Espuma cuántica

La longitud de Planck es de **1,616 × 10⁻³⁵ m** y es la distancia que las ondas electromagnéticas recorren en un tiempo de Planck. Es una distancia tan pequeña que se hacen notorios los efectos de la gravedad cuántica. Aquí, el espacio-tiempo empieza a disiparse en una llamada "espuma cuántica" de "burbujas" que aparecen y desaparecen de la realidad de este Universo en instantes infinitesimales.

…hasta lo más pequeño.

Electrón

ORDEN DE MAGNITUD 10^{-18} m

Es una partícula elemental portadora de **carga eléctrica negativa** que rodea el núcleo atómico. Su posición no puede determinarse con exactitud, sino solamente como una distribución de probabilidad a causa de su dualidad de comportamiento como partícula y onda. La movilidad del electrón es la base de los fenómenos electromagnéticos que utilizamos en nuestra carrera para manipular **energía** e **información**. 1 am = 1 attometro = 1×10^{-18} m.

1 am

diámetro

Átomo de hidrógeno

RAYOS GAMMA γ

ORDEN DE MAGNITUD 10^{-11} m

Es el elemento más abundante del Universo y una fuente renovable de energía para vehículos en el futuro próximo. Su etimología es "que forma el agua" porque, en efecto, de la combustión de hidrógeno resulta agua. El **radio de Bohr**, a_0, es la distancia más probable a la órbita electrónica de menor radio, en el estado de menor energía.

53 pm

radio de Bohr

Molécula de H_2O

RAYOS X DUROS HX

ORDEN DE MAGNITUD 10^{-10} m

Hasta mediados del siglo XVII se determinó que esta molécula es una sustancia compuesta y no un elemento. Es la única sustancia común con tres estados de agregación en condiciones terrestres normales: en un período de 100 años una molécula de agua pasa 98 años en el océano, 20 meses en forma de hielo, dos semanas en lagos y ríos y menos de una semana en la atmósfera.

280 pm

entre átomos de hidrógeno

ADN

RAYOS X BLANDOS SX

ORDEN DE MAGNITUD 10^{-9} m

El ADN es un depósito de información genética que registra la historia de nuestra evolución y las instrucciones para crear un humano o cualquier organismo. Entre 1990 y 2003, el **Proyecto Genoma Humano** logró la determinación de la secuencia de las tres billones de "letras" en los 30 000 genes de 23 cromosomas. Con el "manual del humano" listo, el reto de la ciencia es comprender las bases genéticas de la salud y la enfermedad, habilitando nueva medicina preventiva.

3,4 nm

giro de la doble hélice

¡El ADN puede ser un almacenamiento de información digital! Experimentos con la técnica de edición genética **CRISPR** lograron insertar una imagen digital animada en el ADN de la bacteria *E. coli*, que se transmitió por varias generaciones y se extrajo correctamente.

Tecnologías de microchips

ULTRAVIOLETA EXTREMO EUV

ORDEN DE MAGNITUD 10^{-8} m

La integración de semiconductores ha avanzado desde los 10 µm en 1971 hasta los 10 nm en 2016: un factor de 1000 en 46 años. Históricamente, la escala de integración está ligada con el tamaño físico de la "compuerta" en transistores de **tecnología FET**, también conocido como la "característica mínima" (*minimum feature*) o nodo. La tecnología de 3 nm ¡es solamente diez veces más grande que una molécula de agua!

10 nm

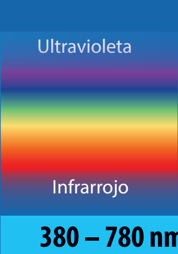
tamaño del nodo

Espectro visible

ULTRAVIOLETA CERCANO NUV

ORDEN DE MAGNITUD 10^{-7} m

El **espectro óptico** está formado por tres franjas: ultravioleta (**UV**), visible (**VI**) e infrarrojo (**IR**). El espectro visible se identifica como **luz**. La atmósfera tiene un mínimo de absorción de la radiación solar en las cercanías del espectro visible y este tipo de radiación se propaga bien en el agua, razón por la que los ojos de animales primitivos evolucionaron para adaptarse a este rango.



380 – 780 nm

Microprocesador 8088

INFRARROJO CERCANO NIR

ORDEN DE MAGNITUD 10^{-6} m

Este es el microprocesador que catapultó a Intel a la cima de la industria de semiconductores. El 8088 fue elegido por IBM para su primera línea de computadoras personales: la PC modelo 5150, que costaba US$ 3000 en 1981 (US$ 8500 actuales). El 8088 tenía 29 000 transistores, era compatible con 8 y 16 bits y es la base de la arquitectura **x86**, es decir, ¡es el ancestro de la mayoría de los procesadores de las computadoras que utilizamos!

3,2 µm

tamaño del nodo

MEMS

INFRARROJO MEDIO MIR

ORDEN DE MAGNITUD 10^{-5} m

Los **Sistemas Micro Electromecánicos** (MEMS) utilizan técnicas similares a la microfabricación de los circuitos integrados para crear dispositivos donde los materiales semiconductores tienen una doble función como circuito eléctrico y electrónico pero también, y principalmente, como componente estructural. De esta forma, es posible crear sensores inerciales con masas móviles o "laboratorios" completos de microfluidos que se mueven en "tuberías" por medio de estímulos electrostáticos.

50 µm

espesor típico de una estructura

Píxel

INFRARROJO LEJANO FIR

ORDEN DE MAGNITUD 10^{-4} m

El píxel es la unidad mínima en una imagen digital. En un televisor de tecnología de pantalla de puntos cuánticos con diodos emisores de luz (**QLED**) con resolución **8K** (*Full Ultra High Definition*), los píxeles pueden tener una medida lateral de 0,2 mm con una resolución de 7680 por 4320 píxeles. Esto es imposible de diferenciar para una persona de agudeza visual normal, esto es, que distingue detalles de 1,75 mm a 6 metros. ¡Los microprocesadores de estos televisores deben controlar más de 33 millones de píxeles a una frecuencia de 60 o más veces por segundo!

0,2 mm

lado de un píxel

Mini computadoras

EHF

ORDEN DE MAGNITUD 10^{-3} m

Las computadoras más pequeñas disponibles son menores al tamaño de un grano de sal y tienen la misma capacidad de procesamiento de la familia **x86** (como el 8088), que ejecutaban videojuegos en los años 1980. Aplicaciones actuales y futuras en ingeniería biomédica incluyen redes de sensores intracorporales para el monitoreo y atención de enfermedades crónicas, e incluso píldoras robóticas controladas remotamente.

1 mm

escala

Sensores de rango

EHF

FRECUENCIA 76 GHz

Existen sistemas de localización a muy alta frecuencia y grandes anchos de banda que les dan una "fina resolución temporal" y posibilitan una altísima precisión *submilimétrica*. Una de las tecnologías inalámbricas utilizadas es banda ultra ancha (**UWB**, *Ultra-Wide Band*). Estos sensores funcionan bien en lugares en que no es óptimo ninguno de los sistemas de geolocalización satelital.

Sensores digitales de imagen

SHF

ORDEN DE MAGNITUD 10^{-2} m

Desde el inicio de la fotografía digital en los años 1990, los rollos de película fotográfica fueron sustituidos paulatinamente por sensores digitales. El tamaño y las características del sensor, junto con el sistema óptico, son los factores más importantes para la calidad de la fotografía. Un sensor es una matriz de elementos *fotosensibles* llamados **píxeles** (de *Picture Element*) que convierten la luz incidente en señales eléctricas. Las tecnologías vigentes son **CCD** y **CMOS**.

2 cm

diagonal del sensor

Los primeros sensores digitales eran de 1,3 megapíxeles, pero actualmente una de las resoluciones más grandes disponibles es la de esta fotografía de la zona de Lujiazui en **Shanghai**, de **195 gigapíxeles**.

5G en onda milimétrica

SHF

FRECUENCIA 28 GHz

BANDA CR 105

"Onda milimétrica" o **mmWave** corresponde a frecuencias altas del espectro. Estas frecuencias en sistemas celulares permiten una muy alta tasa de transmisión de datos, al costo de reducida capacidad de penetración de materiales. Esto causa que los nuevos sistemas 5G mmWave (**IMT-2020**) tengan menor cobertura por cada antena, ¡o tengan problemas para atravesar la mano del usuario del teléfono móvil y la lluvia! Para paliar esta situación hay una mucha mayor densidad de antenas. 5G tiene tres escenarios de uso: banda ancha móvil mejorada (**eMBB**), comunicaciones de baja latencia ultra confiables (**URLLC**) y comunicaciones masivas tipo máquina (**mMTC**).

Televisión satelital

FRECUENCIA 12 GHz

BANDA CR 093

SHF

La televisión satelital tiene una cobertura casi global y por eso es popular en zonas rurales alejadas donde no llega ni la televisión abierta ni la televisión por cable. Funciona en conexión con un satélite geoestacionario y una antena parabólica receptora para cada usuario. Esta es la **banda K_u** del espectro radioeléctrico según IEEE.

Enlaces de microondas

SHF

FRECUENCIA 7 GHz

BANDA CR 086

Los enlaces *punto a punto* tienen antenas de altísima direccionalidad, es decir, potencia de transmisión concentrada en una misma dirección. Esto a diferencia del *broadcasting*, o radiodifusión, en que la señal se difunde en un esquema de *uno a muchos*. Los enlaces de microondas se utilizan como conexiones troncales en grandes redes de telecomunicaciones. Aun así, estos enlaces están siendo sustituidos por fibra óptica, que es menos vulnerable a la atenuación causada por la lluvia y descargas atmosféricas. Esta es la **banda C** del espectro radioeléctrico según IEEE.

Wi-Fi

ISM

FRECUENCIA 5,8 GHz

BANDA CR 081

SHF

La familia de estándares **IEEE 802.11** es la base para las redes inalámbricas de área local, **WLAN**, conocidas comercialmente como Wi-Fi. Es una tecnología crítica: la base de buena parte de las comunicaciones de uso personal y comercial. Wi-Fi utiliza las bandas ISM de 2,4 GHz, de "5 GHz" y en onda milimétrica de 60 GHz. Esta última es conocida como **WiGig** y fue introducida por **IEEE 802.11ad** con una velocidad de descarga de hasta 4,6 Gbps.

Teléfono móvil inteligente

UHF

ORDEN DE MAGNITUD 10^{-1} m

¡Ya es mucho más que un teléfono, es una computadora! En la palma de la mano tenemos: varias tecnologías inalámbricas (celular, Wi-Fi, Bluetooth, NFC, y antes infrarrojo), antenas, pantalla táctil, sensores inerciales, micrófonos, cámaras, parlantes, memorias digitales y muchos algoritmos complejos, que en suma han convertido al *smartphone* en una materialización de la historia científica y tecnológica de la Humanidad.

15 cm

diagonal de la pantalla

Redes inalámbricas locales y personales

UHF

ISM

FRECUENCIA 2,4 GHz

BANDA CR 073

La banda más utilizada por los dispositivos electrónicos comerciales es la de los 2,4 GHz. Aquí están **Wi-Fi** y **Bluetooth**, que son casi omnipresentes en celulares y computadoras, pero también **DECT** (teléfonos inalámbricos), **Zigbee** (redes industriales y de automatización), carros de control remoto y muchas más aplicaciones. Los hornos de microondas mal aislados producen interferencias en esta banda.

En bandas libres y de servicio móvil son necesarios métodos de coordinación para **compartir el medio inalámbrico** entre muchos usuarios y estándares. Entre otros, existe el acceso múltiple por división de frecuencia, **FDMA**, por división de tiempo, **TDMA**, por división de código, **CDMA**, y de espectro esparcido, **SSMA**. Bluetooth utiliza rápidos cambios pseudoaleatorios entre pequeñas subbandas (**FHSS**).

> *Que el aire no es de nadie, nadie, nadie…*
> *Y todos tienen su parcela de aire.*
> **– Debravo**

Servicio móvil celular

FRECUENCIA 1800 MHz

BANDA CR 065

UHF

Cada operador en las tecnologías celulares **3G** (**IMT-2000**) y **4G** (**LTE**, *Long Term Evolution*) tiene bandas concesionadas que el Estado ofrece en subastas. El precio varía según la frecuencia, pues, en general, a menor frecuencia hay mayor facilidad de cobertura. En una subasta del 2017 se asignaron bloques en la banda de 1800 MHz por US$ 7 millones y en la banda de 2100 MHz por US$ 5 millones.

Sistemas de posicionamiento global

UHF

FRECUENCIA 1575 MHz

BANDA CR 063

GPS funciona con una constelación de 24 satélites a 200 km de altura, en donde hay al menos cuatro de ellos con "línea de vista" en el firmamento en todo momento. Estos satélites emiten señales con temporización y ubicación precisas que son procesadas por dispositivos electrónicos para estimar su propia posición. GPS es el más popular de los sistemas de localización satelital, pero no el único: existe también **GLONASS** (Rusia), **Galileo** (Unión Europea) y **BeiDou** (China). La precisión de estos sistemas puede ser milimétrica en ciertas condiciones.

Redes IoT

FRECUENCIA 915 MHz

BANDA CR 061

ISM

UHF

La banda de 915 MHz tiene mejor alcance que otras bandas ISM y por eso se utiliza para redes de internet de las cosas (**IoT**, *Internet of Things*) de baja potencia, baja tasa de datos y amplia cobertura (**LPWAN**, *Low-Power Wide-Area Networks*). Esto permite redes de sensores de gran extensión geográfica en aplicaciones como, por ejemplo, la agricultura de precisión, el transporte público o las ciudades inteligentes.

Una banda **ISM** (*Industrial, Scientific, Medical*) es una banda no licenciada de explotación no exclusiva. Requiere la coexistencia de múltiples usuarios con dispositivos que no son para comunicaciones, como hornos de microondas.

ISM

Radioastronomía

UHF

FRECUENCIA 611 MHz

BANDA CR 055

Las ondas radioeléctricas de origen cósmico son analizadas para estudios astronómicos y traen información de los fenómenos celestes. Entre los aportes más importantes de la radioastronomía está la asombrosa captura de la imagen del agujero negro **M87*** con técnicas computacionales avanzadas. En este proyecto participó el *Atacama Large Millimeter / Submillimeter Array* (**ALMA**) en Chile, que es un complejo de 66 antenas parabólicas. También los púlsares, o "estrellas pulsantes", fueron descubiertos por una radioastrónoma en 1967, y que inicialmente denominaron **LGM** (*Little Green Men*).

Radiodifusión de televisión digital

FRECUENCIA 470 – 608 MHz

BANDA CR 054

UHF

En Costa Rica, la televisión digital con el estándar **ISDB-Tb** utiliza los canales del 14 al 36 y del 38 al 51 en el Plan Nacional de Asignación de Frecuencias, **PNAF**. La nueva asignación de frecuencias posibilitó la expansión del espacio concesionable para algunas grandes empresas tradicionales, pero también creó espacios para otro tipo de televisión estatal, regional o cultural. La televisión digital mejora la calidad de video y audio, aumenta el área de cobertura y permite la recepción en dispositivos portátiles.

MedRadio

UHF

FRECUENCIA 401 – 406 MHz

BANDA CR 047

El segmento espectral llamado MedRadio es utilizado para el diagnóstico o la terapia con dispositivos médicos de baja potencia implantados en, o sobre, el cuerpo. Por ejemplo: los marcapasos cardiacos y desfibriladores, o los estimuladores neuromusculares aplicados en la restauración de sensibilidad y movilidad en extremidades y órganos. Según la Comisión Federal de Comunicaciones de EE. UU. (**FCC**), usualmente forman parte de una red médica de área corporal (**MBAN**, *Medical Body Area Network*).

Vehículos eléctricos autónomos

VHF

ORDEN DE MAGNITUD 10^{0} m

Para los humanos, la conducción de vehículos es una tarea cognitiva y física demandante. Para las computadoras no es diferente. A bordo de un vehículo autónomo existen: lidar (detectores y estimadores de distancia láser), radar, sensores inerciales, GPS, comunicación con otros autos y con la infraestructura misma y algoritmos de visión por computador e inteligencia artificial. Todo esto sobre avanzada tecnología mecánica, de motores eléctricos, de baterías, de electrónica de potencia y de sistemas de control.

4 m

longitud

Rebote lunar

FRECUENCIA 144 MHz

BANDA CR 033

VHF

El rebote lunar o **EME** (*Earth-Moon-Earth communication*), como su nombre implica, es la reflexión de ondas en la superficie de la Luna para propagarse de vuelta a un receptor en la Tierra. Esta es una proeza de conocimiento y experiencia dentro de la radioafición, y alcanza distancias de transmisión inmensas. Ciertas condiciones son favorables: Luna llena, por la noche, en la menor distancia de la Tierra a la Luna (*perigeo*) y con la Luna arriba en el firmamento (alta *declinación*), para una menor temperatura.

La costumbre para cualquiera que reciba algún tipo de transmisión radioaficionada es enviar al emisor, vía correo tradicional, una tarjeta postal **QSL** (*"estoy confirmando la recepción"*), ¡estos son valiosos objetos de colección!

Control de tráfico aéreo

VHF

FRECUENCIA 118 – 136 MHz

BANDA CR 029

Las operaciones de coordinación para despegue y aterrizaje de aeronaves en aeropuertos requieren comunicación verbal directa. En estas frecuencias exclusivas se comparte información, como las condiciones atmosféricas, y se giran instrucciones sobre las maniobras aéreas. El personal de tierra solía estar en una torre para tener control visual del entorno, sin embargo, ahora las cámaras proveen mejores perspectivas. Es posible escuchar en tiempo real las comunicaciones de **SJO**.

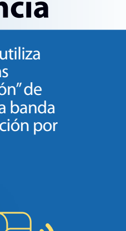
Radiodifusión sonora FM

FRECUENCIA 88 – 108 MHz

BANDA CR 027

VHF

La modulación por frecuencia significó una mejora sustancial en la calidad del audio de la radio. Fue introducida en 1933 y luego mejorada en 1961 cuando se incorporó el *stereo multiplex*, un mecanismo para la recepción en estéreo. Actualmente permite enviar algunos datos digitales, como información de la radioemisora y la canción o programa que suena, con **RDS** (*Radio Data System*). En Costa Rica las emisoras están en decimales impares de MHz (como 96,7 MHz y 101,9 MHz), con una separación de 400 kHz.



Escuela de Ingeniería Eléctrica

HF

ORDEN DE MAGNITUD 10^{1} m

La carrera de Ingeniería Eléctrica fue inaugurada en 1964 y el nuevo edificio fue concluido en 2006, ¡y su cima era el punto más alto del campus Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica! Alberga a una de las carreras más grandes de la UCR por cantidad de estudiantes.

27 m

altura del edificio

Banda ciudadana

HF

FRECUENCIA 27 MHz

BANDA CR 020

La banda ciudadana (**CB**, *Citizens Band*) no requiere ninguna licencia ni autorización para ser utilizada, a diferencia de otras bandas de radioaficionados. Esta banda de 11 m de longitud de onda tiene múltiples usos, como "asuntos familiares, de entretenimiento o de actividades de auxilio y cooperación con las autoridades nacionales en caso de **emergencias**", según el Manual del Radioaficionado de Costa Rica. Existen también otras bandas libres sin licencia, como la **CR 022** a 35 MHz dedicada al **aeromodelismo**.

Transferencia inalámbrica de potencia

FRECUENCIA 13,56 MHz

BANDA CR 018

ISM

HF

La transferencia inalámbrica de potencia utiliza un acople inductivo en el que dos bobinas cercanas resuenan y provocan la "inducción" de energía eléctrica de uno al otro. El estándar **Qi** (/tchi/) es un ejemplo. En esta banda también opera la transmisión de información con sistemas **RFID** (identificación por radiofrecuencia) tales como **NFC** (comunicación de campo cercano).

Un ejemplo de uso de **NFC** son las tarjetas bancarias con el estándar ISO 14443, como *payWave* de Visa, *PayPass* de MasterCard y *ExpressPay* de American Express. Otro ejemplo similar son los medios de pago digital sin contacto en celulares, como las aplicaciones de Google, Samsung y Apple, entre otros fabricantes, que usan NFC para intercambio de información.

Proyecto hidroeléctrico Reventazón

MF

ORDEN DE MAGNITUD 10^{2} m

El proyecto de generación eléctrica más grande de Costa Rica es también la segunda obra de infraestructura más grande de Centroamérica, luego del Canal de Panamá. Sus componentes por sí mismos son megaobras: los **túneles** de desvío de 14 m de diámetro (¡unos cuatro pisos de este edificio!) y 680 m de longitud, la **presa** de enrocado con cara de concreto de nueve millones de metros cúbicos, el túnel de conducción de hasta 153 m de profundidad y la **casa de máquinas** con cuatro turbogeneradores tipo *Francis* de 73 MVA, entre un total de doce grandes obras.

420 m

130 m

altura de la presa

Radioaficionados

MF

FRECUENCIA 1900 kHz

BANDA CR 013

La radioafición es un espacio para la transmisión libre y sin fines comerciales y es una actividad tan antigua como la radio misma. Esta práctica requiere una licencia concedida por la Superintendencia de Telecomunicaciones y un examen teórico. El código para los usuarios de Costa Rica es **TI** (*Tango India*), ¡como las radioemisoras o los aviones! Esta es una de las muchas frecuencias para la radioafición y es del tipo **A1A**, amplitud modulada digital telegráfica en clave Morse.

El **código Q** de comunicaciones telegráficas son agrupaciones de tres letras que inician con Q. Facilitan mensajes y superan la barrera del idioma. Son una pregunta o una afirmación, según el contexto: **QRV** es *"¿está usted preparado?"* pero también *"sí, estoy preparado"*. **QST** es una llamada a todas y todos los radioaficionados.

QST

Radiodifusión sonora AM

FRECUENCIA 525 – 1605 kHz

BANDA CR 011

MF

La radio de amplitud modulada fue el primer gran éxito comercial de las comunicaciones inalámbricas. Formó parte de importantes movimientos sociales y culturales de la primera mitad del siglo XX: desde la difusión de nuevos géneros musicales hasta la comunicación en tiempos de guerra. AM sigue operando hoy en día, pero es vulnerable a interferencias electromagnéticas, como las descargas atmosféricas, que disminuyen la calidad de su sonido.

SOS · · · — — — · · ·

MF

FRECUENCIA 500 kHz

BANDA CR 007

Esta es la frecuencia internacional de socorro en clave Morse, **SOS**. Se eligieron estas letras por la facilidad para identificar los tonos, y *no* es un acrónimo de *Save Our Souls* ("salven nuestras almas"). Se estandarizó en 1908 pero aún en la tragedia del Titanic en 1912 hubo confusión sobre su uso, ¡los marineros enviaron otro código de auxilio!

Radiogoniometría

FRECUENCIA 410 kHz

BANDA CR 004

MF

La radiogoniometría utiliza un arreglo espacial de antenas para detectar y estimar la dirección de procedencia de una señal de radio, utilizando métodos geométricos. Se utiliza en navegación marítima y aérea y es similar pero no igual a un radar. El **radar** (originalmente *Radio Detection And Ranging*) detecta la dirección de procedencia del "eco" de una señal emitida desde una estación base y calcula la distancia del objeto. *Goniometría* es la técnica de medición de ángulos.

Radiofaros y navegación marítima

MF

FRECUENCIA 305 kHz

BANDA CR 003

Alguna vez fueron fogatas y reflectores, pero luego llegaron los "radiofaros", es decir, señales de radio emitidas desde un puerto marítimo que las embarcaciones detectan para conocer su cercanía. Además, en la banda **CR 006** a 490 kHz se envía avisos generales, boletines meteorológicos e información urgente a las embarcaciones.

Represa de Las Tres Gargantas

LF

ORDEN DE MAGNITUD 10^{3} m

¡Un proyecto de las proporciones de China! La "longitud de coronación" de la represa es equivalente a la distancia desde la rotonda de Las Garantías Sociales hasta la rotonda de La Bandera por la circunvalación. Su capacidad instalada es de 22 500 MW, mientras que la de Costa Rica es de unos 3 700 MW en total. La línea de transmisión hacia la región de Changzhou es de corriente directa (**HVDC**) de 500 kV. Itaipú, en el río Paraná en la frontera entre Paraguay y Brasil, supera a Las Tres Gargantas en energía producida, con unos 100 millones de megawatt-hora al año.

2335 m

longitud de coronación

Frecuencias patrón y señales horarias

LF

FRECUENCIA 60 kHz

BANDA CR 001

Para la sincronización a largas distancias, el *National Institute of Standards and Technology* (**NIST**) de EE. UU. emite la hora de referencia desde un reloj atómico en Colorado con una señal de baja frecuencia. Según las condiciones atmosféricas, esta señal puede llegar hasta Costa Rica y existen relojes que se sincronizan a ella, conocidos como **RCC** (*Radio-Controlled Clocks*). La precisión del reloj atómico tiene un retraso de un segundo por cada 100 millones de años.

La **transmisión eficiente** de señales electromagnéticas requiere antenas del orden de la mitad de la longitud de onda. En el caso de la señal horaria de NIST, se transmite con cuatro antenas en configuración de diamante de 122 m de altura, conectadas por un cable y separadas 857 m entre sí. Esta enorme antena es necesaria por la baja frecuencia de 60 kHz con **λ** = 5000 m. Las líneas de transmisión de miles de kilómetros pueden radiar energía de 60 Hz, pero en general **no se considera nociva**.

Cobertura de antena celular

VLF

ORDEN DE MAGNITUD 10^{4} m

Dependiendo de la frecuencia de la señal, el espacio urbano o rural, la topografía, la lluvia y otros factores, la cobertura de una sola torre celular puede tener un radio de alcance de varias decenas de kilómetros. Sin embargo, en la evolución desde **2G** hasta **5G** ha disminuido el área de cobertura de *macroceldas* a *microceldas* para favorecer la alta tasa de datos. Cuando un teléfono móvil traspasa la frontera de dos células, se realiza un protocolo de transferencia conocido como *handoff* o *handover* para cambiar de antena sin interrumpir la comunicación.

40 km

distancia de radiobase a teléfono móvil

Línea de transmisión eléctrica

ULF

ORDEN DE MAGNITUD 10^{5} m

La línea de transmisión de energía eléctrica que va desde Cañas en Guanacaste hasta Jacó en Puntarenas pertenece al *Sistema de Interconexión Eléctrica para Países de América Central*, **SIEPAC**. Este proyecto fue concluido en 2014 y conecta a todos los países desde Panamá hasta Guatemala con 1788 km de líneas de transmisión a 230 kV en 4600 torres de alta tensión. Costa Rica tiene 493 km de estas líneas y ocho bahías en subestaciones. Esta infraestructura suple de electricidad a más de 50 millones de personas y facilita el Mercado Eléctrico Regional, **MER**. La línea SIEPAC incluye un hilo guarda **OPGW** para aterrizamiento con 36 fibras ópticas para telecomunicaciones.

123 km

distancia entre subestaciones

Cable submarino de fibra óptica

SLF

ORDEN DE MAGNITUD 10^{6} m

El cable **ARCOS-1** es un anillo que conecta a Limón y otros 23 puertos marítimos del Caribe. Provee buena parte del flujo de internet de nuestro país, junto con **MAYA-1**, también en el Caribe, y **PAC** en el Pacífico. A nivel global, el *Pacific Light Cable Network* es uno de los cables más largos, con casi 13 000 km. Comunica Hong Kong con Los Ángeles y transporta información a 144 terabits por segundo con una latencia de 130 ms, para conectar servidores de Facebook y Google en ambos continentes. Esta gigantesca cantidad de información pasa por solo seis pares de hilos de fibra óptica con un diámetro milimétrico.

8400 km

longitud de ARCOS-1

Órbita geoestacionaria

ELF

ORDEN DE MAGNITUD 10^{7} m

En la órbita ecuatorial geosincrónica (**GEO**) los objetos orbitantes están fijos sobre la superficie terrestre debido a que su período orbital es igual a un día sideral (24 horas). Esta es la más lejana de las tres grandes "bandas orbitales", las otras dos son la órbita media de la Tierra (**MEO**) y la órbita baja de la Tierra (**LEO**): en total hay más de 5000 objetos en órbita. En GEO hay muchos satélites de comunicación y de monitoreo del clima. Aunque las comunicaciones satelitales son vulnerables, de alta latencia y en parte ya son sustituidas por fibra óptica, algunos gigantes tecnológicos planean conectar a millones más de personas con miles de satélites.

35 786 km

altitud desde la superficie terrestre

Voyager 1

ORDEN DE MAGNITUD 10^{13} m

Este es el objeto construido por el ser humano más distante de la Tierra. Fue lanzado junto con su par Voyager 2 en 1977. Visitó los cuatro grandes planetas exteriores usando la gravedad de cada uno como impulso, aprovechando una alineación que sucede cada 176 años. Tomó la famosa foto "un punto azul pálido", que nos hizo reflexionar sobre nuestro lugar en el cosmos. Pasó de nave **interplanetaria** a nave **interestelar** en 2012, cuando superó la *heliopausa*, la frontera del Sistema Solar, y ahora viaja a 17 km/s alejándose de nosotros.

22,2 Tm | 148 UA

distancia desde la Tierra

Voyager 1 lleva una "cápsula del tiempo" conocida como **Disco Dorado**, con sonidos e imágenes seleccionados para relatar la historia de nuestro mundo a posibles civilizaciones extraterrestres. Las instrucciones son fascinantes e indican nuestra ubicación en la Vía Láctea y cómo reproducir un video con una temporización basada en el átomo de hidrógeno.

Burbuja de radio

ORDEN DE MAGNITUD 10^{17} m

En 1901 se realizó la primera transmisión transatlántica de una señal inalámbrica. Esta y las subsiguientes señales de radiofrecuencia que hemos transmitido incesantemente se han expandido fuera de la Tierra por ya más de 100 años, creando una "burbuja" que ha alcanzado a cientos de estrellas cercanas (la más cercana, *Próxima Centauri*, se encuentra a 4,17 ly). Esta es una pequeña porción de la Vía Láctea, y por eso sigue siendo difícil que muchas otras civilizaciones galácticas nos "escuchen".

946,1 Pm | 100 ly

distancia desde la Tierra

Universo observable

En la Tierra es posible recibir radiación emitida desde hace 13 700 millones de años, es decir, desde el origen del Universo, creando una esfera conocida como *Universo observable*. Debido a la expansión del Universo, y a la "energía oscura", que causa una expansión cada vez más rápida, su diámetro es de **93 000 millones de años luz**.

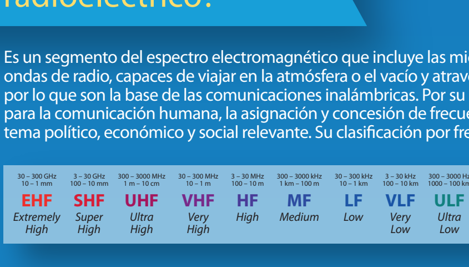
Desde lo más grande…

Espectro Electromagnético

¿Qué es la radiación electromagnética?

Cuando los átomos o moléculas pasan de un estado de mayor energía a otro de menor energía emiten radiación electromagnética. Esta radiación tiene la forma de campos magnéticos y eléctricos oscilatorios sincronizados que se desplazan en el espacio. Su velocidad de propagación es una constante universal con un valor aproximado en el vacío de $c \approx 3 \times 10^8$ m/s.

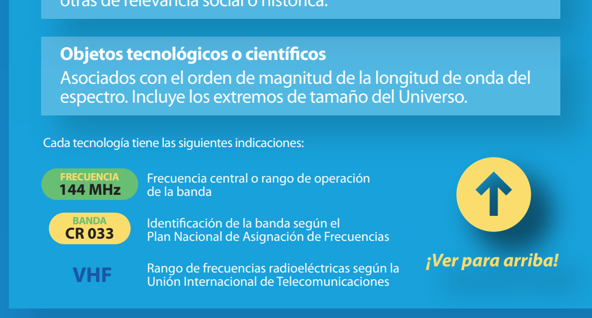
Onda electromagnética linealmente polarizada


Campo eléctrico $\vec{E}$
Campo magnético $\vec{B}$
Dirección de propagación
Longitud de onda λ

Las ondas electromagnéticas tienen una forma sinusoidal descrita por una frecuencia, ***f***, y una longitud de onda o "período espacial", **λ**, relacionados con la velocidad de la luz por $c = \lambda f$.

¿Qué es el espectro electromagnético?

Es una clasificación de las ondas electromagnéticas según su frecuencia, longitud de onda y energía. Cada rango de frecuencias tiene características propias, según cómo se producen, cómo interactúan con la materia y sus aplicaciones.



¿Qué es el espectro radioeléctrico?

Es un segmento del espectro electromagnético que incluye las microondas y ondas de radio, capaces de viajar en la atmósfera o el vacío y atravesar objetos, por lo que son la base de las comunicaciones inalámbricas. Por su importancia para la comunicación humana, la asignación y concesión de frecuencias es un tema político, económico y social relevante. Su clasificación por frecuencias es:

30 – 300 GHz 10 – 1 mm	3 – 30 GHz 100 – 10 mm	300 – 3000 MHz 1 m – 10 cm	30 – 300 MHz 10 – 1 m	3 – 30 MHz 100 – 10 m	300 – 3000 kHz 1 km – 100 m	30 – 300 kHz 10 – 1 km	3 – 30 kHz 100 – 10 km	300 – 3000 Hz 1000 – 100 km	30 – 300 Hz 10 – 1 Mm	3 – 30 Hz 100 – 10 Mm
EHF *Extremely High*	**SHF** *Super High*	**UHF** *Ultra High*	**VHF** *Very High*	**HF** *High*	**MF** *Medium*	**LF** *Low*	**VLF** *Very Low*	**ULF** *Ultra Low*	**SLF** *Super Low*	**ELF** *Extremely Low*

Al subir el edificio, encontraremos frecuencias cada vez más altas y longitudes de onda cada vez más pequeñas.

Esta **infografía** exhibe:

Tecnologías inalámbricas en el espectro radioeléctrico
Una selección de aplicaciones que utilizamos comúnmente y otras de relevancia social o histórica.

Objetos tecnológicos o científicos
Asociados con el orden de magnitud de la longitud de onda del espectro. Incluye los extremos de tamaño del Universo.

Cada tecnología tiene las siguientes indicaciones:

FRECUENCIA 144 MHz	Frecuencia central o rango de operación de la banda
BANDA CR 033	Identificación de la banda según el Plan Nacional de Asignación de Frecuencias
VHF	Rango de frecuencias radioeléctricas según la Unión Internacional de Telecomunicaciones

¡Ver para arriba!

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
EIE Escuela de Ingeniería Eléctrica