentes (*Naturales.*)

---

<sup>6</sup> Campos Electromagnéticos. Son la combinación de dos perturbaciones en el espacio que se dan simultáneamente. Una eléctrica y la otra magnética.

De esta manera, el tema central tiene que ver con esa presencia continua de Campos electromagnéticos en el ambiente, mencionada anteriormente, y a los cuales se está expuesto todo el tiempo. Campos electromagnéticos conocidos como *Contaminación Electromagnética*.

Alrededor de la palabra contaminación, se suscitan relaciones con la presencia de agentes físicos o químicos que pueden ser nocivos o capaces de alterar el medio, una situación muy cercana se da con la presencia de basuras dentro de los ríos, donde la contaminación misma se puede observar, oler o coger; pero cuando se relaciona con la *contaminación invisible - contaminación electromagnética - electrosmog*, empieza a perder sentido el acercamiento que antes era claro, porque con ésta clase de contaminación los órganos sensoriales son impotentes para dar cuenta de su presencia.

En resumen la Contaminación Electromagnética es una polución omnipresente causada por radiaciones de campos Electromagnéticos, que se atañe a una sobreproducción acelerada, utilización y acoplamiento de aparatos tecnológicos en los estilos de vida; aparatos como hornos microondas, teléfonos celulares, radios, televisores, wifi, antenas repetidoras, satélites, torres de alta tensión, internet, chat, etc. Todos ellos son ejemplos de fuentes de emisión, que emplean para su funcionamiento señal de Radio Frecuencia.

### *¿Es un problema Global?*

El tipo de incertidumbre con respecto a los posibles efectos negativos sobre la salud de la Campos Electromagnéticos o radiación electromagnética de baja frecuencia LF<sup>7</sup> ha sido un problema muy importante alrededor del mundo, porque durante las dos últimas décadas se ha producido un aumento excesivo de nuevas tecnologías que hacen uso de esa señal y también por la demanda en la utilización de las mismas dentro de la sociedad.

Las entidades que hasta el momento son partícipes de este problema tanto a nivel internacional como nacional son organizaciones no gubernamentales, centros médicos, entidades de salud pública, entre otras, las cuales hacen uso de una gama amplia de disciplinas para sus investigaciones. En el ámbito internacional se encuentran: La Organización Mundial de la Salud (WHO)<sup>8</sup>, la Comisión Internacional para Protección a la Radiación no Ionizante (ICNIRP)<sup>9</sup>, el

---

<sup>7</sup> *Low Frequency* por su sigla en inglés.

<sup>8</sup> World Health Organization por su sigla en inglés.



Grupo de Expertos de la Comisión Europea (CSTEE), la Junta Nacional de la Protección Radiológica del Reino Unido, el Grupo de Expertos de la Sociedad Real de Canadá, Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), Grupo Independiente de Expertos en Teléfonos Móviles del Reino Unido, Consejo Alemán de la Salud, American Cancer Society de los Estados Unidos, Autoridad de las Ciencias de la Salud de Singapur, Ministerio de Salud de España, entre otros. En el contorno nacional, se visibiliza al MinTic<sup>10</sup>, la Agencia Nacional del Espectro, entidades de salud pública, universidades, normatividad Colombiana, etc.

Estos grupos de investigación son muy amplios, sin embargo hay dos de ellos que son muy importantes para este trabajo:

En primera instancia está la Organización Mundial de la Salud porque es la entidad encargada de controlar los eventos relacionados con la salud de las personas, y establecer las precauciones epidemiológicas pertinentes; también por ser la entidad que se le ha otorgado dar el último aval a las investigaciones que se realizan a nivel mundial.

En segundo lugar se encuentra la Comisión Internacional para Protección a la Radiación no Ionizante, una organización no gubernamental en el ámbito internacional, pertinente no sólo por su contribución en la elaboración de un manual que estipula los límites de exposición a la radiación no ionizante por parte de las personas, sino también por la acogida que tuvieron estas medidas en diferentes países a nivel internacional y por supuesto en Colombia.

Según el MinTic, Colombia adoptó el uso de estas medidas a partir del año 2005, como se plasma en el decreto 195 de ese año, donde se establecen los límites de exposición de las persona a Campos Electromagnéticos producidos por estaciones radioeléctricas en la gama de frecuencias de 9KhZ A 300GhZ. Límites que indirectamente deberían afectar las dinámicas cotidianas de los ciudadanos, pero para los cuales se presenta un desconocimiento de los mismos.

Por otra parte, es fundamental plasmar la inconformidad que se tiene con los límites establecidos por la Comisión Internacional para Protección a la Radiación no Ionizante, porque toma de referencia resultados experimentales basados únicamente en efectos térmicos, que como

---

<sup>9</sup> International Commission on Non – Ionizing Radiation Protection por su sigla en inglés, es una organización científica independiente.

<sup>10</sup> Es el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia.

menciona Enric Aulí, deberían establecerse límites de exposición más estrictos, basados en el “principio de precaución<sup>11</sup>”.

Al respecto, se considera importante que la normatividad de los países tengan también presente las características propias de los sujetos, por ejemplo en la edad de las personas es más vulnerable un niño y abuelo.

Hay una larga historia de los efectos de los Campos Electromagnéticos sobre los humanos, algunos datos relativos al riesgo para la salud se reunieron primero en los años 60 a partir de estudios con trabajadores expuestos a campos de extremada baja frecuencia - instalaciones eléctricas, electrodomésticos- mostrando un riesgo cancerígeno potencial.

Cronológicamente no es muy claro dar cuenta de la fecha exacta en que se generaron los primeros indicios e interrogantes alrededor del vínculo existente entre la exposición a este tipo de radiación y los efectos sobre la salud; más aún, cuando el impacto tecnológico se da en épocas diferentes para cada país.

Por otro lado, según la Organización Mundial de la Salud, desde finales de 1970 se duda si la exposición a estas frecuencias extremadamente bajas (ELF) de los campos eléctricos y magnéticos produce consecuencias adversas para la salud.

Más adelante hacia el año 1971 se hicieron estudios con relación a los riesgos para la salud por exposición a radiofrecuencias y microondas (Salud, 1984), se puede inferir por la fecha, que estos estudios tienen su origen con aparatos de la época, como por ejemplo el radar y no necesariamente que el origen se dio con el celular.

Los estudios experimentales también gastan esfuerzos considerables en la búsqueda de mecanismos que permitan predecir los efectos biológicos de los campos de baja intensidad que se encuentran en casas y ambientes ocupacionales. (IARC, 2002)

Con la publicación de la Comisión Internacional para Protección a la Radiación no Ionizante, en el año 2009, se ve un interés especial por las investigaciones con población infantil, ya que por su desarrollo fisiológico son más susceptibles a efectos dañinos; entre los ejes de

---

<sup>11</sup> El principio de precaución, fue establecido en el tratado de Roma.

investigación está el estudio de tumores especialmente los ubicados en órganos como el pulmón, la cabeza y el cuello.

Un video en internet muestra que entre las demandas contra las empresas de telecomunicaciones fue realizada por un señor quien aseveró que a su esposa se le generó un tumor con forma de antena, ubicado en el lado de la cabeza donde utilizaba el celular, este tipo de situaciones son casos que muestran insatisfacción, que generan controversias y manifestaciones por parte de las comunidades, un segundo ejemplo se da en países como España, donde la población por medio de protestas sociales lograron el retiro de antenas ubicadas en los Colegios o en sus proximidades.

La misma organización en el año 2009, enuncia que *“en los últimos años la evidencia epidemiológica sobre el uso de celulares y el risk of brain o cualquier otro tumor de la cabeza ha crecido considerablemente”* sin embargo, según ellos, los estudios que fueron publicados hasta la fecha, no demuestran un aumento en el daño como resultado de un mínimo tiempo de 10 años.

Como se puede apreciar mediante todos estos casos, hablar de las investigaciones que se han realizado recientemente se convierte en un tema muy exhaustivo por ser un problema de tipo mundial y no local, y además por ser abordado desde diferentes ramas del conocimiento, pero aun así, para generar criterios en la toma de decisiones alrededor de este tema, se considera importante hacer un acercamiento a investigadores, resultados, y proyectos, etc.

### **PROYECTOS, AUTORES E INVESTIGACIONES.**

Actualmente el conocimiento que se tiene sobre los efectos de la Radiación Ionizante permite hacer uso de ella sin mayor dificultad, ya que se conoce la interacción que tiene sobre el átomo, y sus efectos sobre el ADN. Gracias a ello, es evidente su utilización con fines terapéuticos o médicos especialmente alrededor del tratamiento del cáncer.

A diferencia de la Radiación Ionizante, con la Radiación No Ionizante a la fecha no es posible determinar sus efectos sobre la salud, porque los estudios realizados con este tipo de radiación son muy pocos, en comparación con los de RI (Gallego Serna & Torres Osorio, 2013). Aunque no se puede ocultar que durante décadas los científicos han intentado explicar cómo interacciona

el Campos Electromagnéticos con un sistema biológico, aun cuando éste no tenga energía suficiente como para ionizar un átomo o inducir calor. (Solano Vérez & Saiz Ipiña, 2009).

A continuación se dan a conocer algunas de las investigaciones que han sido más trascendentes alrededor de este tema tan controversial.

- Hacía el año 2000, la comisión Europea alertaba sobre los efectos potencialmente peligrosos de las radiaciones y recomendaba nuevos límites de exposición que hacía el 2014 no se han cambiado.

<b>Proyecto.</b>	<b>Año.</b>	<b>Descripción.</b>
<b>El Proyecto Réflex en Múnich</b>	2004	Fue un estudio financiado por la Unión Europea, que según Olle Johansson se hizo con el objetivo de replicar los resultados observados a nivel del ADN, los cuales inicialmente evidenciaba desfragmentación del ADN por causa de exposición a microondas.
<b>La Resolución de Benevento</b>	2006	Sugiere que a las empresas de telecomunicaciones no se les permita enfocar su mercado a los niños, con el objetivo de protegerlos.
<b>El reporte Bioinitiative</b>	2007-2012	Se basó en 2000 estudios científicos en el cual se da un reporte al mundo, por medio de 15 científicos. Concluye que la evidencia de riesgos para la salud de los campos electromagnéticos y las tecnologías inalámbricas (radiación de radiofrecuencias) ha aumentado sustancialmente desde 2007.
<b>La declaración de Seletun-Noruega</b>	2009	Es un informe más pequeño, comparado con el de Bioinitiative, lo que lleva a pasar de un documento de 600 hojas a uno más resumido. Este documento advierte de los problemas con el uso de wifi, y sugiere la utilización de cables o fibra óptica, tanto en hogares

		como en sitios de acceso público.
--	--	-----------------------------------

Tabla 1. Algunas investigaciones relacionadas con la contaminación invisible.

- **Investigaciones:**

A pesar de ser un tema relativamente reciente, sin duda alguna a la fecha se perciben discrepancias dentro de la cultura debido a investigaciones que circulan por medios de comunicación, como televisión, y principalmente en internet, donde videos y artículos terminan siendo los que informan, alarman y al mismo tiempo confunden al ciudadano. Con respecto al tema en cuestión se han consolidado mitos al interior de las sociedades, entre ellos están:

La exposición de las personas a estaciones base de telefonía celular y el hecho cargar el celular en los bolsillos genera cáncer.

La existencia de la Electro-sensibilidad como una nueva enfermedad implica recurrir a métodos de aislamiento como cortinas de plata para mejorar la calidad de vida de quienes la padecen, son casos dados particularmente en Suecia.

Videos en los que es posible hacer pop corn debido a la incidencia de llamadas simultaneas generadas por celulares, es uno de los ejemplos que aparecen en YouTube.

"Los teléfonos móviles en contacto con el cuerpo a una distancia menor a 1cm, determinan la exposición en particular sobre el cerebro, cuando el teléfono es llevado al oído, la exposición se compara con la emitida por la estación base más poderosa a una distancia de 10m"  
(PENDIENTE LA CITA)HUGOP. PAG34

Manillas que están hechas de piedras especiales capaces de absorber la radiación emitida por celulares, entre otros.

Sin embargo, También al interior de las investigaciones realizadas por los científicos en distintas sitios del mundo se muestran múltiples controversias, con resultados que son contundentes pero poco replicables en otros laboratorios de la comunidad científica internacional. Es allí donde se cuestiona la manera en que debe actuar el usuario de telecomunicaciones, que en últimas termina siendo todo el mundo de manera voluntaria o involuntaria.

Adicional a la carencia de replicación de los resultados, también se presentan otro tipo de obstáculos que tienen que ver con el tiempo de estudio, ya que se considera corto en comparación con el tiempo de exposición al cual se podría evidenciar algún efecto.

En el libro **Exposición a Campos electromagnéticos en el espectro de radiofrecuencia entre 0 y 300 GHz y efectos biológicos en la salud humana**, se sintetizan un gran número de estudios realizados en diferentes partes del mundo, a través de pruebas *in vitro*, *in vivo*, tanto en animales como en humanos. Al respecto consideramos importante mencionar con antelación, que aunque sea un documento de salud Pública direccionado hacia un público en general, para este caso, direccionado hacia la sociedad Colombiana y que al mismo tiempo se podría catalogar como un libro actual por haber sido publicado durante el año 2013, observamos que su manera de presentar los resultados y la terminología científica utilizada, especialmente con un léxico médico, termina por generar una barrera y al mismo tiempo poca comprensión por parte de quienes lo leen.

Entre algunos ejemplos, sobre lo que para nosotros resulta ser poco entendible en el momento de querer acercarnos a este tipo de textos preventivos, están:

*“La interacción de Lorenz resulta también en una fuerza magneto hidrodinámica en oposición al flujo de sangre.”*

Varias clases de reacciones químicas orgánicas pueden ser influidas por campos magnetos estáticos en el rango de 10 a 100mT como *“resultado de los efectos sobre los estados del spin electrónico de las reacciones intermedias”*.

Cabe mencionar también, que además de ser una terminología compleja de asimilar, la manera en que es presentada no da claridad sobre los efectos relevantes de este tipo de Radio Frecuencia, por el contrario, se tiene mucha información acerca de todas las investigaciones presentes, pero sin concretarse algo.

No vamos en busca de hacer críticas a los trabajos existentes, nuestro interés aquí, es cuestionar la manera es que se exponen temas tan complejos, de mucho estudio a nivel mundial, pero que a su vez son poco conocidos por el público.

Sin duda alguna, por otra parte este documento esboza una amplia gama de investigaciones experimentales que son relevantes en el momento que permiten ver al ciudadano la complejidad que hay cuando se busca una respuesta contundente sobre los daños en cualquier ser vivo.

A continuación presentamos algunos de los estudios que son enunciados en el libro.

**\*El principal efecto es el calentamiento de los tejidos en el organismo (pag.17)**

\* Al ser un efecto medible y replicable por la comunidad científica en diferentes partes del mundo, es un efecto que fue referencia para tomar las medidas preventivas por parte de los organismos internacionales a través de los límites de exposición.

#### **ALGUNOS ESTUDIOS IN VITRO.**

- En Salmonella, con exposición a 6,3 T no se observaron mutaciones.

- Estudios en bacterias como E.Coli no cambian el número de plásmidos por célula al ser expuestas a frecuencias entre 2450 y 4450 MHz durante una hora.

*Según los estudios In vitro, no se encuentran cambios significativos dentro de las bacterias.*

#### **ALGUNOS DE LOS ESTUDIOS EN ANIMALES:**

- E

En roedores campos superiores a 4T, los vuelve torpes e inducen respuestas de eversión.

ratones.

En el año 2005 se realizó un estudio en el que se escogieron 30 ratas y las dividieron en 3 grupos, al primero, lo expusieron a un campo electromagnético de 900 MHz 30 minutos al día por 5 días durante 4 semanas, al segundo grupo no lo expusieron ni a estrés ni a campo electromagnético (grupo control) y al tercer grupo le efectuaron una falsa exposición y encontraron que en el grupo expuesto los niveles de hormonas eran bajos, mientras que los otros grupos no presentaron diferencia en los niveles, los autores concluyen que la exposición

En otro estudio, ratas embarazadas fueron expuestas a teléfonos celulares durante la mayor parte de su embarazo, posteriormente se sacrificaron las ratas y se observaron sus ovarios para evaluar el número de folículos los cuales se encontraron en menor número frente a los ejemplares no expuestos, lo que demostraría el efecto tóxico de los CEM (8,22).

En una investigación llevada a cabo en el año 2010 por Esmekaya, se expusieron ratas Wistar de dos meses de edad a radiofrecuencia de 900MHz durante 20 minutos al día por tres semanas, se analizó posteriormente la alteración estructural en la glándula tiroidea con microscopio electrónico midiendo área de los folículos y del coloide; los resultados, fueron significativos porque relacionaba la exposición a radiofrecuencia con un incremento en el área de los folículos y del coloide lo que indica que la glándula se encontraba en estado



En el 2005 un estudio con 208 ratas expuestas por corto tiempo a una radiofrecuencia de 1439 MHz no encontró resultados significados en los niveles de melatonina o serotonina. En contraste en otro estudio que fue realizado con hámster, publicado en el 2006, se apreció un aumento en los niveles de síntesis de melatonina (8,9)

Se expuso tejido endometrial de ratas a frecuencias emitidas por celulares durante 30 min al día por 30 días con posterior medida del malondilaldehído, este es un marcador de estrés oxidativo. Los resultados obtenidos demostraron que la exposición a teléfonos celulares del tejido endometrial aumenta la apoptosis y el estrés oxidativo (8, 19, 20)

La mayoría de los estudios son realizados con ratones, y se evidencian efectos variables.

- **En Mamíferos y aves.**

Con niveles de radiofrecuencia que producen a su vez efecto térmico, se observa:

Se incrementa la pérdida de embriones y fetos.

- ✓ Malformaciones.
- ✓ Reducción del tamaño fetal y del peso.
- ✓ Infertilidad en machos.

A personas en movimiento expuestas a campos estáticos mayores a 2T les han producido náuseas y vértigo, la coordinación ojo mano y la sensibilidad al contraste se reducen (4).

- **ALGUNOS DE LOS ESTUDIOS EN HUMANOS:**

En un estudio de un grupo saudí, realizado en 19 mujeres embarazadas y 30 neonatos a término expuestos por 10 minutos, encontraron un aumento estadísticamente significativo en la frecuencia cardiaca fetal y disminución del gasto cardiaco, siendo más notable en edades gestacionales tempranas (25 – 30 semanas) (40).

La energía absorbida por la piel en primera instancia afecta la temperatura con sensación

Alteraciones en el patrón del sueño con prevalencias de 23 % en los hombres y 34% en las

El sistema cardiovascular tiene cambios en la frecuencia cardiaca y en el nivel de presión

Existe alguna evidencia de leucemia en niños que vivían en cercanías a torres de transmisión en un radio de 10Km del lugar de emisión, también se ha reportado fatiga, problemas de sueño y cefalea. (7).

A nivel ocupacional los hipersensibles refieren disturbios del sueño, irritabilidad, depresión, visión borrosa, dificultades en la concentración, náuseas, pérdida del apetito, cefalea y vértigo, además disminución de la secreción nocturna de la melatonina. (83)

Por otro lado, también se asocian entre otras implicaciones que tiene la Contaminación Electromagnética en el rango de Radio Frecuencia en la salud:

- El hierro presente en nuestra sangre y almacenado en nuestro cerebro, es muy sensible a los campos EM, lo mismo sucede con la permeabilidad de las membranas que forman los nervios, los vasos sanguíneos, la piel y otros órganos, como así también los cromosomas que forman parte del ADN.
- Una exposición a largo plazo puede resultar en un debilitamiento del sistema inmunológico y exacerbar cualquier problema de salud preexistente.
- La exposición crónica a elevados niveles de REM, sobre todo cuando se está dormido puede llevar a estrés crónico. Por lo general los efectos se pueden manifestar como cambios en la estructura de la célula.

- A lo largo de las últimas 3 décadas, la Contaminación Electromagnética ha encontrado una creciente correlación en el aumento de las tasas de leucemia de los niños que habitan en las cercanías de torres de alta tensión, como así también de aquellas personas cuyos trabajos se desarrollan en campos magnéticos intensos. (Rodríguez, 2006)

En resumen, con un tema tan controversial como se mostró que es la contaminación electromagnética y sus posibles daños sobre la salud, y sin dejar de lado que es un problema inherente a los contextos sociales contemporáneos donde los estilos de vida están cada vez más marcados al interior de las familias con el uso de nuevas tecnologías; entonces, es aquí donde se puede aseverar que desde la postura educativa no se busca corroborar experimentalmente las investigaciones o encontrar una respuesta final a la que muy probablemente será el tiempo el que más adelante contribuya con este fin.

Sin embargo, si como menciona Enríc Aulí se acepta a la Telefonía Móvil como una realidad imparable de la sociedad; y del mismo modo a los demás desarrollos tecnológicos, entonces se puede empezar a fomentar al interior de las aulas tanto medidas de precaución como de formación en criterios por parte de los estudiantes para su actuar en la vida alrededor del fenómeno de Radiación.

## **CAPÍTULO IV.**

### **PROPUESTA ALTERNATIVA PARA DOCENTES.**

Las propuestas alternativas en educación actualmente ofrecen ampliar el campo de experiencias de los estudiantes, para que logren una apropiación de los saberes científicos acorde con los hechos que suceden a su entorno. Esto implica que los estudiantes no solo generen preguntas direccionadas a fenómenos que suceden en la cotidianidad sino que también construyan otro tipo de imágenes que definen su actuar. Sin embargo, en una sociedad en la que ya se da por sentado los conocimientos y todo tiene respuesta inmediata, desde la enseñanza de las ciencias es tarea del docente contribuir en mostrar maneras distintas de abordar el fenómeno y generar un gusto, interés y deseo por conocer.

Ahora bien, en un tema tan controversial como lo es la Contaminación Invisible y los efectos negativos que puede llegar a ocasionar sobre la salud; aquí se plantea una propuesta que proyecta como meta final la generación de criterios por parte de las personas, donde se conviertan en acciones propias a su actuar como consecuencia de la ampliación de la experiencia.

Se considera que una ruta apropiada es hacer hincapié en características de estas ondas electromagnéticas, pero en ningún momento el interés está en entender el fenómeno como una interacción sostenible entre los campos magnéticos y eléctricos, que se propaga con facilidad tanto en el vacío como en cualquier medio material, sino por el contrario, es una concepción más cualitativa y experimental, donde se ve posible que el estudiante comprenda esas características a partir de sus efectos sensibles, más aún cuando se trata de un fenómeno que se encuentra en el ambiente pero que no es perceptible a simple vista o por medio de los sentidos.

De este modo, las actividades aquí planteadas se constituyen bajo con 4 intereses:

- 1) Crear conciencia del impacto que genera el cambio tecnológico en los modos de vida en los últimos años.
- 2) Reconocer las señales que hacen parte del entorno y que son comunes a la cotidianidad del estudiante.
- 3) Identificar modos de generar apantallamientos para saber cómo disminuir la interacción entre la radiación y el cuerpo.
- 4) Promover en los estudiantes criterios de prevención.

En este capítulo se elabora un compilado de experiencias donde se hace uso de lo que se ve para generar comparaciones con aspectos del fenómeno que no se ve, que es intangible, por esta razón la propuesta gira alrededor de hacer visible lo invisible hipotéticamente. Por otro lado, también plantea un acercamiento de corte experimental a partir de actividades que se consideran apropiadas para una población escolar de quinto de primaria.

Las actividades planteadas a continuación buscan por un lado ampliar la gama de experiencias de los estudiantes y por el otro generar en ellos un acercamiento hacia el fenómeno de Radiación al cual se está continuamente expuesto. Las actividades están categorizadas de la siguiente manera.

<b>Fases</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Descripción</b>
<b>I</b>	Crear conciencia del impacto que genera el cambio tecnológico en los modos de vida en los últimos años.	Involucra ejemplos y situaciones que hacen evidente el cambio tecnológico experimentado dentro de la sociedad ahora en comparación con hace 2 décadas.
<b>II</b>	Reconocer las señales que hacen parte del entorno y que son comunes a la cotidianidad del estudiante.	<p>Son una secuencia de experimentos que permiten evidenciar que la luz visible se puede descomponer en una gama de colores y que también está formada por una gama que no es visible.</p> <p>Se traen a colación diferentes situaciones para que los estudiantes se familiaricen con la radiación por medio de sus vivencias cotidianas.</p>
<b>II I</b>	Identificar modos de generar apantallamientos para saber cómo disminuir la interacción entre la radiación y el cuerpo.	Son actividades que caracterizan la radiación y dan cuenta de sus posibles interacciones con diferentes materiales
<b>IV</b>	Promover en los estudiantes criterios de prevención.	Son reflexiones sintetizadas por los estudiantes que les permitirán elaborar medidas de prevención relacionadas con las actividades anteriores

Tabla 2. Categorización de las actividades propuestas.

### **FASES Y ACTIVIDADES.**

A continuación se muestran las actividades propuestas mediante un diagrama. En la parte central se encuentra el nombre de la actividad planteada dentro de su fase respectiva, al lado derecho se realiza una breve descripción sobre qué consiste la actividad, hacia el lado izquierdo se muestra el objetivo que se busca con cada actividad (teniendo en cuenta que desde una misma actividad se pueden hacer reflexiones de diferentes fenómenos, es importante mencionar los intereses particulares con cada actividad), por último, en la parte inferior se muestra una imagen que representa la construcción de los artefactos para las actividades que lo requiera.

- **ACTIVIDADES EN LA FASE I:**



Imagen 2. Mapa de la fase I primera actividad: “video sobre cambios en la manera de disfrutar la infancia”

El video muestra algunas características del diario vivir de hace algunos años donde el impacto tecnológico es leve, y la contraposición con las dinámicas dentro de un contexto invadido por los desarrollos tecnológicos logrados hasta ahora. La particularidad del video, es que existe la pretensión de que al verlo los estudiantes, ellos encuentren un reflejo con sus maneras de utilizar el tiempo libre; porque la temática es alrededor de la manera en que se disfrutaba la niñez un antes y un después.

- **ACTIVIDADES EN LA FASE II:**

Sabiendo que los estudiantes poseen múltiples experiencias como consecuencia de su interacción con el entorno, en la fase II se proponen dos grupos de actividades:

A. Este grupo de actividades están encaminadas hacia el reconocimiento de otros tipos de radiación teniendo como fuente principal la luz visible generada por un foco. De este modo, se cree que reconocer el espectro de la luz visible, facilita hablar de otros fenómenos a los que se denomina también como pertenecientes a la radiación y que muy seguramente el reconoce desde su experiencia.

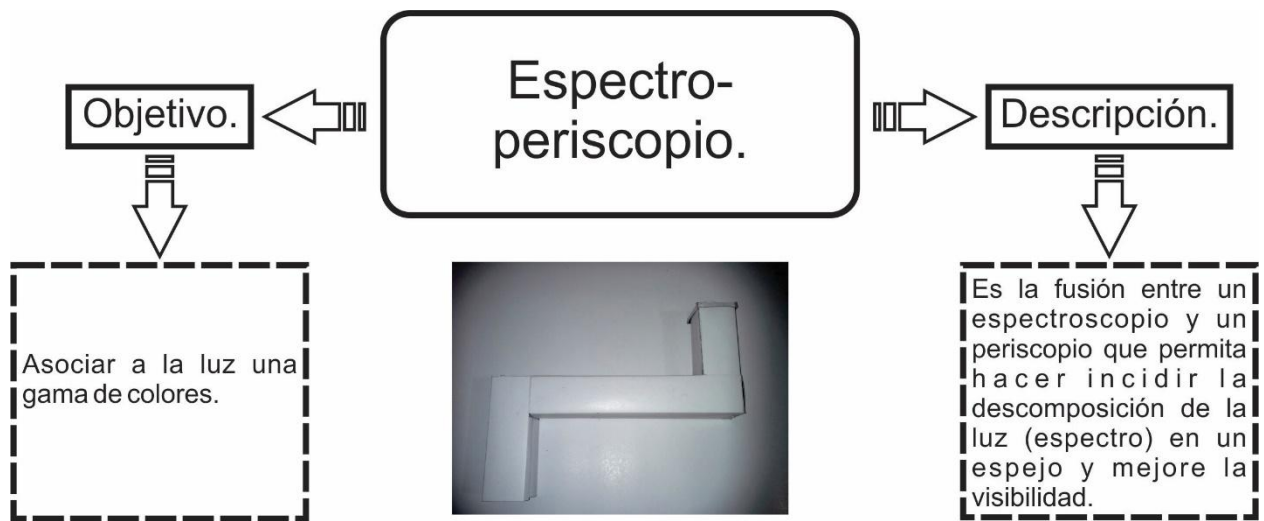


Imagen 3. Mapa de la fase II segunda actividad: "espectro-periscopio".

El experimento se consideró importante porque a partir de la construcción del artefacto, los estudiantes pueden dar cuenta de los materiales utilizados para hacer visible la descomposición de la luz en una gama de colores. Se adecuó al espectroscopio un periscopio porque permite mejorar la observación, así mismo, el aparato tiene la característica de ser desarmable y poder reubicar tanto el fragmento de cd como el espejo.

Por otro lado, es importante compartir que entre los muchos espectroscopios que se pueden elaborar, este tiene unas bases peculiares que se aprendieron en la clase de Física Nuclear, de igual manera es pertinente decir que en este trabajo no se aborda la explicación desde una mirada atómica.

Al igual que con el espectroscopio, esta actividad muestra la descomposición de la luz por medio de un espectro, pero tiene la particularidad de que la fuente de luz ya no es generada solamente por un foco sino que se amplía a una vela y una linterna.



Imagen 4. Mapa de la fase II tercera actividad: “colores alucinantes”.

Los discos de Newton son relevantes porque muestran un proceso inverso al del espectroscopio, donde se puede volver a la fuente de luz blanca original. Se busca que el estudiante infiera que a pesar de haber descompuesto la luz, su esencia sigue siendo la misma, pero que lo haga a través del juego. La base de esta experiencia es por medio de unos discos que se conocen como *zumba que zumba*. Donde la finalidad de la sesión no es en el sonido que produce sino la manera en que se combinan los colores a partir de un movimiento circular.

Se elaboraron 2 discos, con una distribución diferente de los colores sobre el cartón, una de manera concéntrica y la otra radial, para ver la diferencia entre los dos.





Imagen 5. Mapa de la fase II cuarta actividad: "disco de Newton".

B. Son ejemplos de otros tipos de radiación que permitan mostrar una variedad de fenómenos que hacen parte de la cotidianidad de las personas, para generar similitudes con la radiofrecuencia.

Al ser actividades pensadas para estudiantes de primaria, no se tienen en cuenta solo sus vivencias personales, sino también algunos ejemplos con programas televisivos como ejemplo de x-men y los Simpson.



Imagen 6. Rayos X.



Imagen 7. Rayos solares.



Imagen 8. Rayos solares.

Después de reconocer algunos ejemplos de radiación, se centra la atención en experiencias alrededor del tema que compete en la propuesta, hacia la manipulación de dispositivos que funcionen con señales de telecomunicaciones. Buscando explicaciones sobre el fenómeno mismo.



Imagen 9. Mapa de la fase II actividad: "experiencia con el control remoto de un carro o una alarma".

- **ACTIVIDADES EN LA FASE III:**

Estas actividades se hacen para reconocer la importancia de los bloqueadores o apantallamientos dentro de las rutinas diarias, entre ellas está el ejemplo del bloqueador solar para prevenir las quemaduras o manchas en la piel o el uso de mallas de alambre con cierta distribución espacial que impiden la salida de las microondas. Entonces a primera vista se reconoce que existen elementos que permiten hacer esos apantallamientos en ciertos tipos de radiación.



Imagen 10. Mapa de la fase III actividad: "bloqueador solar y puerta de microondas".

Partiendo de la posibilidad que existe de identificar ciertas características de los billetes, como por ejemplo símbolos que se ven solo en presencia de la luz ultravioleta; se hace uso de unas

gafas de sol, para ver el apantallamiento que logra generar en presencia de la luz uv y también relacionar el hecho con lo que sucede en ausencia de las gafas.



Imagen 11. Mapa de la fase III actividad "luz ultravioleta, gafas y billetes".

La actividad que se presenta a continuación permite abordar dos aspectos importantes en la propagación de la señal, una tiene que ver con la distancia a la que es imposible prender el televisor, y la otra es una concepción de direccionalidad entre el emisor y el receptor.

Además de esos dos aspectos, también se tiene en cuenta la interacción entre la señal y su manera de propagarse cuando se ponen obstáculos entre el control y el televisor. Clasificando el tipo de objetos que generan bloqueos de la señal, para poder relacionarlos con elementos del contexto que actúan de la misma manera, por ejemplo edificios o montañas.



Imagen 12. Mapa de la fase III actividad: “control del TV y propagación de la señal con obstáculos”.

Esta última experiencia contribuye a ratificar el apantallamiento de señales, pero especialmente las de telecomunicaciones, utilizada por celulares.



Imagen 13. Mapa de la fase III actividad: “interacción de tarros de diferentes materiales y llamadas de celular”.

- **ACTIVIDADES EN LA FASE IV:**

En esta fase se propone que el docente al interior del aula muestre a partir de videos la problemática alrededor de la contaminación invisible con el fin de que los estudiantes socialicen sus reflexiones con respecto a este tema y centren su atención en la importancia de tomar medidas de precaución. Por este motivo se postulan los siguientes dos videos:

- Radiación electromagnética (<https://www.youtube.com/watch?v=vrMjwabPMiw>)
- El peligro de las radiaciones electromagnéticas (<https://www.youtube.com/watch?v=wYZxcX-TIQw>).

Después de la revisión de este tipo de problemática, se proyecta que los estudiantes generen propuestas como:

- Disminuir el tiempo de exposición, por lo tanto ser consciente de moderar la cantidad de tiempo que se utilizan los artefactos.
- Reconocer que en el entorno existen maneras de bloquear las señales, por ejemplo como lo enuncian videos de youtube, con la utilización de papel aluminio.

Por otro lado también se toman algunas recomendaciones frente al uso del celular tomadas del libro *¿Qué es la contaminación invisible?* Pag. 51.

- Utilizar el móvil lo menos posible. Esta recomendación es especialmente para niños.
- Separar nuestra cabeza del teléfono móvil cuando se habla, especialmente la antena.
- Alternar ambas orejas en el uso del móvil.

Para finalizar, con estas actividades se espera que los estudiantes no solo hallan tenido un acercamiento hacia características propias de la radiación, sino también congenerar criterios para la toma de decisiones relacionadas con la contaminación electromagnética; y aunque la información que se encuentra en la literatura sobre los posibles efectos que puede generar la radiación electromagnética sobre la salud puede ser difusa y compleja, se pueden encaminar rutas alternativas como la propuesta en el documento que permite un primer acercamiento a problemáticas ambientales como lo es la contaminación invisible.

## CONCLUSIONES:

- Si bien la enseñanza de las ciencias debe estar acorde a las necesidades y cambios de la sociedad, es reiterativo que en los escenarios educativos se aborden problemáticas que corresponden al contexto, para así poder generar cambios y mejoras en la sociedad desde las aulas de clase.
- Este trabajo permite reconocer que las teorías físicas sobre electromagnetismo han sido de utilidad para tratar de dar respuesta a los efectos producidos por los CEM sobre los organismos vivos, sin embargo, los tejidos vivos presentan barreras que vuelve el sistema y sus interacciones en algo complejo.
- El avance en el estado de arte realizado en este trabajo permite dar cuenta de una pequeña parte de las investigaciones realizadas, pero también mostrar que desde la disciplina quedamos cortos para poder entender aspectos complejos de la problemática que necesariamente deben involucrar un trabajo conjunto con diferentes ramas del conocimiento.
- El hecho de que a la fecha no se hayan establecido efectos contundentes por la OMS, no quiere decir que la educación se deba mantener al margen de este tema, por el contrario, es un problema que afecta directamente a la ciencia y por qué no decirlo también a puntos de vista desde la interdisciplinariedad.
- Las empresas de telecomunicaciones se han convertido en uno de los negocios más rentables a nivel mundial, se puede inferir que estos intereses económicos son parte fundamental en el manejo de los resultados de las investigaciones o la réplica experimental. Sin embargo, en un futuro próximo se espera que se clarifique la controversia.
- Ante un tema tan controversial como éste, y con tanta información presente indistintamente por medio de comunicación y dentro de la cultura, se considera importante que los docentes, como agentes activos de la sociedad, no tomen a la ligera los acontecimientos, sino que por el contrario, desde una postura clara se contribuya a generar recomendaciones preventivas por medio del reconocimiento del fenómeno.

- Sin duda alguna la variedad de experimentos que se pueden realizar para contribuir en procesos de comprensión en el aula alrededor del tema de la radiación son múltiples, sin embargo es de resaltar que en la propuesta se omitieron varios experimentos por diferentes motivos, entre ellos por fallas técnicas, por costos o por la dificultad de conseguir los materiales. Por ejemplo la realización de un radio sin pilas, fue un experimento que se consideró viable para proponerlo en la propuesta, sugerido por libros como “*electricity experiments for children*” y también en videos de YOUTUBE, pero a pesar de conseguir los materiales, el experimento nunca funcionó.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arias, L., & Anthony, J. (2008). *Influencia del uso de la Telefonía Celular como medio de comunicación masivo*. Los Guayos, Venezuela: Ministerio Del Poder Popular Para La Educación.
- Aulí, E. (2002). *¿Qué es la contaminación electromagnética?* España.
- Barragan, J., Castillo, J. C., Chaparro, C., Castrillon, A., & Valencia, F. (2011). *Lineamientos para la enseñanza de las ciencias y la educación ambiental*. Bogotá, Colombia: Universidad Pedagógica Nacional.
- Barrientos García, B. (2007). *Experimentos simples para entender una tierra complicada*. México: UNAM.
- Bauman, Z. (2005). *Los retos de la educación en la modernidad líquida*. Barcelona, España: Gedisa. S.A.
- Bautista, J., & Perdigón, B. (2013). *Interacción radiación solar- materia y sus efectos sobre la salud*. Bogotá.
- Berkson, W. (1985). *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Eintein*. Madrid: Alianza.
- Dr. Acuña Castroviejo, D. (2006). *Informe científico sobre el efecto de los Campos Electromagnéticos en el sistema endocrino humano y patologías asociadas*. Madrid - España: Universidad de Granada.
- Fajardo Bonilla, H. A., & Remolina, Y. A. (2013). *Exposición a campos electromagnéticos en el espectro de radiofrecuencia entre los 0 y 300 Ghz y efectos biológicos en la salud humana*. Bogotá.
- Gallego Serna, L. M., & Torres Osorio, J. I. (2013). *Metodología para el diagnóstico de áreas urbanas con alta exposición a radiaciones electromagnéticas emitidas por estaciones base de telefonía móvil*. Manizales.
- García Palacios, E. M., González Galbarte, J. C., López Cerezo, J. A., Luján, J., Martín Gordillo, M., Osorio, C., & Valdés, C. (2001.). *Ciencia, Tecnología y Sociedad: una aproximación conceptual*. Madrid.: Cuadernos de Iberoamerica.
- García, A. D. (1992). *Sobre la contaminación Electromagnética Ambiental*. *Noticias Químicas*, 37.
- Garzon, M. (2015). *Memoria sobre el calor por MM. Lavoisier y De Laplace*. *Universidad Pedagógica Nacional*, 24.
- Hyland, G. J. (2000). *Physics and biology of mobile telephony*. *The lancet VOL 356*, 1833-36.
- IARC. (2002). *Radiación no ionizante: Estática y frecuencia extremadamente baja (ELF), campos eléctricos y magnéticos*. Francia: Iarc Press.
- Macedo, B., & Katzkowicz, R. (2002). *Repensando la educación secundaria*. Santiago, Chile: UNESCO/OREALC.



- Orozco, J. C. (Febrero de 2015). El enfoque CTS un lugar de Interrogación a la cultura científico-tecnológica en la educación Colombiana. Bogotá.
- Padilla Arzúzar, D., & Garzón Barragán, I. (2008). El teléfono celular: una estrategia didáctica para la enseñanza del electromagnetismo. *Tecné, Episteme y Didaxis N.º 24*, 103-112.
- Pedrerros, R. I., Amarilo, A., Reyes, R., & Torres, O. (1999). *La autorregulación Un universo de posibilidades*. Bogotá: El fuego azul.
- Planck, M. (1913). *The theory of heat radiation*. Berlín.
- Quintero, C. A. (2010). Enfoque Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS): perspectivas educativas para Colombia. *zona próxima*, 15.
- REFLEX - Risk of Potential Environmental Hazards From Low Frequency Electromagnetic Field Using Sensitive in vitro Methods. (31 de Mayo de 2004). *Quality of Life and Management of Living Resources*. Unión Europea.
- Rodriguez, E. G. (2006). Diseño de Metodología para calcular la radiación Electromagnética Medioambiental. Bogota: Universidad Sergio Arboleda.
- Salud, O. P. (1984). *Criterios de Salud Ambiental 16. Radiofrecuencias y microondas*. México.
- Segura, D. (2005). *La comprensión y la Explicación*. Bogota: Asociación Colombiana para el Avance de las Ciencias.
- Solano Vérez, M. A., & Saiz Ipiña, J. (Diciembre de 2009). Efectos Biológicos del Campo Electromagnético. Universidad de Cantabria, Grupo de Electromagnetismo.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### TEORÍA DE LA RADIACIÓN DE CALOR

*MAX PLANCK*

#### CAPÍTULO I

El calor puede ser propagado en un medio estacionario solamente de dos maneras diferentes, éstas son por conducción y por radiación.

La conducción de calor depende de la temperatura del medio en el cual este tiene lugar, o más estrictamente hablando, sobre la distribución no uniforme de la temperatura en el espacio, como una medida del gradiente de temperatura. En una región donde la temperatura es la misma en todos los puntos, no hay huella de conducción de calor.

La radiación de calor, sin embargo, es en sí misma totalmente independiente de la temperatura del medio a través de la cual pasa. Es posible, por ejemplo, concentrar los rayos del sol en un foco para pasar a través de un lente convergente de hielo, el cual permanece a una temperatura constante de 0 grados y así encender un cuerpo inflamable. En términos generales, la radiación es un fenómeno más complicado que la conducción de calor. La razón para esto, es que el estado de la radiación en un instante dado y un punto del medio dado no puede ser representado, como puede el flujo de calor por conducción, por un solo vector (esto es, una sola magnitud direccionada). Todos los rayos de calor que en un instante dado pasan a través de un punto en el medio son perfectamente independientes uno del otro, y con el fin de especificar completamente el estado de radiación, la intensidad de radiación debería ser conocida en todas las direcciones, infinita en número, que pasan a través del puntos en cuestión; para éste propósito, dos direcciones opuestas deberían ser consideradas como distintas, porque la radiación en una de aquellas es bastante independiente de la radiación en la otra.

2. Dejando de lado por ahora cualquier teoría especial de la radiación de calor, se dirá para su uso, además, una ley apoyada por un gran número de hechos experimentales. Esta ley es esa tan le

jos como sus propiedades físicas se refiere, los rayos de calor son idénticos a los rayos de luz de igual longitud de onda. El término “radiación de calor”, entonces, será aplicado a todos los fenómenos físicos de igual naturaleza como los rayos de luz. Cada rayo de luz es simultáneamente un rayo de calor. También deberá, en aras de la brevedad ocasionalmente hablar del “color” de un rayo de calor en orden para denotar su longitud de onda o periodo. Como otra consecuencia de esta ley, nosotros debemos aplicar a la radiación del calor todas las leyes conocidas de la óptica experimental, especialmente aquellas de reflexión y refracción, también como aquellas relacionadas a la propagación de la luz.

Solo el fenómeno de difracción, al menos hasta ahora ya que tiene lugar en espacios de dimensiones considerables, debemos excluirlo a causa de su naturaleza complicada. Estamos obligados a introducir desde el comienzo una cierta restricción con respecto al tamaño de las partes del espacio a ser considerado, a lo largo de la discusión se asumirá que las dimensiones lineales de todas las partes del espacio considerado, como también el radio de curvatura de las superficies bajo consideración, son grandes comparados con la longitud de onda de los rayos considerados. Con esta suposición nosotros podemos, sin error apreciable, ignorar totalmente la influencia de la difracción causada por las superficies delimitantes, y en cualquier lugar aplicar las leyes comunes de la refracción y reflexión de la luz.

Resumiendo: Distinguimos una vez por todas entre dos clases de longitudes de ciertos ordenes de magnitud completamente diferentes –Dimensiones de cuerpos y longitudes de onda.- por otra parte, incluso las diferenciales de la forma, i.e., elementos de longitud, área y volumen, será considerado como grandes comparados con la correspondiente (energía) de longitud de onda. Lo mayor, por lo tanto, la longitud de onda que nosotros deseamos considerar, son más grandes que las partes del espacio considerado. Pero, en la medida en que no hay otra restricción en nuestra elección del tamaño de las partes para ser considerado, esta suposición no dará lugar a ninguna dificultad particular.

**3.** Aún más esencial para toda la teoría de radiación de calor que la distinción entre longitudes grandes y pequeñas, es la distinción entre largos y cortos intervalos de tiempo. Para la definición de intensidad de un rayo de calor, como la energía transmitida por el rayo por unidad de tiempo, implica suponer que la unidad de tiempo es grande comparada con el periodo de vibración correspondiente al color del rayo. Si esto no es así, obviamente el valor de la intensidad de la radiación

podría, en general, depender de la fase de vibración particular en la cual se inició la medida de la energía del rayo y la intensidad de un rayo de periodo y amplitud constante podría no ser independiente de la fase inicial a menos que por casualidad la unidad de tiempo fuera un múltiplo entero del periodo. Para evitar esta dificultad, estamos obligados a postular algo mas general que la unidad de tiempo o más bien que el elemento de tiempo utilizado en la definición de intensidad, incluso si este aparece en la forma de una diferencial, debería ser grande comparado con el periodo de todos los colores contenidos en el rayo en cuestión.

La última afirmación conduce a una conclusión importante en cuanto a radiación de intensidad variable. Si, utilizando una analogía acústica, hablamos de "beats" pulsaciones en el caso de intensidades sometidas a cambios periódicos la "unidad" de tiempo requerido para una definición de la intensidad instantánea de radiación debe necesariamente ser pequeña en comparación con el período de los beats.

Ahora, ya que desde la afirmación previa, nuestra unidad debe ser grande en comparación con un período de vibración, esto deduce que el periodo de los beats debe ser grande comparado con el de una vibración. Sin esa restricción sería imposible para distinguir correctamente entre beats y simples vibraciones. Del mismo modo, en el caso general de una intensidad de radiación variable arbitraria, las vibraciones deberían tener lugar más rápidamente en comparación con los cambios de intensidad relativamente lentos. Esas afirmaciones implican, por supuesto, una cierta restricción de largo alcance en cuanto a la generalidad del fenómeno de radiación a ser considerado.

Podría adicionarse que una restricción muy similar e igualmente esencial es hecha en la teoría cinética de los gases por división del movimiento de un gas simple químicamente en dos clases: visible, gruesa o molar, e invisible, fina o molecular. Ya que la velocidad de una sola molécula es una cantidad perfectamente inequívoca, esta distinción no puede ser dibujada a menos que se haya hecho la suposición de que las componentes de velocidad de las moléculas contenidas en volúmenes suficientemente pequeños tienen ciertos valores promedio, independientes del tamaño de los volúmenes. Esto en general no necesita de ninguna manera ser el caso. Si en dicho valor promedio, incluyendo el valor cero, no existe distinción entre el movimiento del gas como un conjunto y el movimiento de calor adireccional aleatoria no se puede hacer.

Volviendo ahora a la investigación de las leyes de acuerdo con que los fenómenos de radiación ti

enen lugar en un medio que se supone está en reposo, el problema puede ser abordado de 2 maneras: Debemos seleccionar ya sea un cierto punto en el espacio e investigar los diferentes rayos pasando a través de este punto con el paso del tiempo, o debemos seleccionar un rayo distinto e investigar su historia, que es, en la manera en que fue creado, propagado y finalmente destruido. Para la siguiente discusión, será aconsejable comenzar con el segundo método de tratamiento y considerar primero los tres procesos mencionados.

**4. Emisión:** La creación de un rayo de calor es generalmente denotado por la palabra emisión. Alcorde al principio de conservación de la energía, la emisión siempre toma lugar a expensas de otras formas de energía. (calor, química o energía eléctrica, etc.) y por lo tanto esto significa que solo partículas materiales, no volúmenes geométricos o superficiales, pueden emitir rayos de calor. Es cierto que por motivos de brevedad frecuentemente hablamos de la superficie de un cuerpo como irradiando calor a su alrededor, pero esta forma de expresión no implica que la superficie en realidad emita rayos de calor. Estrictamente hablando, la superficie de un cuerpo nunca emite rayos, sino que permite que parte de los rayos procedentes del interior puedan pasar a través de ella. La otra parte es reflejada hacia el interior y de acuerdo a la fracción transmitida **la superficie parece ser mayor o menor para emitir más o menos intensidad de radiación.** (pág 4)

Consideraremos ahora el interior de una sustancia emitiendo, suponemos que es físicamente homogénea, y en esta seleccionaremos cualquier elemento de volumen de tamaño no demasiado pequeño. Entonces la energía que es emitida por radiación in unidad de tiempo por todas las partículas en ese elemento de volumen será proporcional a . Deberíamos intentar un análisis más detallado del proceso de emisión y resolver este en sus elementos, deberíamos sin duda cumplir condiciones muy complicadas, para entonces sería necesario considerar elementos del espacio de un tamaño pequeño que dejaría de ser admisible pensar en la sustancia como homogénea, y tendríamos que permitir la constitución atómica. Por lo tanto la cantidad finita obtenida dividiendo la radiación emitida por un elemento de volumen por su elemento debe ser considerada como un cierto valor de medida. Sin embargo, por regla general vamos a ser capaces de tratar el fenómeno de emisión como si todos los puntos del elemento de volumen tomaron parte en la emisión en una manera uniforme, con lo que enormemente simplifica nuestro cálculo. Cada punto de será entonces el vértice de un lápiz de rayos divergiendo en todas las direcciones. Dicho lápiz que viene de un solo punto por supuesto no representa una cantidad finita de energía, debido a que una cantida

d finita es emitida solo por un finito aunque posiblemente pequeño volumen, no por un solo punto. Ahora supondremos que nuestra sustancia es isotrópica. Por lo tanto la radiación de un elemento de volumen es emitida uniformemente en todas las direcciones del espacio. Dibuja un cono en una dirección arbitraria, teniendo cualquier punto del elemento radiante como vértice y describiendo alrededor del vértice como centro una esfera de radio uno. Esta esfera intersecta el cono en lo que se conoce como el ángulo sólido del cono, y desde la isotropía del medio se deduce que la radiación en cualquiera de tales elementos cónicos será proporcional a su ángulo sólido. Esto es válido para conos de cualquier tamaño. Si tomamos el ángulo sólido como infinitamente pequeño y de tamaño nos puede hablar de la radiación emitida en cierta dirección, pero siempre en el sentido de que para la emisión de una cantidad finita de energía es necesario un número infinito de direcciones y estos forman un ángulo sólido finito.

5. La distribución de la energía en la radiación es en general bastante arbitraria, es decir, los diferentes colores de una cierta radiación puede tener diferentes intensidades. El color de un rayo en física experimental es usualmente denotado por su longitud de onda, porque esta cantidad es medida directamente, para el tratamiento teórico, sin embargo, en su lugar usualmente se prefiere utilizar la frecuencia  $\nu$ , ya que la característica del color no es más que la longitud de onda, que pasa de un medio a otro, la frecuencia se mantiene inalterada en un rayo de luz o calor pasando a través de un medio estacionario. Debemos, por lo tanto, en adelante denotar un cierto color para el valor correspondiente de frecuencia  $\nu$  y un cierto intervalo de color para los límites del intervalo  $\nu$  y  $\nu'$ , donde  $\nu' > \nu$ . La radiación *acostada* en un intervalo de color dividida por la magnitud  $\nu' - \nu$  del intervalo, denominaremos medida de radiación en el intervalo de  $\nu$  a  $\nu'$ . Entonces vamos a suponer que si, manteniendo  $\nu$  constante, tomamos el intervalo  $\nu' - \nu$  suficientemente pequeño y se denota por el valor de la medida de radiación se aproxima a un valor límite definido, independiente del tamaño de  $\nu'$  y a esta la llamaremos brevemente “*la radiación de frecuencia  $\nu$* ”. Para producir una intensidad finita de radiación, el intervalo de frecuencia, aunque quizás pequeño, debe también ser finito. Finalmente, tenemos *que permitir* para la polarización de la radiación emitida. Dado que el medio se asumió como isotrópico los rayos emitidos no son polarizados. Por lo tanto cada rayo tiene justo dos veces la intensidad de una de sus componentes polarizadas en el plano, la cual podría ser obtenida por los rayos pasando a través de un prisma *de Nicol*.

6. Resumiendo todo lo dicho hasta ahora, podemos comparar la energía total emitida en un rang

o de frecuencia desde  $\nu$  hasta  $\nu + \Delta\nu$  en el tiempo  $\Delta t$  en la dirección del elemento cónico  $\Delta\Omega$  por un elemento de volumen  $dV$  a (1)

La cantidad finita  $\epsilon_\nu dV \Delta\Omega \Delta t$ , es llamada el coeficiente de emisión del medio por la frecuencia  $\nu$ . Esta es una función positiva de  $\nu$  y se refiere a un rayo plano polarizado de color y dirección definida. La emisión total de un elemento de volumen  $dV$  puede obtenerse a partir de este por integración sobre todas las direcciones y todas las frecuencias. Dado que  $\epsilon_\nu$  es independiente de la dirección, y como la integral del elemento cónico es  $4\pi$ , obtenemos:

$$(2)$$

7. El coeficiente de emisión  $\epsilon_\nu$  depende, no solo de la frecuencia  $\nu$ , sino también de la condición de la sustancia que emite contenida en un elemento de volumen  $dV$ , y, en general, de una manera muy complicada, acorde a los procesos físicos y químicos que tienen lugar en los elementos de tiempo y volumen en cuestión. Pero la ley empírica de que la emisión de cualquier elemento de volumen depende totalmente de lo que sucede dentro de este elemento es verdad en todos los casos (*principio de Prevost*). Un cuerpo A a  $100^\circ\text{C}$  emite hacia un cuerpo B a  $0^\circ\text{C}$  exactamente la misma cantidad de radiación como hacia un cuerpo B' igual de grande y situado similarmente a  $100^\circ\text{C}$ . El hecho de que el cuerpo A es enfriado por B y calentado por B' se debe exclusivamente al hecho de que B es más débil, B' es un emisor más fuerte que A.

Vamos a introducir una suposición adicional para simplificar que la condición física y química de la sustancia que emite depende de una sola variable, es decir, de su temperatura absoluta T. Una consecuencia necesaria de esto es que el coeficiente de emisión  $\epsilon_\nu$  depende, a parte de la frecuencia  $\nu$  y la naturaleza del medio, sólo en la temperatura T. La última afirmación excluye de nuestra consideración un número de fenómenos de radiación, tales como fluorescencia, fosforescencia, luminosidad eléctrica y química a la que *E. Wiedemann* ha dado el nombre común de “fenómenos de luminiscencia” trataremos con pura “radiación de temperatura” exclusivamente.

Un caso especial de radiación de temperatura es el caso de que la naturaleza química de la sustancia de emisión es invariable. En este caso la emisión se lleva a cabo completamente a expensas del calor del cuerpo. Sin embargo, esto es posible, de acuerdo con lo que se ha dicho, tener radi



acción de temperatura mientras los cambios químicos tienen lugar proporciona que la condición química está completamente determinada por la temperatura.

**8. Propagación** La propagación de la radiación en un medio que se supone es homogéneo, isotrópico, y en reposo tiene lugar líneas rectas y con la misma velocidad en todas las direcciones, siendo el fenómeno de difracción totalmente excluido. Sin embargo, cada rayo sufre durante su propagación un cierto debilitamiento, porque una cierta fracción de su energía es continuamente desviada desde su dirección original y dispersada en todas las direcciones. Éste fenómeno de dispersión, que no significa ni una creación ni una destrucción de energía radiante sino simplemente un cambio en la distribución, se realiza, en general, en todos los medios diferentes de un vacío absoluto, incluso en sustancias que son perfectamente puras químicamente. La causa de esto es que ninguna sustancia es homogénea en el sentido absoluto de la palabra. Los más pequeños elementos del espacio siempre exhiben alguna discontinuidad en razón de su estructura atómica. Impurezas pequeñas, como, por ejemplo, partículas de polvo, **sin** incrementar la influencia de dispersión, sin embargo aparentemente afectan su carácter general. Por lo tanto, es llamado “medio turbio” es decir, como contiene partículas extrañas puede ser apropiado considerarlo como ópticamente homogéneo, con la única condición de que las partículas extrañas así como las distancias de las partículas vecinas son suficientemente pequeñas comparadas con las longitudes de onda de los rayos considerados. En cuanto a los fenómenos ópticos, entonces, no hay una distinción fundamental entre sustancia pura químicamente y los medios turbios acabados de describir. Ningún espacio es ópticamente hueco en el sentido absoluto excepto un vacío. Por lo tanto, una sustancia químicamente pura puede ser mencionada como un vacío hecho turbio por la presencia de moléculas.

Un ejemplo típico de dispersión es ofrecido por el comportamiento de la luz solar en la atmósfera. Cuando, con el cielo claro, el sol se encuentra en el cenit solo alrededor de dos tercios de la radiación directa del sol alcanza la superficie de la tierra. El resto es interceptado por la atmósfera, siendo parcialmente absorbido y cambiado en calor del aire, parcialmente, sin embargo, dispersada y cambiada en luz del cielo (claraboya) difusa. Este fenómeno es producido probablemente no tanto por las partículas suspendidas en la atmósfera como por las moléculas del aire. Ya sea que la dispersión dependa de la reflexión, en la difracción o en un efecto de resonancia sobre las moléculas o partículas es un punto que podemos dejar completamente de lado. Nosotros sólo tenemos en cuenta el hecho de que cada rayo en su trayectoria a través de cualquier medio pierde una cierta

a fracción de su intensidad. Para una distancia muy pequeña,  $s$ , esta fracción es proporcional a  $s$ , es decir

$$(3)$$

Donde la cantidad positiva  $\mu$  es independiente de la intensidad de radiación y es llamado el “coeficiente de dispersión” del medio. Puesto que el medio se asume que es isotrópico,  $\mu$  es también independiente de la dirección de propagación y polarización del rayo. Este depende, sin embargo, como se indica por el subíndice  $\nu$ , no sólo de la constitución física y química del cuerpo sino también a un marcado grado en la frecuencia. Para ciertos valores de  $\nu$ ,  $\mu$  puede ser tan grande que la propagación de los rayos en línea recta es virtualmente destruida. Para otros valores de frecuencia, sin embargo,  $\mu$  puede llegar a ser tan pequeña que la dispersión puede ser desatendida. Por generalidad asumiremos un valor de medida de  $\mu$ . En los casos de mayor importancia  $\mu$  aumenta apreciablemente bastante como incrementa  $\nu$ , la dispersión es notablemente más grande para rayos de longitud de onda más corta; de ahí el color azul difuso de la claraboya.

La energía de radiación dispersada es propagada desde el lugar donde ocurre la dispersión de una manera similar a esa en la cual la energía emitida es propagada desde el lugar de emisión, ya que viaja en todas las direcciones del espacio.

## ANEXO 2.

### ONDAS ELECTRICAS

Heinrich Hertz.

Capitulo IX.

Radiación eléctrica.

Tan pronto como yo había logrado demostrar que la acción de una oscilación eléctrica se extiende como una onda en el espacio, yo planeé experimentos con el objeto de concentrar esta acción y lo que es perceptible a mayores distancias poniendo el conductor primario en la línea focal de un gran espejo parabólico cóncavo. Estos experimentos no condujeron al resultado deseado, y me sentí seguro de que la falta de éxito fue una consecuencia necesaria de la desproporción entre la longitud (4.5 metros) de las ondas utilizadas y las dimensiones que fui capaz, bajo las circunstancias más favorables para dar al espejo. Recientemente he observado que los experimentos que he descrito se pueden llevar a cabo bastante bien con oscilaciones de más de diez veces la frecuencia, y con las ondas de menos de una décima parte de la longitud de los que primero fueron descubiertos. Tengo, por lo tanto, que volver a la utilización de los espejos cóncavos, y obtener mejor resultado del que me había atrevido a esperar. He tenido éxito en la producción de rayos distintos de fuerza eléctrica, y en la realización de estos experimentos elementales con los que se realizan comúnmente con la luz y el calor radiante. El siguiente es un relato de estos experimentos.

El aparato.

Las ondas cortas fueron excitadas por el mismo método que se utilizó para la producción de las ondas más largas. El conductor primario utilizado puede ser descrito más simplemente como sigue: Imagine un cuerpo de latón cilíndrico, 3 cm de diámetro y 26 cm de largo interrumpido a mitad de camino a lo largo de su longitud por unos descargadores de chispas cuyos polos a ambos lados están formados por esferas de 2 cm de radio. La longitud del conductor es aproximadamente igual a la media longitud de onda de la oscilación correspondiente en alambres

rectos; de este en que son a la vez capaz de estimar aproximadamente el periodo de oscilación. Es esencial que las superficies de los polos del chispero se pulan con frecuencia, y también que durante los experimentos que deben ser cuidadosamente protegidos de la iluminación por secundarias descargas simultáneas; de lo contrario las oscilaciones no son excitadas. Si el chispero está en un estado satisfactorio siempre puede ser reconocido por la apariencia y el sonido de las chispas. La descarga se llevó a las dos mitades del conductor por medio de dos cables de gutapercha cubiertas que están conectados cerca del descargador de chispas a cada lado. Ya no hice uso de la gran Ruhmkorff, pero me pareció mejor usar una pequeña bobina de inducción por Keiser y Schmidt; las chispas más largas, entre los puntos, dados por esto eran 4,5 cm de largo. Se suministra corriente a partir de tres acumuladores, y dio chispas 1-2 cm de largo entre los mandos esféricos del conductor primario. Para el propósito de los experimentos la separación de la chispa se redujo a 3 mm.

Aquí, de nuevo, las pequeñas chispas inducidas en un conductor secundario fueron los medios utilizados para la detección de las fuerzas eléctricas en el espacio. Como antes, he usado en parte de un círculo que podría ser girado dentro de sí mismo y que tenía aproximadamente el mismo período de oscilación como el conductor principal. Fue hecha de alambre de cobre de 1 mm de espesor, y tenía en el presente caso un diámetro de sólo 7,5 cm. Un extremo del alambre lleva una esfera de latón pulido de unos pocos milímetros de diámetro; el otro extremo podría ser llevado, por medio de un tornillo bien aislado del alambre, dentro de una distancia excesivamente corta de la esfera de latón. Como se comprenderá fácilmente, tenemos aquí para tratar sólo con chispas de unas pocas centésimas de milímetro de longitud; y después de un poco de práctica a los jueces más de acuerdo con la brillantez que la longitud de las chispas.

El conductor circular sólo da un efecto diferencial, y no está adaptada para su uso en la línea focal de un espejo cóncavo. Por lo tanto, la mayoría del trabajo se hizo con otro conductor dispuesto de la siguiente manera: dos piezas rectas de alambre, cada uno de 50 cm de largo y 5 mm de diámetro, eran 5 cm separados. A partir de estos extremos, dos alambres de 15 cm de largo y 1 mm de diámetro, se llevaron paralelos entre sí y perpendiculares a los cables mencionados primero a una separación de encendido dispuesto igual que en el conductor circular. En este conductor fue dado a la acción de resonancia, y de hecho sólo viene un poco en juego en este caso. Hubiera sido más sencillo de poner el hueco de chispa directamente en el

medio de la alambre recto; pero el observador no podría entonces haber manejado y observado el hueco de chispa en el foco del espejo sin obstruir la abertura. Por esta razón la disposición antes descrita fue elegido con preferencia a otro que lo haría por sí han sido más ventajosa.

La producción del rayo.

Si el oscilador principal está configurado en un espacio libre bastante grande, se puede, con la ayuda del conductor circular, detectar en su vecindad en menor escala los fenómenos que ya he observado y descrito como algo que ocurre en el entorno de oscilación más grande. La mayor distancia a la que las chispas podrían ser percibidas en el conductor secundario fue de 1,5 metros, o, cuando el descargador de chispas primaria estaba en muy buenas condiciones, tanto como 2 metros. Cuando una placa plana reflectante estaba configurada a una distancia adecuada en un lado del oscilador principal, y paralela a ella, se fortalece la acción en el lado opuesto. Para ser más preciso: si la distancia elegida es o muy pequeña, o algo mayor que 30 cm de la placa debilita el efecto; se fortalece el efecto en gran medida a una distancia de 8-15 cm, ligeramente a una distancia de 45 cm, y no ejerce ninguna influencia a mayores distancias. Hemos llamado la atención sobre este fenómeno en un artículo anterior, y llegamos a la conclusión de que esa onda en el aire correspondiente a la oscilación primaria tiene una media longitud de onda de unos 30 cm. Podemos esperar encontrar un refuerzo aún más si sustituimos la superficie plana por un espejo cóncavo que tiene la del de un cilindro parabólico, en la línea focal de la que el eje de la oscilación primaria se encuentra. La longitud focal del espejo debería elegirse lo más pequeña posible, si está correctamente para concentrar la acción. Pero si la onda directa no es anular inmediatamente la acción de la onda reflejada, la longitud focal no debe ser mucho más pequeño que un cuarto de longitud de onda. Por lo tanto, me fijé en 12,5 cm como la longitud focal, y construí el espejo doblando una hoja de zinc 2 metros de largo, 2 metros de ancho y 0,5 mm de espesor en la forma deseada sobre un marco de madera de la curvatura exacta. La altura del espejo era por lo tanto 2 metros, la anchura de esta abertura de 1,3 metros, y su profundidad 0,7 metros. El oscilador principal se fijó en el medio de la línea focal. Los cables que llevan a cabo la descarga fueron conducidos a través del espejo; la bobina de inducción y las células se colocan en consecuencia detrás del espejo con el fin de estar fuera del camino. Si ahora se investiga la vecindad del oscilador con nuestros conductores, nos encontramos con que no hay acción detrás del espejo o en cualquiera de los lados de la misma; pero en la dirección del eje óptico del espejo

de las chispas pueden ser percibidos hasta una distancia de 5-6 metros. Cuando una superficie conductora plana se creó con el fin de oponerse a las ondas que avanzan en ángulo recto, las chispas podrían ser detectadas en su vecindad en mayores distancias de hasta unos 9-10 metros.

Las ondas reflejadas desde la superficie conductora refuerzan las ondas que avanzan en ciertos puntos. En otros puntos de nuevo dos conjuntos de ondas se debilitan entre sí. En frente de la pared plana se puede reconocer con el conductor rectilíneo máximos y mínimos muy distintos, y con el conductor circular los fenómenos de interferencia característicos de las ondas estacionarias que he descrito en un documento anterior. Pude distinguir cuatro puntos nodales, que estaban situadas en la pared y a 33, 65 y 98 cm de distancia de ella. Por lo tanto recibimos 33 cm como una aproximación más cercana a la media de longitud de onda de las ondas utilizadas y 1100 millonésima parte de un segundo como su período de oscilación, suponiendo que viajan con la velocidad de la luz. En cables de la oscilación dio una longitud de onda de 29 cm. Por lo tanto parece que estas ondas cortas también tienen una velocidad algo menor en los alambres que en el aire; pero la relación de las dos velocidades viene muy cerca del valor teórico (unidad) y no difiere de tanto como parece ser probable de nuestros experimentos en ondas más largas. Este fenómeno notable aún necesita elucidación. Puesto que los fenómenos solamente se exhiben en la vecindad del eje óptico del espejo, podemos hablar del resultado producido como un procedimiento de rayos eléctricos desde el espejo cóncavo.

Ahora se construyó un segundo espejo, exactamente similar al primero, y se fija el conductor secundario rectilíneo a él, de tal manera que los dos alambres de 50 cm de longitud ponen en la línea focal, y los dos cables conectados al descargador de chispas pasa directamente a través de las paredes del espejo sin tocarlo. El descargador de chispas fue por lo tanto situado justo detrás del espejo, y el observador podría ajustar y examinarlo sin obstruir el curso de las ondas. Yo esperaba encontrar que, por interceptar el rayo con este aparato, yo debería ser capaz de observarlo en distancias aún mayores; y el evento demostró que no estaba equivocado. En las habitaciones a mi disposición ahora podía percibir las chispas de un extremo al otro. La mayor distancia a la que yo era capaz, por hacer uso de mí mismo de una puerta, para seguir el rayo era 16 metros; pero de acuerdo con los resultados de los experimentos de reflexión (que se describirá en la actualidad), no puede haber ninguna duda de que las chispas podrían obtener en todo caso hasta 20 metros en espacios abiertos. Para los experimentos restantes las distancias tan grandes

no son necesarias, y es conveniente que la formación de chispas en el conductor secundario no debe ser demasiado débil, para la mayoría de los experimentos una distancia de 6-10 metros es la más adecuada. Vamos a describir el simple fenómeno que puede ser exhibida con el rayo sin dificultad. Cuando por el contrario no se dice expresamente, es de suponer que las líneas centrales de los dos espejos son verticales.

#### Propagación rectilínea.

Si una pantalla de hoja de zinc de 2 metros de altura y 1 metro de ancho se coloca en la línea recta que une ambos espejos, y en ángulo recto a la dirección del rayo, las chispas secundarias desaparecen completamente. E igualmente la sombra completa se lanza por una pantalla de papel de aluminio o papel de oro. Si un asistente camina por el camino del rayo, la brecha de chispa secundaria se oscurece en cuanto se intercepta el rayo, y de nuevo se enciende cuando se deja el camino libre. Los aisladores no detienen el rayo, pasa a través de un tabique de madera o puerta; y no es sin asombro que uno ve las chispas aparecen dentro de una habitación cerrada. Si dos pantallas conductoras, 2 metros de altura y 1 metro amplias, están configurados simétricamente a la derecha y a la izquierda del rayo, y perpendicular a la misma, que no interfieren en absoluto con la chispa secundaria tan largo como la anchura de la abertura entre ellos no es menor que la abertura de los espejos, es decir 1,3 metros. Si la abertura se hace más estrecho que las chispas se vuelven más débiles, y desaparecen cuando la anchura de la abertura se reduce por debajo de 0,5 metros. Las chispas también desaparecen si la abertura se queda con una anchura de 1,2 metros, pero se desplaza a un lado de la línea recta que une los espejos. Si el eje óptico del espejo que contiene el oscilador se hace girar a la derecha o la izquierda unos  $10^\circ$  fuera de la posición correcta, las chispas secundarias se vuelven débiles, y la rotación a través de  $15^\circ$  hace que se desaparezcán.

No hay límite geométrico sin filo o bien el rayo o las sombras; es fácil de producir fenómenos correspondientes a la difracción. Hasta ahora, sin embargo, no he tenido éxito en la observación de los máximos y mínimos en el borde de las sombras.

#### Polarización.

Desde el modo en el que se produce nuestro rayo no podemos tener duda alguna de que se compone de vibraciones transversales y está polarizada en un plano en el sentido óptico.

También podemos demostrar experimentalmente que este es el caso. Si la recepción de espejo girarse alrededor del rayo como eje hasta su línea focal, y por lo tanto el conductor secundario también, se encuentra en un plano horizontal, las chispas secundarios se vuelven más y más débil, y cuando las dos líneas focales están en ángulo recto, no chispas lo que se obtienen incluso si se mueven los espejos cerradas entre sí. Los dos espejos se comportan como el polarizador y el analizador de un aparato de polarización.

Lo siguiente había hecho fue un marco octogonal, 2 metros de altura y 2 metros de ancho; a través de este se estira alambres de cobre de 1 mm de espesor, siendo paralelos entre sí y 3 cm de distancia de los cables. Si los dos espejos se establecen ahora con sus líneas focales paralelo y la pantalla de alambre se interpone perpendicularmente al rayo con la dirección de las líneas focales, la pantalla prácticamente no interfiere en absoluto con las chispas secundarias. Pero si la pantalla se creó de tal manera que sus cables eran paralelas a las líneas focales, se detuvo completamente el rayo. En lo que respecta, a continuación, a la energía transmitida, la pantalla se comporta hacia nuestro rayo sólo como una placa de turmalina, se comporta con un rayo de la luz polarizada en un plano. El espejo de recepción ahora se colocó una vez más de forma que su línea focal era horizontal; bajo estas circunstancias, como ya se mencionó, las chispas no aparecieron. Tampoco se producen chispas cuando la pantalla se interpone en la trayectoria del rayo, siempre y cuando los cables en la pantalla estaban ya sea horizontal o vertical. Pero si la trama se estableció en una posición tal que los cables estaban inclinados en  $45^\circ$  con la horizontal a cada lado, a continuación, la interposición de la pantalla produce inmediatamente chispas en el chispero secundario. Claramente la pantalla resuelve la oscilación de avance en dos componentes y transmite solamente ese componente que es perpendicular a la dirección de sus cables. Este componente está inclinado en  $45^\circ$  a la línea focal del segundo espejo, y puede por lo tanto, después de haber sido resuelto de nuevo por el espejo, actuar sobre el conductor secundario. El fenómeno es exactamente análoga a la de brillo del campo oscuro de dos Nicols cruzados por la interposición de una placa cristalina en una posición adecuada.

Con respecto a la polarización se puede observar, además, que, con los medios empleados en la presente investigación, sólo somos capaces de reconocer la fuerza eléctrica. Cuando el oscilador principal está en una posición vertical de las oscilaciones de esta fuerza, sin duda, tienen lugar en el plano vertical a través del rayo, y están ausentes en el plano horizontal. Pero



los resultados de los experimentos con corrientes alternas lentamente no dejan lugar a duda de que las oscilaciones eléctricas son acompañados por las oscilaciones de fuerza magnética que tienen lugar en el plano horizontal que pasa por el rayo son cero en el plano vertical. Por lo tanto la polarización del rayo no consiste tanto en la ocurrencia de oscilaciones en el plano vertical, sino más bien en el hecho de que las oscilaciones en el plano vertical son de naturaleza eléctrica, mientras que aquellos en el plano horizontal de naturaleza magnética. Obviamente, entonces, la pregunta: ¿en cuál de los dos planos de la oscilación en nuestro rayo se produce?, no puede ser respondida a menos que uno especifica si la pregunta se refiere a la eléctrica o la oscilación magnética. Fue Herr Koláček quien primero señaló claramente que esta consideración es la razón por la cual una vieja disputa óptica no se ha decidido.

### Reflexión.

Ya hemos demostrado la reflexión de las ondas de superficies conductoras por la interferencia entre el reflejado y las ondas que avanzan, y también se ha hecho uso de la reflexión en la construcción de nuestros espejos cóncavos. Pero ahora somos capaces de ir más allá y separar los dos sistemas de ondas entre sí. La primera vez que puse los dos espejos en una gran sala de lado a lado, con sus aberturas orientadas en la misma dirección, y sus ejes que convergen a un punto a unos 3 metros de. Los descargadores de chispas del espejo receptor natural permaneció oscuro. Me puse al lado de una pared vertical plano hecho de esta hoja de zinc, 2 metros de altura y 2 metros de ancho, en el punto de intersección de los ejes, y ajusté de manera que era igualmente inclinados a ambos. Yo obtuve una corriente vigorosa de chispas que surgen de la reflexión del rayo por la pared. La formación de chispas cesó tan pronto como la pared se hace girar alrededor de un eje vertical a través de unos  $15^\circ$  a cada lado de la posición correcta; De esto se deduce que la reflexión es regular, no difusa. Cuando la pared se alejó de los espejos, los ejes de este último todavía mantienen que converge hacia la pared, las chispas disminuido muy lentamente. Todavía podía reconocer chispas cuando el muro estaba a 10 metros de distancia de los espejos, es decir, cuando las ondas tenían que atravesar una distancia de 20 metros. Esta disposición podría ser adoptada con ventaja para el propósito de comparar la velocidad de propagación a través del aire con otros y más lentas tasas de propagación, por ejemplo, a través de cables.

Para producir la reflexión del rayo en ángulos de incidencia mayor que cero, me permití el rayo pasar paralela la pared de la habitación en la que había una puerta. En la habitación contigua

a la que esta puerta daba puedo configurar el espejo de recepción de modo que su eje óptico pasa centralmente a través de la puerta y cruzaba la dirección del rayo en ángulo recto. Si la superficie conductora avión estaba ahora configurado verticalmente en el punto de intersección, y se ajustó a fin de que los ángulos de  $45^\circ$  con el rayo y también con el eje del espejo de recepción, apareció en el conductor secundario una corriente de chispas que no fue interrumpido por el cierre de la puerta. Cuando yo giré la superficie reflectante sobre  $10^\circ$  de la posición correcta las chispas desaparecieron. Así, la reflexión es regular, y los ángulos de incidencia y reflexión son iguales. Que la acción procedió de la fuente de perturbación para el espejo plano, y por lo tanto para el conductor secundario, podría también ser mostrado mediante la colocación de pantallas de sombra que da en diferentes puntos de este camino. Las chispas secundarias entonces siempre cesaron de inmediato; mientras que ningún efecto se produjo cuando la pantalla se coloca en cualquier otro lugar en la habitación. Con la ayuda del conductor secundario circular es posible determinar la posición del frente de onda en el rayo; esto se encontró que era en ángulo recto con el rayo antes y después de la reflexión, de modo que en la reflexión fue convertido a través de  $90^\circ$ .

Hasta ahora las líneas focales de los espejos cóncavos eran vertical, y el plano de oscilación era por lo tanto perpendicular al plano de incidencia. Para producir la reflexión con las oscilaciones en el plano de incidencia, coloqué dos espejos con sus líneas focales horizontal. He observado el mismo fenómeno que en la posición anterior; y, por otra parte, yo no era capaz de reconocer cualquier diferencia en la intensidad del rayo reflejado en los dos casos. Por otra parte, si la línea focal del espejo es uno vertical, y de otro es horizontal, no hay chispas secundarias pueden ser observados. La inclinación del plano de oscilación al plano de incidencia, por tanto, no se ve alterada por la reflexión, proporcionado esta inclinación tiene uno de los dos valores especiales que se refiere; pero en general esta afirmación no puede sostener bien. Incluso es dudoso que el rayo después de la reflexión sigue siendo plano polarizado. las interferencias que se producen frente al espejo por las que se cruzan los sistemas de onda, y que, como he señalado, dan lugar a fenómenos característicos en el conductor circular, tienen más probabilidades de arrojar luz sobre todos los problemas relativos a la carga de fase y amplitud producida por reflexión.

El mayor experimento en la reflexión de una superficie eléctricamente holotrópica se pueden mencionar. Los dos espejos cóncavos se colocan de nuevo al lado del otro, una en el experimento descrito primera reflexión; pero ahora no se colocó frente a ellos, como una superficie reflectante, la pantalla de los cables de cobre paralelos que ya ha hecho referencia. Se encontró que el descargador de chispas secundarias permaneció oscuro cuando los cables se cruzaron la dirección de las oscilaciones en ángulos rectos, pero que chispas comenzó tan pronto como los cables coincidieron con la dirección de las oscilaciones. De ahí la analogía entre la placa de turmalina y nuestra superficie que lleva a cabo en una sola dirección se limita a la parte de transmisión del rayo. La placa de turmalina absorbe la parte que no se transmite; nuestra superficie refleja. Si en el experimento última describen los dos espejos se colocan con sus líneas focales en ángulo recto, no hay chispas pueden ser excitados en el conductor secundario por la reflexión de una pantalla isotrópica; pero yo demostré a mi satisfacción de que las chispas se producen cuando la reflexión se lleva a cabo desde el cable holotrópico reja, siempre que ello se ajusta de modo que los cables están inclinados en  $45^\circ$  a las líneas focales. La explicación de esto se desprende naturalmente de lo que se ha ya se ha dicho.

#### Refracción.

Con el fin de averiguar si alguna refracción del rayo se produce al pasar del aire al otro medio aislante, que tenía un gran prisma hecho de la llamada de tono duro, un material como el asfalto. La base era un triángulo isósceles 1,2 metros en el lado, y con un ángulo de refracción de cerca de  $30^\circ$ . El borde de refracción fue colocado vertical, y la altura de todo el prisma era 1,5 metros. Pero desde el prisma pesaba alrededor de 12 quintales, y habría sido demasiado pesado para más en su conjunto, que fue construido por tres piezas, cada 0,5 metros de altura, colocados uno encima del otro. El material fue elegido en cajas de madera que quedaron a su alrededor, ya que no parecen interferir con su uso. El prisma se montó sobre un soporte de tal altura que el medio de su borde refractante estaba en la misma altura que las vías de chispas primarias y secundarias. Cuando yo estaba convencido de que la refracción tuvo lugar, y había obtenido una idea de su importe, me arreglé el experimento de la siguiente manera: El espejo producción se estableció a una distancia de 2,6 metros del prisma y frente a una de las superficies de refracción, de modo que el eje del haz se dirige tan cerca como sea posible hacia el centro de masa del prisma, y se reunió la superficie refractora en un ángulo de incidencia de  $25^\circ$  (en el lado de la normal, hacia

la base). Cerca del borde de refracción y también en el lado opuesto del prisma se colocaron dos pantallas conductoras que impedían el rayo de pasar por cualquier otro camino que a través del prisma. En el lado del rayo emergente no había marcado en el suelo un círculo de 2,5 metros de radio, que tiene como su centro el centro de masa del extremo inferior del prisma. A lo largo de este espejo de recepción se mueve ahora sobre, su abertura está siempre dirigida hacia el centro del círculo. No se obtuvieron chispas cuando el espejo se colocó en la dirección si produce el rayo incidente; en este sentido el prisma arrojó una sombra completa. Pero aparecieron chispas cuando el espejo se mueve hacia la base del prisma, comenzando cuando la desviación angular desde la primera posición era de unos  $11^\circ$ . La formación de chispas aumentó en intensidad hasta que la desviación ascendió a alrededor de  $22^\circ$ , y la disminuyó de nuevo. Las últimas chispas se observaron con una desviación de unos  $34^\circ$ . Cuando el espejo se coloca en una posición de máximo efecto, y luego se alejó del prisma a lo largo del radio del círculo, las chispas podrían ser rastreadas hasta una distancia de 5-6 metros. Cuando un asistente se puso ya sea frente al prisma o detrás de ella la formación de chispas invariablemente cesado, lo que demuestra que la acción alcanza el conductor secundario a través del prisma y no en cualquier otra forma. Los experimentos se repitieron después de colocar ambos espejos con sus líneas focales horizontales, pero sin alterar la posición del prisma. Esto hizo ninguna diferencia en los fenómenos observados. Un ángulo de refracción de  $30^\circ$  y una desviación de  $22^\circ$  en la vecindad de la desviación mínima corresponde a un índice de refracción de 1,69. El índice de refracción de los materiales de paso como para la luz se da como entre 1,5 y 1,6. No debemos atribuir ninguna importancia a la magnitud o incluso el sentido de esta diferencia, al ver que nuestro método no era uno precisa, y que el material utilizado era impuro.

Hemos aplicado los rayos término de fuerza eléctrica a los fenómenos que hemos investigado. Quizá Podemos designar más como rayos de luz de gran longitud de onda. Los experimentos descritos parecen a mí, en todo caso, eminentemente adaptado para eliminar cualquier duda sobre la identidad de la luz, el calor radiante, y ondas electromagnéticas de movimiento. Creo que a partir de ahora tendremos una mayor confianza en hacer uso de las ventajas que esta identidad nos permite derivar tanto en el estudio de la óptica y de la electricidad.

**ANEXO 3.**