



# Transmedia educativa VIAJEROS DE LAS LUZ

## Cuadernillo 5

# WILSON PENZIAS

## Arno Penzias, Robert Wilson y el Big Bang

### Una Mirada a la radiación de fondo cósmico: cómo probar los primeros instantes del Universo.

La radiación cósmica de fondo de microondas (en inglés, cosmic microwave background o CMB, aunque aquí la llamaremos RCF) es una forma de radiación electromagnética descubierta en 1965 que llena el Universo por completo. También se denomina radiación cósmica de microondas, radiación cósmica de fondo o radiación del fondo cósmico. Arno Penzias (1933, Alemania) y Robert Wilson (1936, Estados Unidos) son los protagonistas de la historia que significó el primer premio Nobel en Física, relacionado con la RCF.

A mediados del siglo 20, los cosmólogos habían desarrollado dos teorías diferentes para explicar la creación del Universo.

- Algunos apoyaron la teoría del estado estacionario, que establece que el Universo siempre ha existido y seguirá sobrevivir sin cambio notable.
- Otros creían en la teoría del Big Bang, que establece que el Universo fue creado en un masivo evento miles de millones de explosión como la de hace años (más adelante se determinarán como 13.720.000.000) (13.720 millones).

El primer reconocimiento publicado de la RCF como un fenómeno detectable apareció en un breve artículo de los astrofísicos soviéticos AG Doroshkevich e Igor Novikov, titulado "Densidad media de radiación en el metagalaxia y ciertos problemas en la cosmología relativista", en 1964.



Figura 1. Penzias y Wilson en torno de 1965.

Imaginemos a dos astrofísicos, Arno Penzias y Robert Wilson (figura 1) que en torno precisamente de 1964 experimentaban con una antena súper sensitiva para detectar señales enviadas a satélites artificiales en los Laboratorios Bell en Holmdel, Nueva Jersey y que encontraron un tenue y continuo ruido misterioso.

Los astrofísicos eliminaron toda interferencia reconocible de su receptor, quitaron los efectos de radiodifusión radar y radio, y suprimieron la interferencia producida por calor en el propio receptor, enfriándolo con helio líquido a  $-269^{\circ}\text{C}$ , sólo el  $4^{\circ}\text{K}$  encima del cero absoluto.

A pesar de todos los cuidados, el ruido de baja frecuencia persistía en el receptor, era 100 veces más intenso de lo que esperaban, se distribuyeron de forma uniforme en todo el cielo, y estaba presente día y la noche. Estaban seguros de que la radiación que detectaron en una longitud de onda de 7,35 centímetros no provenía de la Tierra, el Sol, o de nuestra galaxia.

Después de comprobar a fondo su equipo, eliminar inclusive algunas palomas que anidaban en la antena y limpiar los excrementos acumulados, nada cambió. Ambos llegaron a la conclusión de que este ruido venía de fuera de nuestra propia galaxia, a pesar de que no estaban al tanto de que fuente de radio podría llegar a ser.

A solamente 60 km y en ese mismo tiempo, Robert H. Dicke, Jim Peebles, y David Wilkinson, astrofísicos de la Universidad de Princeton, se disponían a buscar la radiación de microondas en esta región del espectro, luego que Dicke y sus colegas razonaron que el Big Bang debía haber dispersado no sólo la materia que condensa en las galaxias, sino también producido una ráfaga de radiación. Con la instrumentación adecuada, esta radiación debería de ser detectable, aunque como microondas, debido a un masivo desplazamiento hacia el rojo, relacionado con la expansión del Universo.

Los científicos estaban analizando la manera de encontrar la radiación remanente de una explosión que llenaba el Universo en el comienzo de su existencia, Penzias y Wilson comenzaron a darse cuenta de la importancia de su descubrimiento. Las características de la radiación detectada por ellos se ajustaba a la radiación predicha por Dicke y sus colegas. Penzias contactó con Dicke quien de inmediato le envió una copia de un documento inédito de Peebles. Al leer este paper Penzias y Wilson empezaron a estar cada vez mas seguros de su descubrimiento: llamaron a Dicke, lo invitaron a los Laboratorios Bell para revisar la antena y “escuchar” el ruido de fondo. De esta manera, Dicke, Peebles, Roll y Wilkinson interpretan esta radiación como la confirmación del Big Bang.

La publicación de los trabajos científicos a veces produce conflictos, para evitarlos los investigadores decidieron publicar sus resultados de manera conjunta, en dos notas enviadas a una revista muy prestigiosa: el *Astrophysical Journal Letters*.

- En el primero, Dicke y sus colaboradores describen la importancia de la radiación cósmica de fondo como fundamentación de la teoría del Big Bang.
- En una segunda nota, firmada conjuntamente por Penzias y Wilson titulado "Una Medición del exceso de temperatura en 4080 megaciclos por segundo", señalaron la existencia de ruido de fondo residual y lo propusieron como una posible verificación de la propuesta de Dicke y colaboradores.

La radiación relacionada con el Big Bang, el origen del Universo de unos  $3^\circ$  Kelvin predicha en 1948 por George Gamow, había sido descubierta y el descubrimiento fue evidencia de un universo en expansión.

**Por este descubrimiento Penzias y Wilson recibieron el Premio Nobel de Física en 1978. Habían descubierto la llamada Radiación Cósmica de Fondo (RCF).**

Sin embargo este no fue el final de la historia, este resto fósil del Big Bang tenía mucha información por brindar.

Figura 2. La pantalla estática de un televisor analógico es, en parte (1 de cada 10 puntos aprox.) radiación residual del Big Bang.



## Energía Electromagnética y polarización

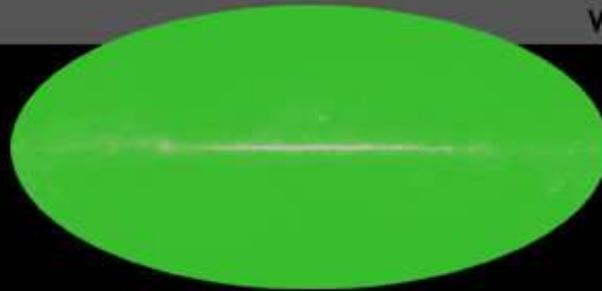
La radiación de fondo es energía electromagnética en la región de la microondas, desde el punto de vista de los procesos cósmicos, es lo más frío que puede existir en este momento (de unos  $2,7^\circ$  Kelvin): fue energética cuando comenzó a circular por el Universo, 400.000 años después de su nacimiento, pero los fotones, las partículas de luz, se expandieron junto con el espacio-tiempo y ahora las detectamos de mucha menor energía. Nuestro ojo no puede detectarla, solamente instrumentos preparados para ello lo logran. Como la radiación electromagnética no es más que campos eléctricos y magnéticos que vibran perpendicularmente entre sí que se propagan sin necesidad de un medio, en el vacío, a la velocidad de la de la luz, podríamos analizar a los campos y especialmente al eléctrico, según sus características y a partir de su interacción con la materia. Una de esas características está relacionada con las direcciones de vibración. Los campos vibran perpendicularmente a la dirección de propagación en todas direcciones si la radiación es normal. Sin embargo, por diversos motivos, el campo eléctrico puede estar polarizado y vibrar en ciertas direcciones, si lo hace solo en una, la luz está "linealmente Polarizada", así se la representa en casi todos los libros por simplicidad.

Pero ¿qué es lo que polariza la luz producida por las estrellas?: su interacción con el medio interestelar, nubes de gas de polvo que modifican las direcciones de vibración. En la Tierra, usando un analizador, podemos determinar en qué dirección vibra el campo eléctrico y esto aporta datos fundamentales, como por ejemplo, el tamaño y orientación de los granos de polvo en el material que se interpone entre la estrella y el observador.

1965



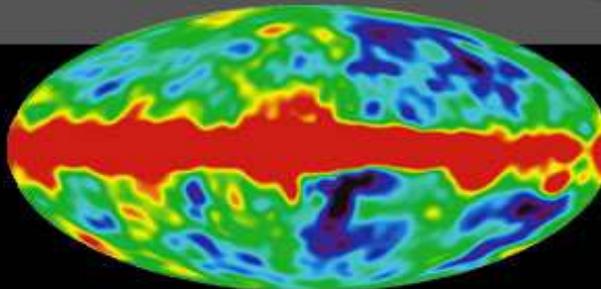
Penzias and Wilson



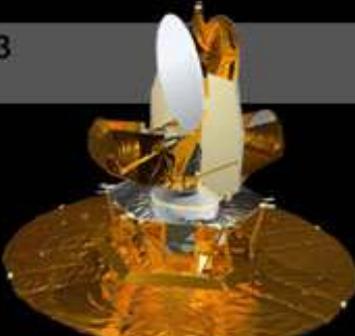
1992



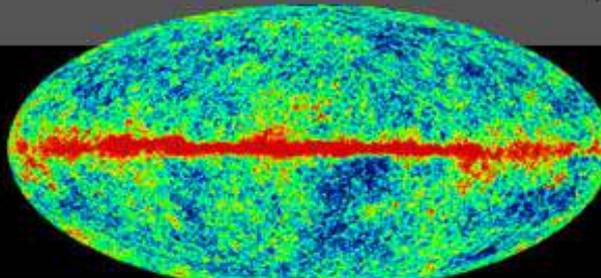
COBE



2003



WMAP



2015



Planck

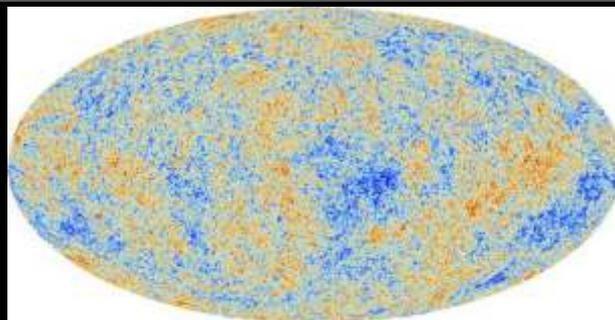


Figura 3. Breve historia de la Radiación Cósmica de Fondo, desde Penzias y Wilson y siguiendo por los telescopios en el espacio COBE2, el WMAP3 y Planck4.

A fines del siglo XX el satélite COBE y a principios del siglo XXI el WMAP, encontraron pequeñas fluctuaciones en la radiación de fondo en microondas, el equipo que trabajaba en estos proyectos, liderados por John Mather y George Smooth comprobaron que la radiación de fondo responde a la de un cuerpo negro a 3000° Kelvin y descubrieron que no era isotrópica (la radiación no es la misma en distintas direcciones), existen pequeñas variaciones en la temperatura, que se asociaron con fluctuaciones en la densidad de materia primitiva, descubrimiento imprescindible para poder explicar por qué la materia se pudo agregar para producir las galaxias primitivas. Mather y Smooth ganaron el premio Nobel por sus descubrimientos en 2006.

Las anisotropías fueron estudiadas con mucha más resolución por el Telescopio Planck, cuyos resultados se publicaron en 2015. La colaboración en este proyecto verificó las constantes cosmológicas, relacionadas con la forma y la constitución del Universo, aquello que refuerza la teoría del nacimiento y evolución del mismo: el Modelo Standard.

Lo interesante es que las predicciones derivadas de la existencia de la RCF, proponían formas específicas de polarización del campo eléctrico. Esto fue buscado con dedicación por muchos investigadores. Estas alteraciones de la radiación de fondo, ocurrieron antes del momento en que el Universo se hizo transparente y los fotones comenzaron a viajar libremente por el cosmos. Es decir, un momento inaccesible para la Astrofísica tradicional. Estaríamos viendo en la RCF algo que no podemos detectar con telescopios ni con radio telescopios.

Se predijeron dos modos de polarización uno llamado modo E, vinculado con las fluctuaciones en densidad que son fundamentales para explicar el origen de las galaxias, y el segundo modo, llamado B, más difícil de detectar, estaría vinculado con los primerísimos instantes del Cosmos, algo ocurrido a los 10-38 segundos después del Big Bang, cuando el Universo sufrió una expansión exponencial, tal como lo propone la Teoría Inflacionaria. Esta expansión habría originado ondas gravitacionales primordiales y su huella digital estaría en el modo B de polarización del campo eléctrico.

El modo E fue confirmado por las observaciones del proyecto DASI en 2002. Para detectar el modo B de polarización los científicos están desarrollando nuevos experimentos, tal es el caso de QUBIC (por su nombre en inglés: Q & U Bolometric Interferometer for Cosmology), una colaboración internacional integrada por Francia, Italia, UK, Irlanda, USA y Argentina que propone un novedoso método que implica usar varios telescopios que actúen en conjunto, formando una red, que se denomina “interferométrica”, con tecnología de última generación, detectores ultra enfriados, pues lo que se desea detectar es del orden de los micro Kelvin.

**El sitio elegido para su instalación es San Antonio de los Cobres, Salta, Argentina, a una altura de 4900 metros sobre el nivel del mar. El telescopio se comenzará a instalar en el transcurso del año 2020 y a adquirir datos a fines del mismo. Los descubrimientos asociados con este proyecto serán, sin duda, impactantes.**

**NOTAS:**

- 1. La escala Kelvin es una escala similar a la Celcius, solo que el cero Kelvin corresponde a -273 Celcius, este valor se denomina “cero absoluto”.**
- 2 COBE (Cosmic Background Explorer) <https://science.nasa.gov/>**
- 3 WMAP (wilkinson Microwave AnisotropyProbe) <https://map.gsfc.nasa.gov/>**
- 4 Plank Telescope, [https://www.esa.int/Our\\_](https://www.esa.int/Our_)**
- 5. DASI (Degree Angular Scale Interferómetro) <http://astro.uchicago.edu/>**
- 7Sigla asociada con el nombre completo del Proyecto en inglés : Q & U Bolometric Interferómetro for Cosmology. Ver: <https://fisica.cab.cnea.gov>.**
- 6. La colaboración argentina en QUBIC está integrada por investigadores de CNEA, CONICET, UNLP, CAB y UNSAM.**

# Actividades relacionadas con la luz en el laboratorio

## Detección de radiación electromagnética en la región de radio

En primer lugar debemos mencionar que las ondas de radio son parte de la energía electromagnética. Es radiación de la misma energía (baja), o longitud de onda (larga) o frecuencia (baja), que la detectada por Penzias y Wilson en 1964.

Si deseas detectar ondas de radio de manera sencilla en la clase o la casa y, además, calcular cuál es la longitud de onda de la señal que producís, podés desarrollar este simple experimento, para el que se necesita:

1. una batería de 9V,
2. dos trozos de cable común (del que se usa en la casa),
3. un detector de ondas de radio.

El procedimiento para desarrollar este experimento es sencillo:

- a) se deben pelar los extremos de los cables, y
- b) fijar uno de esos extremos a los bornes de la batería (ver figura 4).

Figura 4. Uniendo dos cables a los bornes de una batería de 9V.

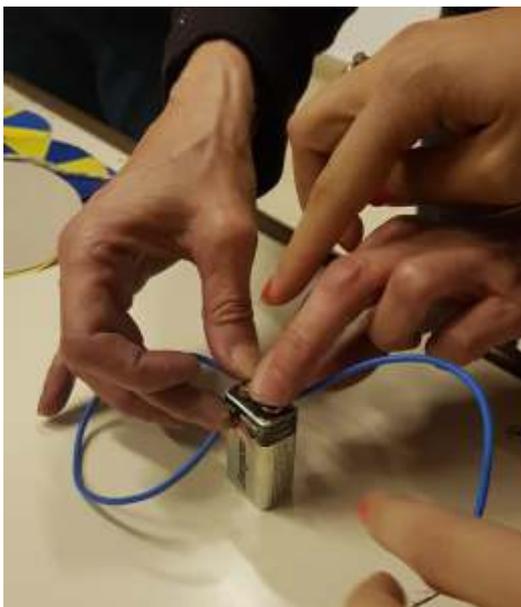
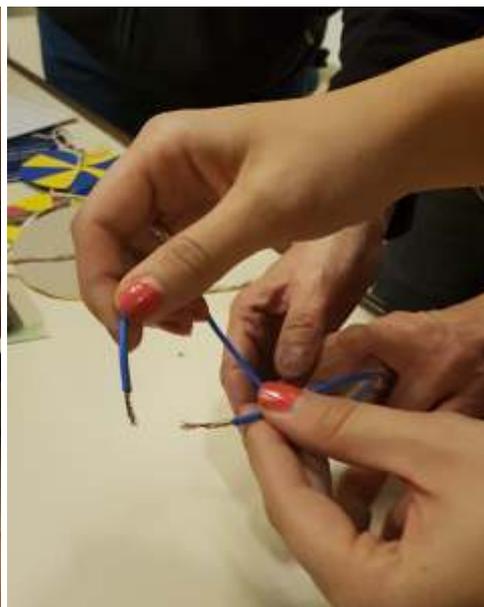


Figura 5. Bordes libres de los cables, al ponerlos en contacto producen radiación no visible.



Al poner en contacto los bordes libres del cable (figura 5) se producen ondas electromagnéticas en la región del radio. No se ven, **NO SON LUZ VISIBLE**, no se escuchan... claro, **iNO SON ONDAS SONORAS!!**



Figura 6. Detectando ondas electromagnéticas de baja energía con el detector adecuado: una radio.

La energía que producimos es del mismo tipo que la luz visible, para la cual tenemos un detector con el cual nacemos: el ojo. Para las ondas de radio, necesitamos también el detector adecuado... y ese es... una radio, como la de la figura 6.

- c) Poner la radio para que detecte AM, y ubicar el dial en bajas frecuencias.
- d) Al unir o hacer chocar los cables, detectaremos una señal. Parece interferencia, pero son las ondas de radio que estamos generando... parecidas a las que llegan del Cosmos y fueron detectadas por Penzias y Wilson en 1964.

Al detector llegan ondas electromagnéticas que primero se transforman en eléctricas y luego en sonoras y así podemos percibir las, usando el oído.

La radio produjo dos transformaciones de la energía original producida por nosotros, electromagnética, primero en eléctrica y finalmente en sonora.

Como estas ondas son electromagnéticas, se desplazan a la velocidad de las ondas electromagnéticas... de la luz, es decir 300.000 km/s.

En el dial de la radio podemos ver en que frecuencia las detectamos y utilizando la relación entre frecuencia, longitud de onda y velocidad de desplazamiento, podemos determinar la longitud de onda de la señal:

long. de onda ( $\lambda$ )  $\times$  frecuencia (f) = vel. de propagación (c)  
entonces,  $\lambda = c/f$

Recordemos que,

$\lambda$  se mide en unidades de longitud (km, m, mm, etc.).  
f se mide en ciclos por segundo: 1/s unidad llamada Hertz.  
c se mide en unidades de velocidad (km/s).

Supongamos que detectamos la radiación producida en 550 Khz (lo que leemos en el dial de la radio), es decir 550.000 Hz.  
Como la propagación de la señal es a la velocidad de la luz, será aprox. a 300.000 km/s.

Así obtenemos:  
 $\lambda = 300.000 \text{ (km/s)} / 550.000 \text{ (1/s)} = 0,545 \text{ km} = 545 \text{ metros}$

En síntesis, hemos producido una onda, la hemos detectado con el detector adecuado y hemos podido calcular su longitud de onda (la distancia entre los máximos).



PIERRE  
AUGER  
OBSERVATORIO



PLANETARIO  
MALARGÜE



UNdeC

Universidad Nacional  
de Chilecito



ITEDA



CONICET



UNSAM

UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE  
SAN MARTÍN