FÍSICA APLICADA

JUSTO SOTO REBOLLO



Asignatura: FÍSICA APLICADA

PROFESORAS RESPONSABLES:
Dr. Germán Ros Magán
Dr. Francisco José Álvarez García
Dpto. de Física y Matemáticas, UAH





OBJETIVOS:

- Comprender fenómenos físicos relacionados con la termodinámica, la dinámica atmosférica y la luz.
- Adquirir una visión global del Universo con especial énfasis en nuestro Sistema Solar.
- Desarrollar una actitud crítica ante la realidad.
- Fomentar la curiosidad científica y desarrollar actitudes positivas hacia la Física en particular y las ciencias en general.

PROGRAMA:

Capítulo I. "ASTRONOMÍA Y ASTROFÍSICA" (9 horas)

Tema I.- La luz para estudiar el Universo.
- **Lección 1.- Ondas electromagnéticas**
- **Lección 2.- Fenómenos ondulatorios**
- **Lección 4.- La luz en fenómenos cotidianos**

Tema II.- El sistema Sol-Tierra-Luna
- **Lección 1.- El Sol**
- **Lección 2.- Interacción Sol-Tierra**
- **Lección 3.- Interacción Tierra-Luna**

Tema III. - El sistema solar y la Vía Láctea
- **Lección 1.- Planetas del Sistema solar**
- **Lección 2.- Vida en el Sistema solar**
- **Lección 3.- Las constelaciones**
- **Lección 4.- La Galaxia**

Tema IV.- El Universo a Gran Escala
- **Lección 1.- El Universo a escala**
- **Lección 2.- Vida de las estrellas**
- **Lección 3.- Nociones de Cosmología**

Capítulo II. TERMODINÁMICA Y FÍSICA DE LOS FLUIDOS APLICADAS A PROCESOS NATURALES (9 horas).

Tema V.- Energía, calor y trabajo.
- **Lección 1.- Equilibrio térmico y temperatura.**
- **Lección 2.- Principios de la Termodinámica.**
- **Lección 3.- Equilibrio radiactivo de la Tierra.**

Tema VI.- Termodinámica de la atmósfera.
- **Lección 1.- Estructura vertical y estabilidad de la atmósfera.**
- **Lección 2.- Fenómenos convectivos.**
- **Lección 3.- Cambios de fase: nubes y precipitación.**

Tema VII.- Dinámica de la atmósfera.
- **Lección 1.- Leyes de movimiento aplicadas a un fluido.**
- **Lección 2.- La circulación general de la atmósfera.**
- **Lección 3.- Las células de Hadley y la Zona de Convergencia Intertropical.**

Tema VIII.- Dinámica del clima
- **Lección 1.- El clima y su variabilidad. El Niño y la Oscilación del Atlántico norte.**
- **Lección 2.- Breve historia del clima.**
- **Lección 3.- Proyecciones de futuro: el calentamiento global.**

BIBLIOGRAFÍA:

Libros de texto:

- Hewitt, P.G. (2004). Física Conceptual. Ed. Pearson
- Barry, R. G., y Chorley, R. J. (1999). Atmósfera, Tiempo y Clima. Ed. Omega.

WEBGRAFÍA:

- Canal con experimentos de Física explicados (Germán Ros e Iñigo Rodrígez Arteche): https://www.youtube.com/watch?v=NqKgqTPFbuU&list=PLv4KVtP071cOBguakJ3LDggu9LnjeprzT
- Canal con experimentos de Física: http://www.youtube.es/rosgerman
- Simulaciones por ordenador: https://phet.colorado.edu/en/simulations/category/new
- Curso interactivo de Física por Ordenador: http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/
- Curso de Física: “MOOC para física preuniversitaria” Germán Ros. https://www.youtube.com/watch?v=AWgTiDnpNh0&list=PLv4KVtP071cNdOTQsfwPUVnonvbkrXjG0

LIBROS DE DIVULGACIÓN:

- “El ojo desnudo” Anotnio Martínez Ron. Ed. Crítica. 2016
- “La lira desafinada de Pitágoras” Almudena Martín Castro. Ed. HarperCollins. 2022
- “Aproxímate” Javier Fernádez Panadero. Voces/Ensayo. 2017
- “Como Einstein por su casa” Javier Fernádez Panadero. Voces/Ensayo. 2015
- “Física divertida” Carlos Filhoais. Ed. Gradiva. 1992
- “Nueva fisica divertida” Carlos Filhoais.Ed. Gradiva. 2007
- “85 Experimentos de Física Cotidiana”. Óscar R. Lozano, Jordi Solbes. Editorial
- Graó. Biblioteca de Alambique. Serie Didáctica de las Ciencias Experimentales. 2014.

Tema1: ATRONOMÍA

PANORAMA GENERAL

⇒ PRESENTACIÓN DEL TEMA Y VIAJE DE ESCALAS

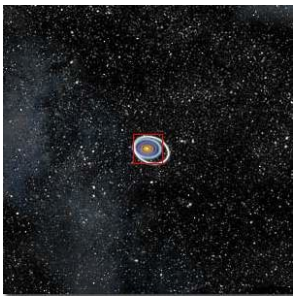
El tema se nos presenta como un recorrido por el Universo que va desde las distancias más gigantescas hasta las escalas más pequeñas que podemos imaginar. La idea principal no es solo enseñar objetos astronómicos, sino acostumbrar la mente a trabajar con de magnitud enormes y muy pequeñas, algo imprescindible en Astronomía.

La notación científica aparece desde el principio porque permite expresar con claridad números que serían casi imposibles de manejar en escritura ordinaria. El viaje comienza a 10 millones de años-luz ($\mathbf{10^{23}}$ metros) y termina a $\mathbf{10^{-16}}$ metros, de modo que el tema enlaza el cosmos con la materia más íntima.

$\mathbf{10^{23}m}$ = 100000000000000000000000 m.

$\mathbf{10^{-16}m}$ = 0.0000000000000001 m.

⇒ DE LA GALAXIA AL SISTEMA SOLAR



Las primeras escalas del recorrido muestran cómo cambia nuestra percepción al acercarnos desde millones de años-luz hasta el entorno del Sol. Primero distinguimos la Vía Láctea como una gran estructura espiral; después aparecen las estrellas individuales y, más adelante, el Sol como una estrella concreta entre muchas otras.

A medida que la distancia disminuye, el Sistema Solar se va definiendo: se insinúan las órbitas de los planetas exteriores, luego las de los interiores y finalmente la órbita terrestre y la lunar.

La lección aquí es muy importante: el espacio entre los cuerpos celestes es inmenso, y el Sistema Solar está mucho más vacío de lo que solemos imaginar.

⇒ DE LA TIERRA VISTA DESDE ARRIBA AL MUNDO COTIDIANO







Cuando el acercamiento entra ya en la escala terrestre, la Tierra deja de verse como planeta y pasa a mostrar continentes, ciudades, paisajes y finalmente objetos que están a nuestro alcance directo. Este tramo ayuda a relacionar la Astronomía con la experiencia diaria, recordando que también vivimos dentro de una cadena continua de tamaños.

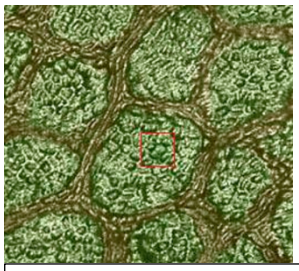
La transición desde miles de kilómetro hasta metros y centímetros enseña que la observación cambia de naturaleza con la escala. Desde satélites distinguimos grandes formas del relieve; desde poca altura aparecen barrios y carreteras; a escala humana empezamos a ver hojas, texturas y detalles materiales.

DEL MICROSCOPIO AL INTERIOR DE LA MATERIA

La última parte del viaje abandona la Astronomía visible para entrar en el territorio de la Biología y de la Física de partículas. Se pasa de células y núcleos celulares a cromosomas, ADN, átomos, electrones, núcleos atómicos, protones y quarks.

El sentido didáctico de este bloque es mostrar que el ser humano ocupa una posición intermedia entre lo inmensamente grande y lo inmensamente pequeño. La Astronomía no estudia un mundo

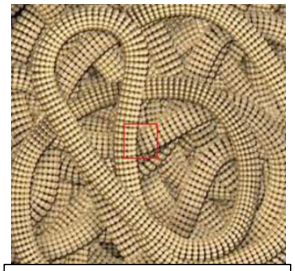
aislado: forma parte de una visión general de la naturaleza donde todo está relacionado por escalas, estructura y leyes físicas.



Células prácticamente definidas



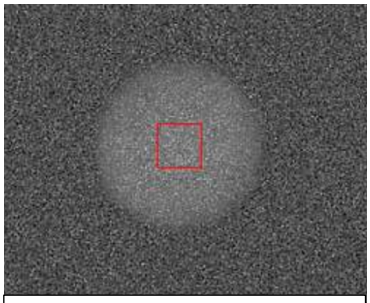
Aparecen las células



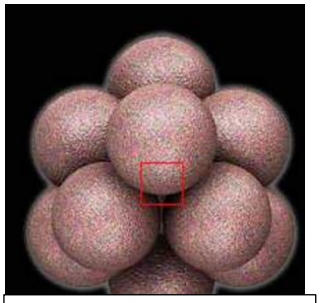
Aparecen los cromosomas



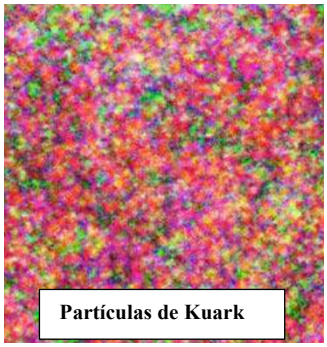
Se ve la cadena de ADN



Nubes de Electrones de Carbono



Núcleo Átomo de Carbono



Partículas de Kuark

⇒ **DEFINICIÓN, CARACTERÍSTICAS Y ESTADO DE LA MATERIA**

La materia está presente en todo lo que nos rodea. Si nos centramos en la definición que aporta la Real Academia de la Lengua (RAE) sobre la materia, nos indica que "***es la realidad espacial y perceptible por los sentidos de la que están hechas las cosas que nos rodean y que, con la energía, constituye el mundo físico***".

La materia está compuesta por **átomos**, de forma que una sola gota de agua, por ejemplo, puede contener tres trillones de átomos de hidrógeno. Los átomos son partículas que solo podríamos observar a través de un microscopio. A su vez el átomo que compone la materia se descompone en partes más pequeñas aún, en concreto **un átomo puede tener un núcleo y uno o varios electrones**. El núcleo contiene la carga positiva y en el exterior del núcleo los protones contienen la carga negativa. Los átomos pueden ser diferentes en cuanto a tamaño, masa o forma, es decir los átomos de los que está compuesta la materia pueden ser diferentes en función del tipo de materia de que se trate.

La materia es todo aquello que tiene masa y volumen, es decir, que ocupa un lugar en el espacio, de forma que la luz o el sonido no formarían parte de la materia.

La masa *es la cantidad de materia que tiene un cuerpo* y a mayor masa en el microscopio observaremos un mayor número de átomos o partículas.

El volumen *es el espacio que ocupa un cuerpo* y en este caso el volumen se observaría en el microscopio por el espacio que existe entre los átomos.

⇒ **TIPOS DE MATERIA**

La materia en función de su composición puede dividirse en diferentes categorías. Así podemos hablar de dos bloques principales: **las sustancias y las mezclas.**

Las sustancias están compuestas por átomos iguales por lo que no pueden separarse en otras sustancias por procedimientos químicos. Estas se dividen en elementos y compuestos.

- ***Los elementos*** son la materia compuesta de sustancias puras simples, formadas por el mismo tipo de átomos y el mismo número de protones y con las mismas propiedades químicas. Son sustancias puras simples el hierro, el sodio, la plata y todas aquellas sustancias que se encuentren dentro de la tabla periódica.
- ***Los compuestos*** están formados por dos o más elementos de la tabla periódica en la misma proporción y por lo tanto conforman una fórmula química que nos dice las sustancias y la proporción de estas en ese compuesto. Los compuestos, no pueden separarse mediante

medios físicos, solamente se pueden separar las sustancias de un compuesto mediante métodos químicos. La fórmula de un compuesto nos dice el número de átomos de cada sustancia que lo compone, así, por ejemplo, el agua tendría como fórmula H2O lo que nos indica que tiene dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno.

Las mezclas conllevan la unión de dos o más sustancias cuyas proporciones son variables y cada sustancia conserva sus propiedades originales. Esto se produce porque la unión de las sustancias se realiza por medios físicos y no químicos. Las mezclas pueden ser homogéneas o heterogéneas.

- ***Las mezclas homogéneas*** implican que no se puedan identificar las sustancias que las componen con facilidad porque las propiedades de las sustancias son similares lo que implica que se mezclen de forma uniforme. Esto sucede con el agua salada del mar.
- **Las mezclas heterogéneas** impiden una mezcla uniforme porque las propiedades de las sustancias sean diferentes como en el caso del aceite y el agua que hace que el aceite suba a la superficie al tener una mayor densidad o si mezclamos agua y arena, esta última acabará en el fondo por las propiedades físicas de los elementos que la componen.

⇒ CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA

Si tenemos que definir la materia por sus características tenemos que hablar de propiedades y estados de la materia.

Dentro de las **propiedades de la materia** podemos distinguir dos tipos de propiedades: las propiedades generales y las propiedades específicas.

Las **propiedades generales de la materia** son la masa y el volumen.

La masa es la cantidad de materia que tiene un cuerpo y se mide en kilogramos, gramos o unidades más grandes o pequeñas según su peso. Para medir su peso necesitamos como herramienta la báscula. Existen en los laboratorios diferentes tipos de balanza como la analítica para sustancias pequeñas, la balanza electrónica para pesar material sólido y que muestran una gran precisión para medidas exactas.

El volumen es el espacio que ocupa un cuerpo y se puede medir en litros, mililitros o unidades más grandes o pequeñas según el espacio que ocupe. Para medir el volumen en un laboratorio se utiliza un vaso de precipitado, una probeta, pipeta o vaso medidor.

Las **propiedades específicas de la materia** son la dureza, la fragilidad, la elasticidad y la densidad.

La dureza es una propiedad de la materia que se mide mediante la "escala de Mohs" y se define por la resistencia que tiene el material a ser rayado por otro. Según el grado de dureza el talco es el material de menor dureza y el diamante estaría en el grado de mayor dureza dentro de la escala de Mohs.

La fragilidad determina la facilidad de rotura de un cuerpo, así como la resistencia ante un impacto.

La elasticidad se refiere a la capacidad de la materia de sufrir transformaciones como la deformación volviendo a su forma original cuando ya no se ejerce la fuerza que lo transforma.

La densidad es una propiedad que pone en interrelación la cantidad de masa por unidad de volumen de un cuerpo, ofreciendo una mayor densidad los sólidos, seguidos por los líquidos y en menor grado los gases.

⇒ ESTADOS DE LA MATERIA

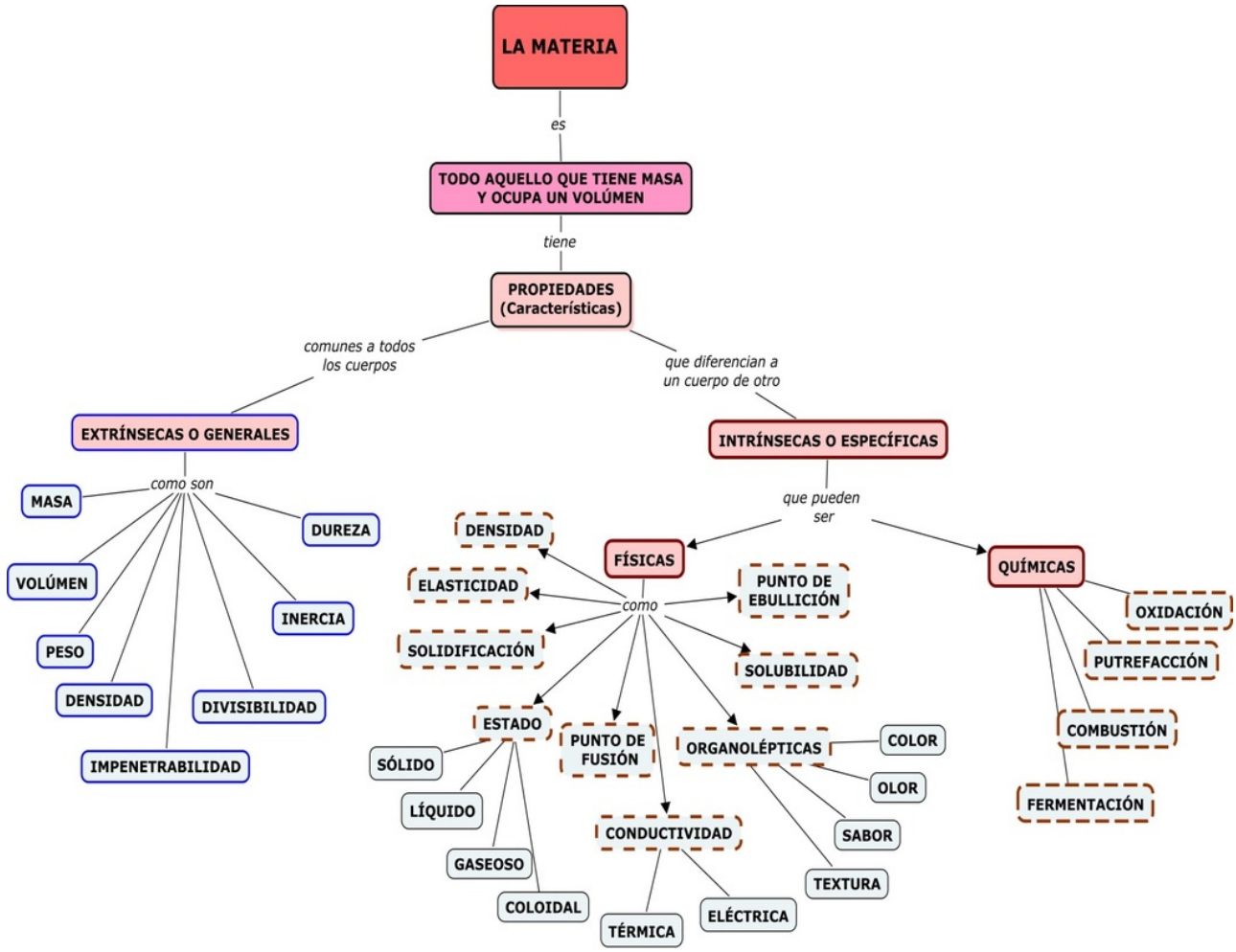
La materia puede presentarse en diferentes estados que dependen de las fuerzas de unión existentes entre las diferentes partículas que la componen. De esta manera, podemos distinguir entre estado sólido, líquido y gaseoso según las fuerzas internas existentes entre sus átomos, moléculas y iones. La materia ocupa espacio, pero no toda la materia que nos rodea ocupa el mismo espacio ni está presente de la misma manera.

El estado sólido es el estado de la materia en el que esta se presenta con un volumen invariable y forma fija, aunque en algunos casos la forma puede varias si se trata de sólidos moldeables como la arcilla.

El estado líquido se caracteriza por presentar un volumen invariable como los sólidos, pero pueden cambiar de forma. Este fenómeno es fácilmente observable ya que cuando vertemos agua en

una jarra vemos como el líquido se adapta a la forma del recipiente y cambia si vertemos parte del líquido en un vaso, observando de nuevo como su forma se adapta al nuevo receptáculo.

El estado gaseoso presenta a la materia con volumen y forma variables. El gas se adapta al recipiente en el que se encuentra ajustándose a la forma de este, pero también adapta su volumen expandiéndose en el interior del mismo.



⇒ PREGUNTAS QUE SURGIERON EN CLASE EN RELACIÓN CON EL TEMA

→ ¿Existe el vacío?

La respuesta fue que el vacío sí existe en Física, aunque casi nunca es un "**vacío absoluto**". Significa una región donde hay muy poca materia. Puede parecer vacío, pero puede contener radiación, campos y, según la física cuántica, fluctuaciones del llamado vacío cuántico. Por eso el vacío físico es una realidad, pero no una nada absoluta.

En el espacio interestelar, por ejemplo, hay poquísimas partículas, pero no cero. Incluso en el mejor vacío de laboratorio siguen quedando algunas partículas, radiación y efectos cuánticos.

O sea: el vacío existe, pero no suele ser una ausencia total de todo.

→ ¿Existe la nada?

La nada es otra cosa. La "**nada absoluta**" sería ausencia de materia, energía, espacio, tiempo, leyes físicas, todo. La Física con esto tiene más problemas. La ciencia necesita algo que pueda describirse o medirse. Si no hay espacio, ni tiempo, ni energía, ni leyes, ya no sabemos cómo hacer Física. Por eso la "nada absoluta" queda fuera del terreno científico o, al menos, muy en el límite.

Esa idea es más filosófica que científica, porque la ciencia estudia lo que existe o lo que puede medirse. En cuanto intentamos describir la nada, ya la estamos pensando como "algo". Por eso muchos físicos dicen: **vacío, sí; nada absoluta, no sabemos, y quizá ni siquiera tenga sentido físico**.

⇒ LA TIERRA COMO CUERPO ESFÉRICO

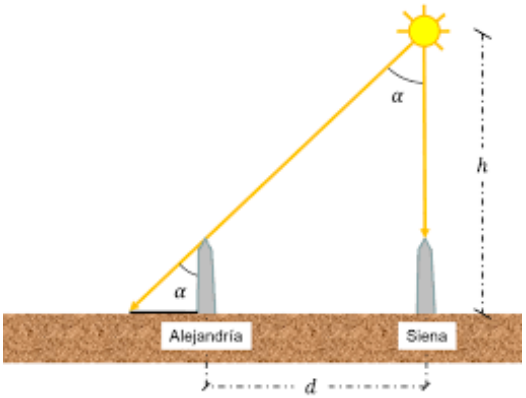


La entrada en el bloque de la Tierra parte de una idea sencilla pero decisiva: cuando se observa desde el espacio, la Tierra aparece claramente como un cuerpo casi esférico. Esto hoy parece evidente, pero durante siglos fue una cuestión discutida y tuvo que demostrarse con observaciones indirectas.

Sin embargo, y a pesar de que podamos pensar que es relativamente cercano el descubrimiento de que la tierra es redonda, hace más de 2.000 años. La idea fue formulada por los filósofos griegos en el **siglo VI a.C.** y demostrada matemáticamente en el **siglo III a.C.**, por lo que este conocimiento ha estado disponible desde la Antigüedad.

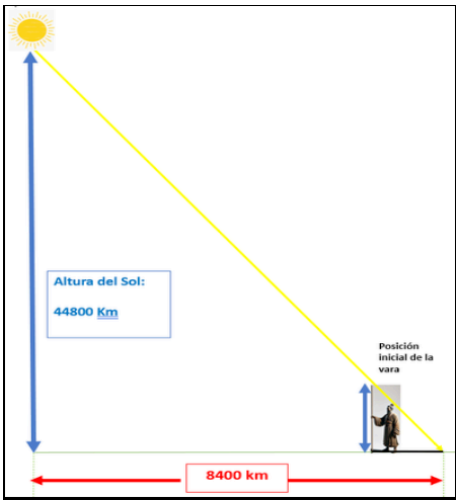
Los hitos clave incluyen:

- **Siglo VI a.C. (Antigua Grecia):** Filósofos como Pitágoras y Anaximandro comenzaron a teorizar sobre la esfericidad del planeta, basándose en la simetría y en la observación de los barcos que desaparecían en el horizonte.
- **Siglo IV a.C.:** Aristóteles ofreció las primeras pruebas físicas al observar la sombra curva que proyecta la Tierra sobre la Luna durante los eclipses lunares y al notar que ciertas estrellas cambiaban de posición según la latitud del observador.
- **Siglo III a.C. (Demostración empírica):** El sabio griego Eratóstenes midió por primera vez la circunferencia de la Tierra. Lo hizo alrededor del año 240 a.C. comparando las sombras de dos varillas situadas en distintas ciudades de Egipto (Alejandría y Siena) y usando trigonometría básica.



Las imágenes refuerzan que la apariencia plana de nuestra experiencia habitual no contradice la curvatura terrestre. Vivimos sobre una esfera tan grande que, a pequeña escala, su superficie nos parece prácticamente llana.

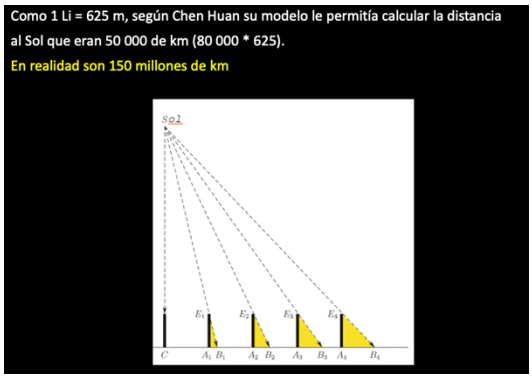
⇒ PRIMEROS INTENTOS DE MEDIR LA TIERRA Y EL PROBLEMA DE LA PERSPECTIVA



Aquí se explica cómo distintas civilizaciones intentaron calcular distancias astronómicas y dimensiones terrestres a partir de sombras y geometría. El ejemplo de Chen Huan muestra un razonamiento ingenioso, pero también pone de relieve que una hipótesis incorrecta sobre la dirección de los rayos solares puede arruinar el resultado.

"*Cheng Huan observó que la longitud de la sombra de una vara vertical de 80 tsun era de 15 tsun. Además, Cheng Huan observó que dicha sombra proyectada por el Sol en la superficie de la Tierra, en ese momento, se reducía en una longitud de 1 tsun en varas similares, situadas a 1000 Li de distancia cada una de ellas en línea hacia el Sol. Dado que la longitud de la sombra era de 15 tsun, necesitaríamos movernos 15000 Li para encontrarnos bajo el Sol y que la vara no proyectara sombra. De esto se puede deducir que la distancia vertical del Sol es de 80 000 Li desde la superficie de la Tierra*" (este texto está extraído de un libro escrito alrededor del siglo VII antes de Cristo).

→ **Pero la realidad era distinta**



¿Por qué ocurrió esto?

La idea clave es que los rayos del Sol llegan prácticamente paralelos a la Tierra debido a la enorme distancia que nos separa de él. Cuando eso no se entiende bien, se confunde un efecto de perspectiva con una propiedad física real, y los cálculos se desvían muchísimo.



Este bloque culmina con la referencia a Eratóstenes, que logró una estimación extraordinaria del tamaño terrestre usando sombras medidas en lugares distintos. También calculó la distancia Tierra-Luna y Tierra-Sol de manera aceptable. Ideó también introducir el año bisiesto para ajustar el calendario.

Su trabajo es uno de los mejores ejemplos de cómo la observación, combinada con geometría simple y buen razonamiento, permite medir el mundo.

- **https://www.youtube.com/watch?v=UeIQnjOEGUY&list=PLza0Shqw0Oz3AgPpyFVix96l7IMS9cKHA&index=37**
- **https://www.youtube.com/watch?v=Mw30CgaXiQw&list=PLza0Shqw0Oz3AgPpyFVix96l7IMS9cKHA&index=54**
- **https://www.youtube.com/watch?v=O5xztFsm7IY&t=220s**

Web (Click)

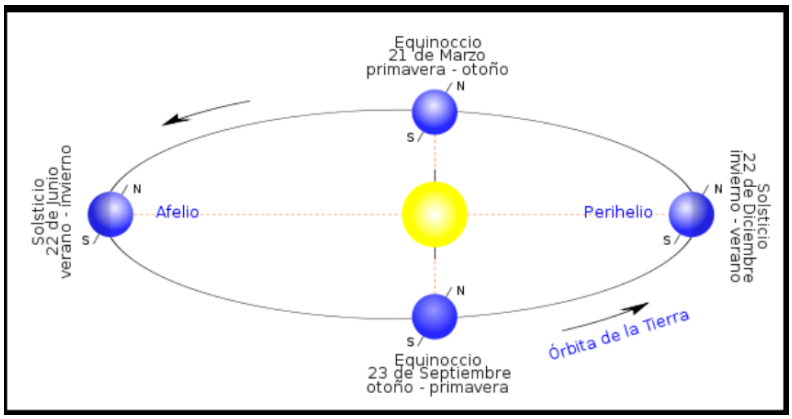
⇒ **TRASLACIÓN E INCLINACIÓN DEL EJE**

Las estaciones no se deben a que la Tierra esté más cerca o más lejos del Sol, sino a la inclinación de su eje de rotación respecto al plano de la órbita. Esa inclinación hace que a lo largo del año cambie el ángulo con el que llegan los rayos solares a cada hemisferio y también la duración del día.

Por eso, cuando en el hemisferio norte es verano y los rayos inciden de forma más directa, en el hemisferio sur es invierno, y al revés. La traslación solo produce estaciones porque el eje terrestre mantiene aproximadamente la misma orientación en el espacio mientras la Tierra gira alrededor del Sol.

Veámoslo más en detalle.

La Tierra gira alrededor del Sol manteniendo su eje inclinado unos **23,5°** respecto a la perpendicular del plano de la órbita. Ese eje apunta casi siempre en la misma dirección espacial. Por eso, durante una parte del año el hemisferio norte queda más inclinado hacia el Sol, y durante otra parte queda inclinado en sentido contrario.



1. Traslación de la Tierra: órbita, solsticios y equinoccios

En esta imagen se ve la **órbita de la Tierra alrededor del Sol**. La Tierra tarda aproximadamente **365 días y 6 horas** en completar una vuelta. Ese movimiento se llama **traslación**.

Aparecen cuatro posiciones fundamentales:

→ **Equinoccio de marzo — alrededor del 20-21 de marzo**

En esta posición, el Sol ilumina de forma parecida ambos hemisferios. El día y la noche tienen una duración aproximadamente igual en toda la Tierra. En el hemisferio norte comienza la **primavera**, y en el hemisferio sur comienza el **otoño**.

→ **Solsticio de junio — alrededor del 20-21 de junio**

El hemisferio norte está inclinado hacia el Sol. Por eso recibe los rayos solares más directamente y durante más horas al día. Es el inicio del **verano en el hemisferio norte** y del **invierno en el hemisferio sur**.

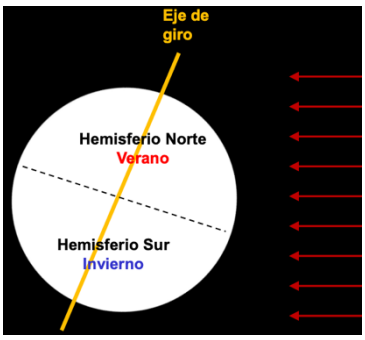
→ **Equinoccio de septiembre — alrededor del 22-23 de septiembre**

De nuevo los dos hemisferios reciben una iluminación bastante equilibrada. En el hemisferio norte comienza el **otoño**, y en el hemisferio sur comienza la **primavera**.

→ **Solsticio de diciembre — alrededor del 21-22 de diciembre**

El hemisferio norte queda inclinado en sentido contrario al Sol. Recibe rayos más oblicuos y menos horas de luz. Por eso comienza el **invierno en el hemisferio norte** y el **verano en el hemisferio sur**.

Un detalle importante de la imagen: aparecen **afelio** y **perihelio**. El **perihelio** es cuando la Tierra está más cerca del Sol, a comienzos de enero. El **afelio** es cuando está más lejos, a comienzos de julio. Esto demuestra que la distancia al Sol no explica las estaciones ni las temperaturas: en enero la Tierra está más cerca del Sol, pero en España es invierno.



2. Inclinación del eje y verano en el hemisferio norte

En esta otra imagen se ve muy bien el mecanismo real.

El eje de giro de la Tierra está inclinado. Los rayos solares llegan desde un lado. En esa posición, el **hemisferio norte** está inclinado hacia el Sol. Consecuencia:

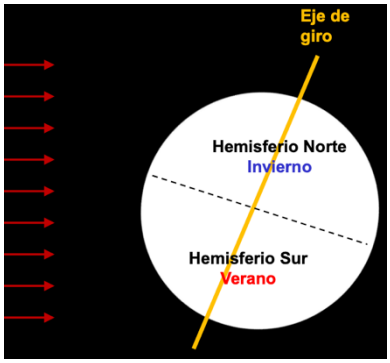
→ **Hemisferio norte: verano**

Recibe los rayos solares más perpendiculares. La energía solar se concentra en una superficie menor. Además, los días son más largos. Por eso calienta más.

→ **Hemisferio sur: invierno**

Recibe los rayos solares más oblicuos. La misma energía se reparte sobre una superficie mayor. Además, los días son más cortos. Por eso calienta menos.

La clave no es que el Sol "esté más fuerte", sino que sus rayos entran con **mayor ángulo de incidencia** y durante **más tiempo diario**.



3. Inclinación del eje e invierno en el hemisferio norte

La tercera imagen representa la situación contraria.

Ahora el hemisferio norte está inclinado alejándose del Sol.

→ **Hemisferio norte: invierno**

Los rayos llegan más inclinados. La energía se reparte sobre una zona mayor y calienta menos. Además, el Sol está menos tiempo sobre el horizonte, así que los días son más cortos.

→ **Hemisferio sur: verano**

Ocurre lo contrario: recibe rayos más directos y días más largos. Por eso cuando en España es invierno, en Argentina, Chile, Sudáfrica o Australia es verano.

Esta imagen es muy importante porque muestra que las estaciones son **opuestas entre hemisferios**.

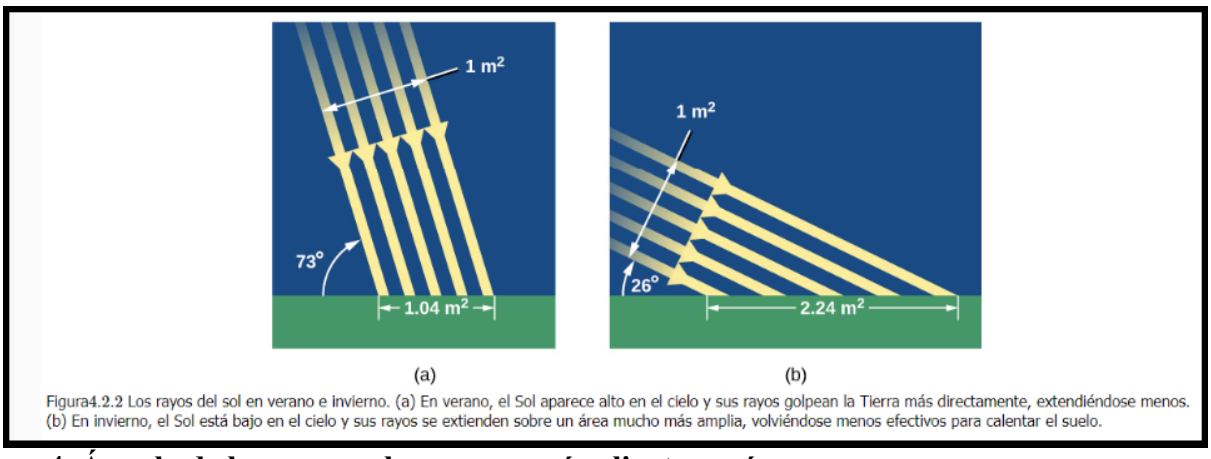


Figura4.2.2 Los rayos del sol en verano e invierno. (a) En verano, el Sol aparece alto en el cielo y sus rayos golpean la Tierra más directamente, extendiéndose menos. (b) En invierno, el Sol está bajo en el cielo y sus rayos se extienden sobre un área mucho más amplia, volviéndose menos efectivos para calentar el suelo.

4. Ángulo de los rayos solares: por qué calientan más o menos

Esta cuarta imagen explica el fundamento físico.

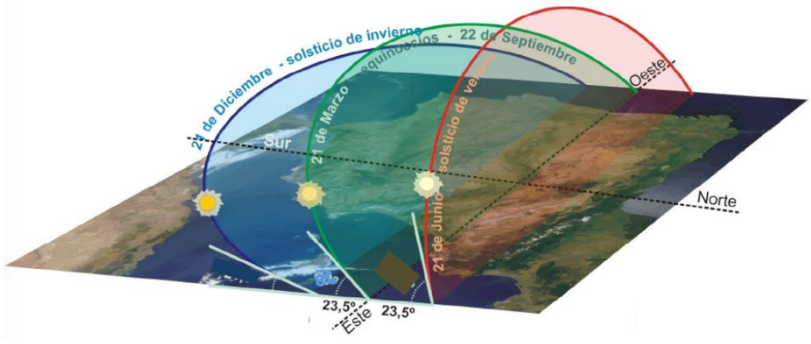
Cuando el Sol está alto en el cielo, como ocurre en verano, sus rayos llegan más verticales. En la imagen de la izquierda, los rayos forman un ángulo de unos **73°** y la energía se reparte sobre una superficie pequeña: aproximadamente **1,04 m²**.

Cuando el Sol está bajo, como ocurre en invierno, los rayos llegan más inclinados. En la imagen de la derecha, el ángulo es de unos **26°** y la misma cantidad de energía se reparte sobre una superficie mucho mayor: aproximadamente **2,24 m²**.

La consecuencia es clara:

Situación	Rayos solares	Superficie iluminada	Calentamiento
Verano	Más verticales	Menor	Más intenso
Invierno	Más oblicuos	Mayor	Menos intenso

Por eso en verano el Sol "pega" más: no porque esté necesariamente más cerca, sino porque la energía llega más concentrada.



5. Recorrido aparente del Sol sobre el horizonte

La quinta imagen muestra cómo cambia el recorrido del Sol a lo largo del año.

En el **solsticio de verano**, el Sol sale más hacia el noreste, alcanza mucha altura al mediodía y se pone más hacia el noroeste. Su arco diario es largo. Resultado: **días largos y noches cortas**.

En los **equinoccios**, el Sol sale aproximadamente por el este y se pone aproximadamente por el oeste. El día y la noche duran casi lo mismo.

En el **solsticio de invierno**, el Sol sale más hacia el sureste, alcanza poca altura al mediodía y se pone más hacia el suroeste. Su arco diario es corto. Resultado: **días cortos y noches largas**.

Esto se aprecia muy bien en España: en junio el Sol sube mucho y permanece muchas horas visible; en diciembre sube poco, su trayectoria es baja y el día se acorta bastante.

→ **Conclusión esencial**

Las estaciones nacen de la combinación de dos hechos:

1. **La Tierra se traslada alrededor del Sol.**

Eso hace que a lo largo del año vayamos ocupando distintas posiciones orbitales.

2. **El eje terrestre está inclinado 23,5° y mantiene casi fija su orientación.**

Eso hace que unas veces el hemisferio norte mire más hacia el Sol y otras veces mire menos.

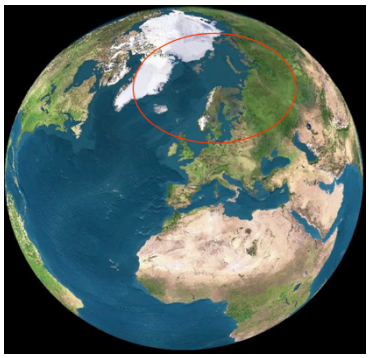
Por tanto:

Momento del año	**Hemisferio norte**	**Hemisferio sur**
Marzo	Primavera	Otoño
Junio	Verano	Invierno
Septiembre	Otoño	Primavera
Diciembre	Invierno	Verano

→ Por lo tanto: las estaciones son consecuencia de la inclinación del eje terrestre durante la traslación anual, no de la distancia al Sol.

⇒ **EL SOL DE MEDIANOCHE**

Vamos a seguir una simulación con imágenes de satélite, de cómo el sol ilumina la Tierra el 21 de junio (solsticio de verano) el día más largo del año en el hemisferio norte y el más corto en el hemisferio sur.



Se puede ver que el oscurecimiento nocturno nunca llega a el área situada dentro del círculo rojo.

La secuencia de horas muestra un fenómeno muy llamativo de las regiones polares: durante ciertas épocas del año el Sol no llega a ocultarse. Esto sucede porque, cerca del solsticio de verano, la inclinación del eje terrestre mantiene continuamente iluminadas algunas zonas de latitudes muy altas.

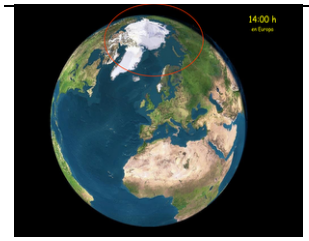
El llamado sol de medianoche ayuda a entender de forma visual qué significa realmente la inclinación terrestre. No es solo un dato abstracto: modifica la distribución de la luz solar sobre el planeta y produce comportamientos extremos de día y noche según la latitud.

SOL DE MEDIANOCHE

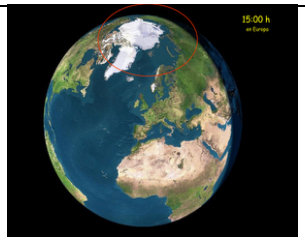
https://www.youtube.com/watch?v=k0KtWZbKdwg&list=PLza0Shqw0Oz3AgPpyFVix96l7IMS9cKHA&index=56

Web (Click)

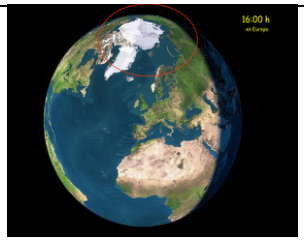
→ Este fenómeno se puede apreciar en los Polos durante casi 73 días en el Solsticio de Verano.



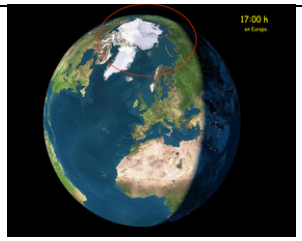
14:00 h en Europa



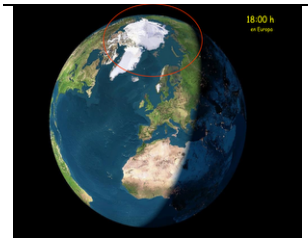
15:00 h en Europa



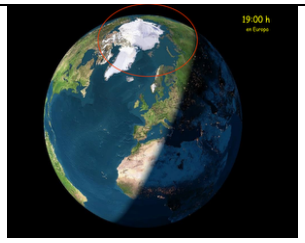
16:00 h en Europa



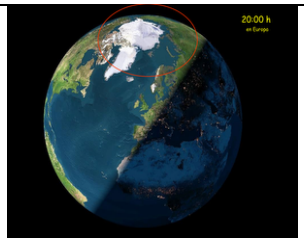
17:00 h en Europa



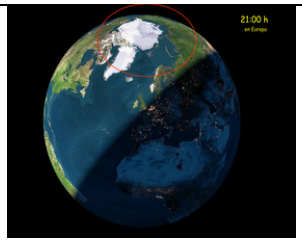
18:00 h en Europa



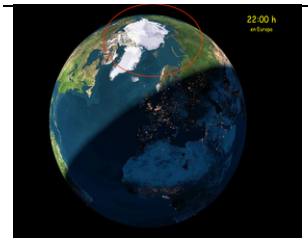
19:00 h en Europa



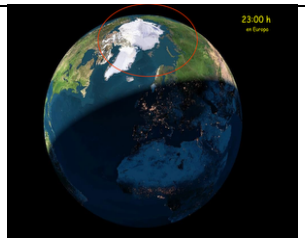
20:00 h en Europa



21:00 h en Europa



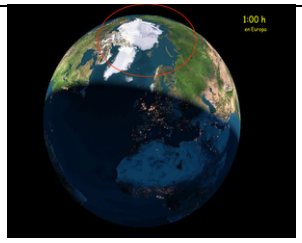
22:00 h en Europa



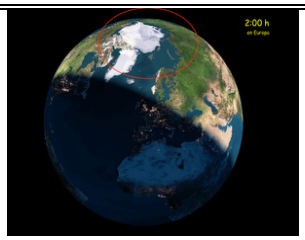
23:00 h en Europa



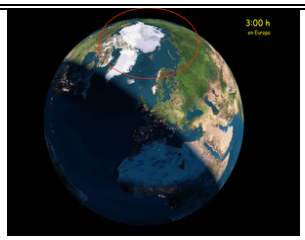
Medianoche en Europa



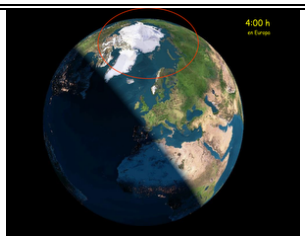
1:00 h en Europa



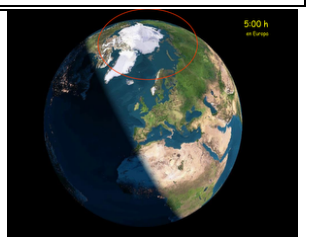
2:00 h en Europa



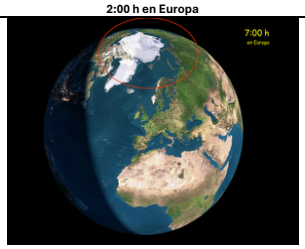
3:00 h en Europa



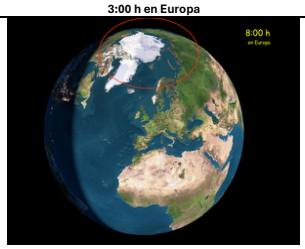
4:00 h en Europa



5:00 h en Europa



7:00 h en Europa



8:00 h en Europa



9:00 h en Europa



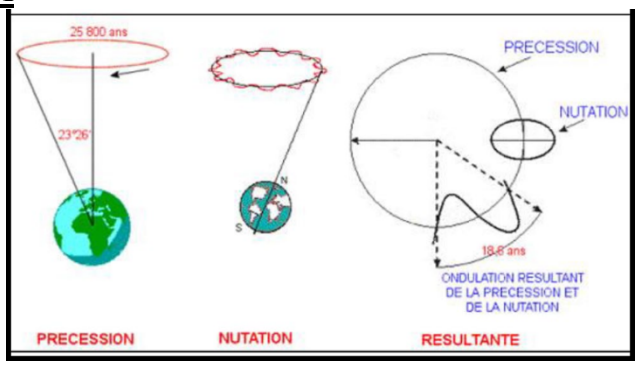
10:00 h en Europa



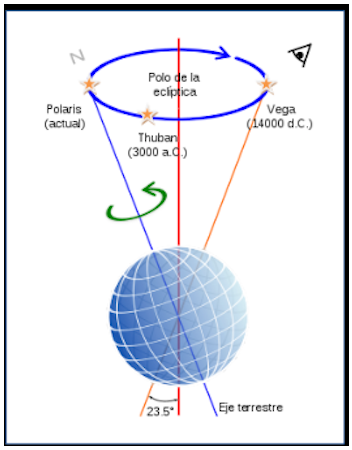
11:00 h en Europa

⇒ LOS MOVIMIENTOS DE LA TIERRA

La Tierra no realiza solo los dos movimientos que solemos recordar en la escuela, es decir, la **rotación** diaria y la **traslación** anual; existen otros movimientos más lentos y menos intuitivos, como la **precesión** y la **nutación**, que afectan a la orientación del eje terrestre en el espacio. Este eje terrestre también cambia lentamente de orientación en el espacio.



La **precesión** es ese giro muy lento de la dirección de eje, parecido al bamboleo de una peonza, y tarda unos 25.776 años en completar una vuelta. No altera nuestro día a día de forma evidente, pero sí modifica con el tiempo cual es la estrella que queda cerca del polo celeste y cómo se describen algunos ciclos astronómicos a gran escala.



→ En febrero del 2010, se registró una variación del eje terrestre de 8 centímetros aproximadamente, por causa del terremoto de 8,8° Richter que afectó a Chile. En tanto que el maremoto y consecuente tsunami que azotó al sudeste asiático en el año 2004, desplazó 17,8 centímetros al eje terrestre.

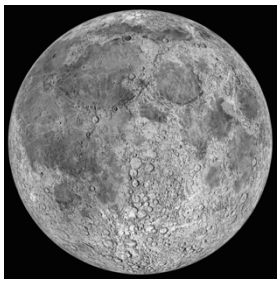
Sobre ese movimiento se superpone la **nutación**, que es un cabeceo menor del eje con un periodo de 18 años y 8 meses. No sustituye a la precesión, sino que la matiza.

Pero además tenemos otro más, el propio Sistema Solar entero se desplaza alrededor del centro de la Vía Láctea, en un viaje que dura entre 225 y 250 millones de años.

La idea más valiosa que podemos sacar es que nuestro planeta nunca está quieto: gira sobre sí mismo, gira alrededor del Sol, cambia la orientación de su eje y, a la vez, viaja con el resto del sistema por la galaxia.

https://www.youtube.com/watch?v=kiRuMRwXGSo Web (Click)

⇒ LA DISTANCIA ENTRE LA TIERRA Y LA LUNA

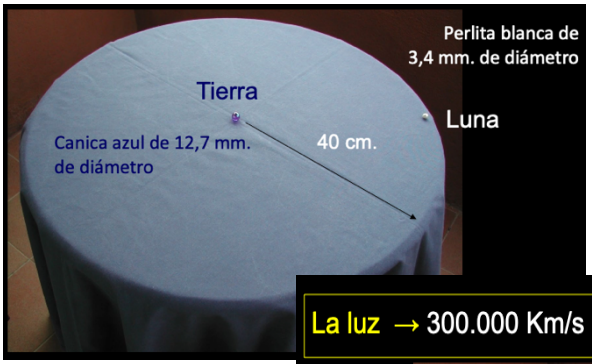


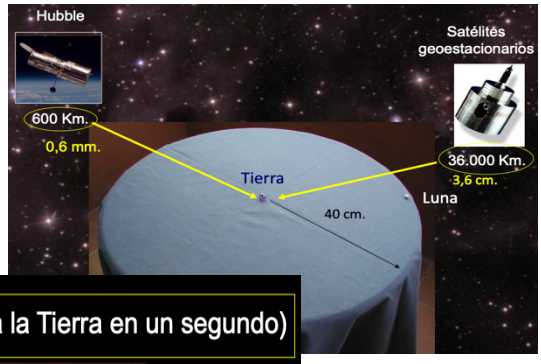
La distancia media entre la Tierra y la Luna es de unos 384.400 kilómetros, esto suele parecer un simple dato, pero en realidad cuesta imaginarla si no la traducimos a comparaciones más cercanas. Por eso es importante poder expresarla de otras maneras:

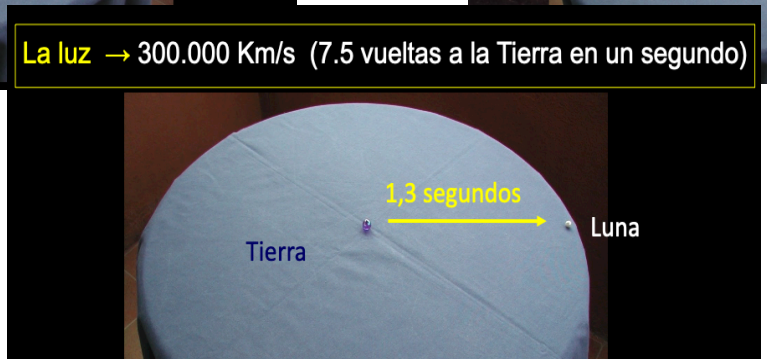
Equivale aproximadamente a treinta veces el diámetro terrestre, y la luz tarda alrededor de 1,3 segundos en ir de la Tierra a la Luna. Son comparaciones muy útiles porque nos obligan a corregir la falsa sensación de cercanía que transmiten muchos de los dibujos de nuestra época escolar.

¿Pero cómo podemos imaginar esa distancia?

→ Las ejemplos visuales con una Tierra muy pequeña, una Luna aún más pequeña y una separación desproporcionadamente grande ayudan a comprender que el espacio está mucho más vacío de lo que solemos pensar. Incluso los satélites terrestres, como los geoestacionarios o el telescopio *Hubble*, quedan muy cerca de la Tierra si se comparan con la órbita lunar. Por eso, vamos a hacer algo fundamental en Astronomía: pasar de un número grande a una imagen mental comprensible.







⇒ <u>CURIOSIDADES LUNARES Y EXPLORACIÓN HUMANA</u>

Para dejar de ver a la Luna solo como un objeto lejano es conveniente mostrarla como un mundo con rasgos propios:

→ En la luna hay hielo en cráteres polares y en zonas donde nunca llega la luz del Sol, un dato muy importante porque el agua condiciona cualquier proyecto futuro de exploración y también cualquier reflexión sobre recursos disponibles fuera de la Tierra.

→ Debido a su baja gravedad no hay casi atmósfera, por lo que no se puede propagar el sonido.

→ No hay erosión.

→ Los rayos solares inciden directamente sobre ella, alcanzando temperaturas extremas entre la noche (-173ºC) y el día (107ºC).

→ Tiene la misma composición que la Tierra ya que se formó como consecuencia de la colisión de algún gran cuerpo con la proto-Tierra.

→ La Luna viaja alrededor de la Tierra a una velocidad de ~ 1 km/s, y se aleja de la Tierra unos 4 cm al año debido a la pérdida de velocidad de rotación de la Tierra (causada por la fricción en las mareas) que se compensa con este aumento de distancia para conservar el momento angular.

→ Sin embargo, las investigaciones continúan, y a veces surgen nuevas noticias. En el año 2024 se desvela el origen de una tenue atmósfera de la Luna:

"*La apenas perceptible atmósfera lunar es probablemente el resultado del impacto de meteoritos, primero grandes y luego en forma de polvo, a lo largo de miles de millones de años. Así lo revelan investigadores de EE UU tras analizar muestras recogidas por las misiones Apolo y datos del orbitador LADEE de la NASA".*

"Aunque la Luna carece de aire respirable, alberga una tenue atmósfera. Desde la década de 1980, los astrónomos han observado una delgadísima capa de átomos rebotando sobre la superficie lunar. Esta delicada atmósfera -técnicamente conocida como exosfera- es probablemente producto de algún tipo de meteorización espacial. Sin embargo, ha sido difícil determinar con exactitud cuáles son esos procesos.
Ahora, científicos del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) y de la Universidad de Chicago (EE UU) afirman haber identificado el principal proceso que formó la atmósfera lunar y que sigue manteniéndola en la actualidad. En un estudio publicado en la revista Science Advances, los autores informan de que la atmósfera lunar es principalmente producto de la vaporización por impacto".

También hay curiosidades históricas y culturales que muestran hasta qué punto la Luna ha fascinado a la humanidad durante siglos. En 1953, el abogado chileno Jenaro Gajardo Vera registró la propiedad de la Luna pagando 42 000 pesos de la época, oficializándose la escritura el 25 de septiembre de 1954 en el registro "*Conservador de Bienes Raíces de la ciudad de Talca*". Según sus propias declaraciones, el entonces presidente estadounidense, Richard Nixon, cumplió la formalidad de pedirle permiso para el alunizaje de la Apolo 11 en 1969, a lo que el abogado respondió afirmativamente.

Sin embargo, en 1967 se firmó un tratado en las Naciones Unidas que prohíbe la compraventa de objetos exteriores a la Tierra, a pesar de lo cual, en 1980, el estadounidense Dennis Hope formalizó de nuevo en una oficina del registro de San Francisco la "compra" de la Luna, dedicándose desde entonces a vender "parcelas" en suelo lunar.

→ En este bloque se nos presenta un resumen de los seis alunizajes del programa ***Apolo*** entre 1969 y 1972 (con seis alunizajes: apolo 11 (1969) hasta apolo 17 (1972) y solamente falló el apolo 13).

→ También se habla de la misión ***Artemis II***. Lanzado el día 1 de abril de 2026, es el primer vuelo tripulado del programa y su principal objetivo científico es validar los sistemas de soporte vital, comunicación y navegación con humanos a bordo para garantizar la seguridad en futuras misiones de

superficie. A diferencia de las misiones que alunizarán, Artemis II se centra en la fase de prueba operativa en el espacio profundo.

→ **Sus objetivos clave incluyen:**

- Validación del Soporte Vital: Probar los sistemas de la nave Orión que mantienen el aire, la temperatura y la presión adecuados para los astronautas durante un viaje lunar.
- Pruebas de Proximidad: Realizar maniobras manuales de pilotaje cerca de la etapa superior del cohete para evaluar el manejo de la nave.
- Investigación de la Cara Oculta: Durante su sobrevuelo el 6 de abril de 2026, la tripulación recopila datos visuales y científicos sobre la geología de la cara oculta de la Luna, una zona menos explorada.
- Monitoreo de Radiación: Estudiar los efectos de la radiación espacial profunda en el cuerpo humano fuera del campo magnético protector de la Tierra.
- Preparación para Marte: Servir como plataforma de ensayo para las tecnologías que se utilizarán en futuras expediciones tripuladas al planeta rojo.

→ **Salud Humana y Biología (Campaña de Investigación Integrada)**

Dado que es la primera vez en más de 50 años que humanos viajan más allá de la órbita terrestre baja, la NASA utiliza a los propios astronautas como sujetos de estudio:

- AVATAR (*A Virtual Astronaut Tissue Analog Response*): Utiliza dispositivos de "órgano en un chip" para simular el comportamiento de tejidos humanos (como la médula ósea) frente a la radiación y la sensación de ausencia de gravedad. Es la primera vez que esta tecnología se prueba fuera del campo magnético protector de la Tierra.
- ARCHeR: Un estudio que monitorea el bienestar, los niveles de actividad y los patrones de sueño de los astronautas para entender cómo el aislamiento y el entorno del espacio profundo afectan el rendimiento humano.
- Biomarcadores Inmunes: Los científicos analizan muestras de sangre y saliva de la tripulación para observar cómo el sistema inmunitario cambia y se adapta durante el viaje lunar.
- Medidas Estándar de *Artemis II*: Un conjunto de pruebas físicas y cognitivas que se realizan antes, durante y después del vuelo para establecer una base de datos comparativa con futuras misiones.

→ **Tecnología y Comunicaciones**

- O2O (*Orión Artemis II Optical Communications System*): Prueba de un sistema de comunicación láser de alta velocidad. A diferencia de las ondas de radio tradicionales, el láser permite enviar grandes volúmenes de datos científicos, fotos y vídeos de alta resolución a la Tierra casi instantáneamente.

→ **Cargas Útiles Secundarias** (***CubeSats***)

- La nave Orión desplegó cuatro pequeños satélites **CubeSats** (es un estándar de diseño de nanosatélites, cuya estructura es escalable en cubos de 10 cm de arista y masa inferior a 1,33 kg.) al separarse de la etapa superior del cohete para realizar investigaciones independientes:
- Satélite **Atenea**, de fabricación argentina: Investiga métodos de blindaje contra la radiación y optimización de órbitas.
- Satélite **K-RadCube**, fabricado por Corea del Sur: Utiliza un dosímetro de tejido humano simulado para medir la radiación biológica en los **Cinturones de Van Allen** (son dos regiones en forma de anillo que rodean la Tierra. Forman parte de la magnetosfera y atrapan partículas cargadas de alta energía (electrones y protones) provenientes del viento solar y los rayos cósmicos).
- Satélite miniatura **Tacheles**, fabricado en Alemania: Prueba componentes electrónicos para futuros vehículos de logística lunar.
- **Space Weather CubeSat-1** pequeño CubeSat científico de 12U desarrollado por la Agencia Espacial de Arabia Saudí: Recopila datos sobre el clima espacial, incluyendo rayos X solares y partículas de energía.

→ **Geología Lunar y Observación**

- Durante el sobrevuelo de la cara oculta de la Luna el 6 de abril de 2026, la tripulación ha realizado observaciones visuales y documentales de zonas accidentadas y cráteres que no son visibles desde la Tierra, proporcionando datos geológicos valiosos para elegir los sitios de aterrizaje de la misión Artemis II.

→ **Técnicas**

Una trayectoria de retorno libre es una ruta diseñada para que la nave, tras pasar por la Luna, regrese automáticamente a la Tierra usando solo la gravedad, sin necesidad de encender sus motores principales. Es, esencialmente, un "seguro de vida" orbital.

En las misiones Apolo sí se utilizó, pero con diferencias clave según la misión:

→ **El uso del Retorno Libre en el Programa Apolo**

- Misiones iniciales (Apolo 8, 10 y 11): Se lanzaron directamente en trayectorias de retorno libre por seguridad. Si el motor fallaba al llegar a la Luna, la nave simplemente "rebotaba" gravitacionalmente y volvía a casa.
- Misiones de aterrizaje avanzado (Apolo 12 a 17): Estas misiones abandonaban la trayectoria de retorno libre poco después de salir de la Tierra para poder alcanzar sitios de aterrizaje más específicos (fuera del ecuador lunar).
- El caso del Apolo 13: Cuando explotó el tanque de oxígeno, la nave no estaba en retorno libre. Los astronautas tuvieron que encender el motor del Módulo Lunar para corregir el rumbo y volver a esa trayectoria segura que les permitió rodear la Luna y regresar vivos.

→ **Diferencias con Artemis II**

La gran diferencia es que Artemis II ha permanecido en esta trayectoria durante todo el viaje alrededor de la Luna. A diferencia de las misiones Apolo que aterrizaron, Artemis II:

1. No frena para entrar en órbita lunar.
2. Aprovecha el impulso para alejarse hasta los 406 771 km (batiendo el récord de distancia) antes de que la gravedad terrestre la "tire" de vuelta.
3. Finaliza el viaje con un amerizaje directo en el Pacífico, tras un viaje total de 10 días.

En resumen, mientras que para el Apolo era una medida de emergencia o una fase inicial, para Artemis II es el diseño principal del vuelo para probar la nave de forma segura antes de intentar aterrizar en futuras misiones.

La NASA publicó el día 5 de abril de 2026 una fotografía de la **cara oculta de la Luna** captada por la tripulación de la misión Artemis II, cuando se encontraba a un día de llegar a su objetivo para convertirse en la primera misión tripulada en alcanzar la órbita del satélite natural en más de medio siglo.

En la imagen tomada, **se observa a la Luna al revés,** con su Polo Sur apuntando hacia arriba y una vista completa de la cuenca Oriental de la Luna, la cual nunca había sido vista en su totalidad por ojos humanos, según describió la agencia espacial.



La cuenca Oriental será un objeto de **estudio continuo para la tripulación**, compuesta por el comandante Reid Wiseman y los astronautas Victor Glover, Christina Koch y Jeremy Hansen, que llegarán el día 6 de abril a un punto estratégico de observación de la cara oculta de la Luna, tras recorrer la mayor distancia jamás recorrida desde la Tierra: **406.773 kilómetros**.

Aunque la misión Artemis II nos ha permitido ver la cara oculta con nuestros propios ojos por primera vez en 50 años, la humanidad ya tenía imágenes de esta región desde hace décadas gracias a la exploración robótica:

1. La primera vez (1959): La sonda soviética Luna 3 fue la primera en fotografiar la cara oculta el 7 de octubre de 1959. Aunque las fotos eran muy borrosas y granuladas, revelaron que ese

lado es muy distinto al que vemos: está lleno de cráteres y casi no tiene "mares" (las manchas oscuras de lava).

2. Misiones Apolo (1968-1972): Los 24 astronautas que viajaron a la Luna en las misiones Apolo también orbitaron la cara oculta y tomaron miles de fotografías de alta calidad en película fotográfica que trajeron de vuelta a la Tierra.
3. Satélites modernos: Sondas como el *Lunar Reconnaissance Orbiter* (LRO) de la NASA han cartografiado cada metro cuadrado de la cara oculta con un detalle impresionante desde 2009. Incluso China logró aterrizar un *rover* allí (la misión Chang"e 4) en 2019.

Entonces, ¿qué tiene de especial Artemis II?

Lo que ha cambiado ahora es la calidad y la perspectiva:

- Ojos humanos: Artemis II es la primera vez que humanos ven partes de la cara oculta que ni siquiera los astronautas del Apolo pudieron observar debido a que sus trayectorias eran más bajas y en ángulos distintos.
- Tecnología digital: Por primera vez, tenemos fotos y vídeos digitales de altísima resolución (incluyendo fotos tomadas con iPhones y cámaras Nikon de última generación) capturadas por personas en el momento.
- Transmisión rápida: Gracias al nuevo sistema de comunicación láser, estas imágenes se están compartiendo casi en tiempo real, algo imposible en la era Apolo.

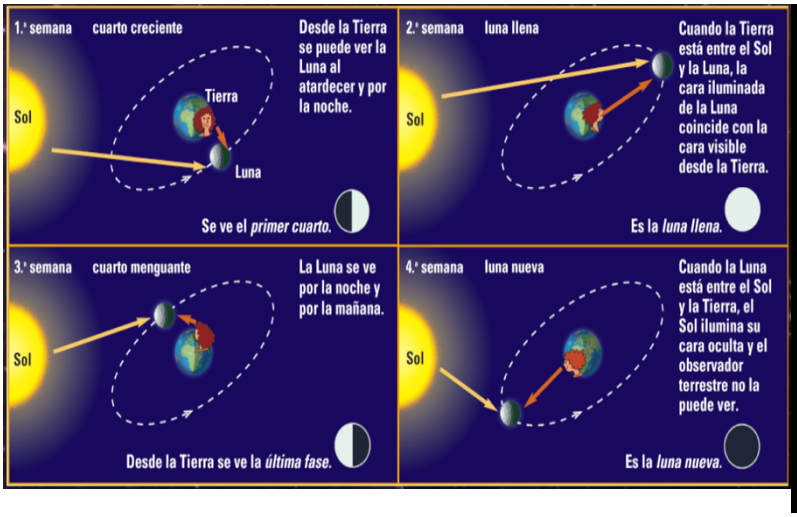
→ Más allá de todos estos detalles concretos, lo importante es entender que estas misiones sirven para validar sistemas de soporte vital, navegación y comunicaciones, y preparan el regreso humano sostenido al entorno lunar.

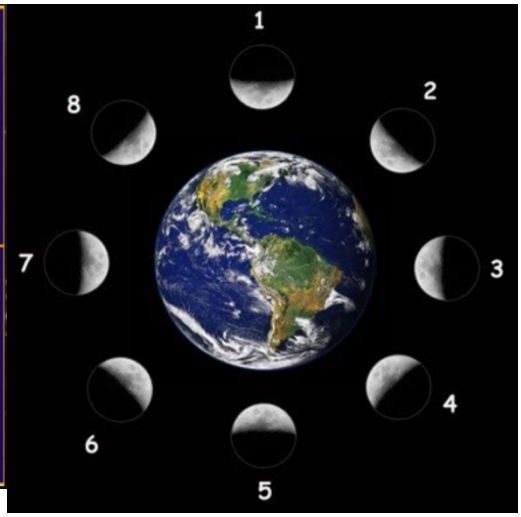
⇒ FASES LUNARES Y LA MISMA CARA DE SIEMPRE



Las fases de la Luna no significan que la Luna cambie de forma ni que vaya perdiendo o recuperando partes. Lo que cambia es la fracción iluminada que podemos ver desde la Tierra según la posición relativa entre Sol, Tierra y Luna. Siempre hay media Luna iluminada por el Sol, pero no siempre la vemos desde el mismo ángulo. Por eso unas veces apreciamos **luna nueva**, otras **cuarto creciente**, luna **llena** o **cuarto menguante**.

La pregunta de por qué vemos siempre la misma cara introduce una idea física muy bonita: la rotación síncrona. La Luna tarda prácticamente lo mismo en girar sobre sí misma que en completar una vuelta alrededor de la Tierra. Esa coincidencia hace que mantenga casi siempre el mismo hemisferio orientado hacia nosotros. No es casualidad ni inmovilidad, sino un equilibrio dinámico producido por la interacción gravitatoria a lo largo de muchísimo tiempo.





https://www.youtube.com/watch?v=wz01pTvuMa0

Web (Click)

⇒ ECLIPSES DE SOL, MAREAS Y EL JUEGO DE LAS SOMBRAS

Un eclipse solar ocurre cuando la Luna se sitúa entre la Tierra y el Sol y proyecta su sombra sobre una zona concreta de nuestro planeta.



No todos los eclipses solares son iguales: pueden ser totales, parciales o anulares. La diferencia depende de la alineación exacta y del tamaño aparente de la Luna en ese momento. Cuando el cono de sombra toca la superficie terrestre y la Luna tapa por completo el disco solar, el eclipse es total. Cuando no llega a cubrirlo entero, el resultado puede ser parcial o anular.

La explicación geométrica es una de las más importantes del tema. La Luna es unas 400 veces más pequeña que el Sol, pero también está unas 400 veces más cerca, y por eso ambos pueden verse con tamaños aparentes parecidos desde la Tierra. Esa coincidencia permite eclipses espectaculares. Conviene quedarse con la idea de que un eclipse no es un fenómeno misterioso, sino un problema de tamaños, distancias y conos de sombra perfectamente explicable con geometría.

Hay entre 2 y 5 eclipses solares al año, pero la probabilidad de que la banda de totalidad vuelva a pasar por el mismo sitio de la Tierra a lo largo de una vida humana es muy reducida.

⇒ PRÓXIMOS ECLIPSES VISIBLES DESDE ESPAÑA

12 de agosto de 2026 – Eclipse solar total

- **Tipo:** Total
- **Visibilidad:** La franja de totalidad atravesará el norte de España, incluyendo ciudades como A Coruña, Oviedo, León, Bilbao, Zaragoza, Valencia y Palma. En estas zonas, el eclipse será total, mientras que en el resto del país se observará como parcial.
- **Hora máxima:** Alrededor de las 20:30 (hora peninsular), coincidiendo con el atardecer .

2 de agosto de 2027 – Eclipse solar total

- **Tipo:** Total
- **Visibilidad:** Será visible como total en el sur de España, incluyendo provincias como Cádiz, Málaga, Granada y Almería, así como en Ceuta y Melilla. En el resto del país, se observará como parcial.
- **Hora máxima:** En torno a las 10:50 (hora peninsular) .

26 de enero de 2028 – Eclipse solar anular

- **Tipo:** Anular
- **Visibilidad:** La franja de anularidad cruzará el sur y este de España, incluyendo ciudades como Sevilla, Córdoba, Albacete y Valencia. En estas zonas, se podrá observar el característico "anillo de fuego". En el resto del país, el eclipse será parcial.
- **Hora máxima:** A última hora de la tarde, cerca de la puesta de sol .

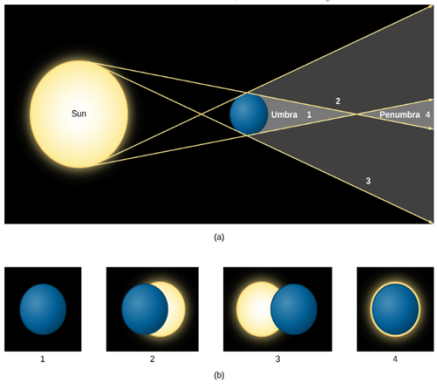
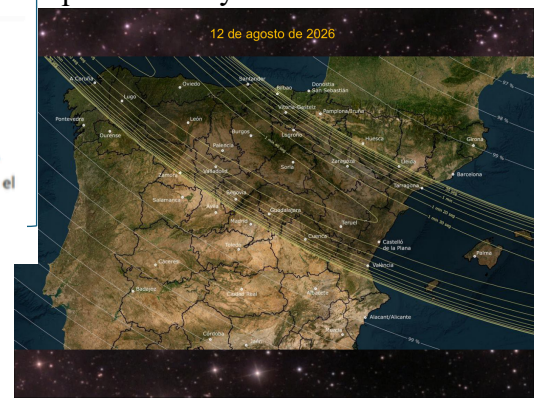


Figura Eclipse4.7.1 Solar. (a) Se muestra la sombra proyectada por un cuerpo esférico (la Luna, por ejemplo). Observe la umbra oscura y la penumbra más clara. Cuatro puntos en la sombra están etiquetados con números. En (b) se ve cómo se verían el Sol y la Luna en el cielo en los cuatro puntos etiquetados. En la posición 1, se ve un eclipse total. En las posiciones 2 y 3, el eclipse es parcial. En la posición 4, la Luna está más lejos y por lo tanto no puede cubrir completamente al Sol; un anillo de luz así se muestra alrededor del Sol, creando lo que se llama un eclipse "anular".

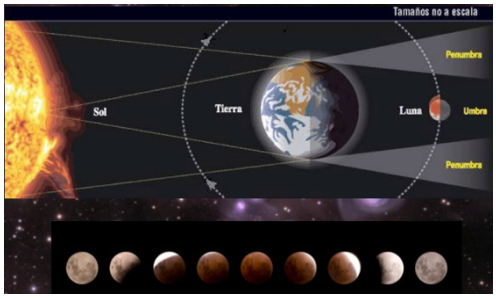
Este tema abandona la teoría y pasa a las observaciones concretas, señalando fechas de especial interés para España. En el documento se destacan el 12 de agosto de 2026 y el 2 de agosto de 2027 como fechas muy relevantes para la observación de eclipses solares desde nuestro país. Este tipo de referencia ayuda mucho porque conecta la Astronomía con experiencias reales que pueden planificarse y vivirse directamente.

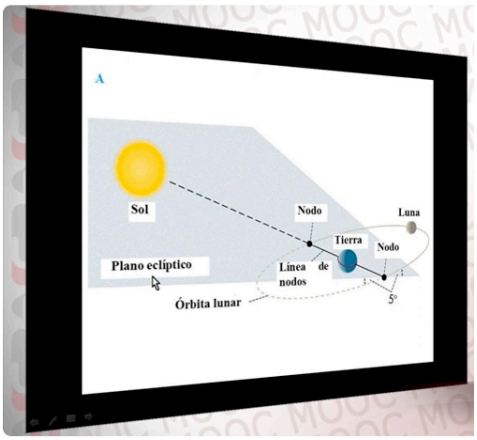


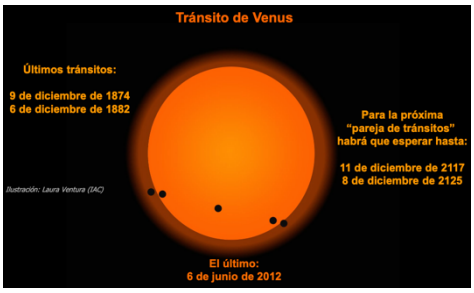
También se menciona un eclipse solar visto desde Artemis II el 7 de abril de 2026, lo que refuerza una idea preciosa: un mismo fenómeno astronómico puede contemplarse desde lugares completamente distintos y ofrecer perspectivas muy diferentes. En todos los casos, sin embargo, la base física es la misma. Lo que cambia es el punto de observación y la posición relativa desde la que se contempla la alineación.

⇒ ECLIPSES DE LUNA Y TRÁNSITO DE VENUS

El eclipse lunar sucede cuando la Tierra se coloca entre el Sol y la Luna, de modo que la sombra terrestre cae sobre la Luna. A diferencia del eclipse solar, este fenómeno puede verse desde una región mucho más amplia del planeta porque la Tierra proyecta una sombra enorme. Es importante saber que no hay eclipses lunares todos los meses, a pesar de que todos los meses hay luna llena, porque la órbita lunar está inclinada respecto al plano de la órbita terrestre alrededor del Sol.







En este mismo contexto se introduce el tránsito de Venus, que no es un eclipse, pero sí otro ejemplo de alineación interesante. En un tránsito, Venus pasa por delante del disco solar visto desde la Tierra y aparece como un pequeño punto oscuro. Estos fenómenos muestran que la Astronomía observa una gran variedad de alineaciones y que todas se comprenden mejor cuando uno piensa en planos orbitales, inclinaciones y posiciones relativas en el espacio.

https://www.youtube.com/watch?v=i2dWachKbd8 Web (Click)

⇒ ECLIPSES EN OTROS MUNDOS

Una de las partes más sugerentes del tema es comprobar que los eclipses no son una rareza terrestre. También aparecen en Marte, en Júpiter o en Saturno, con satélites y tamaños aparentes distintos. Ver a Fobos o Deimos pasar delante del Sol en el cielo marciano, o contemplar sombras de lunas proyectadas sobre los gigantes gaseosos, ensancha mucho la imaginación astronómica.

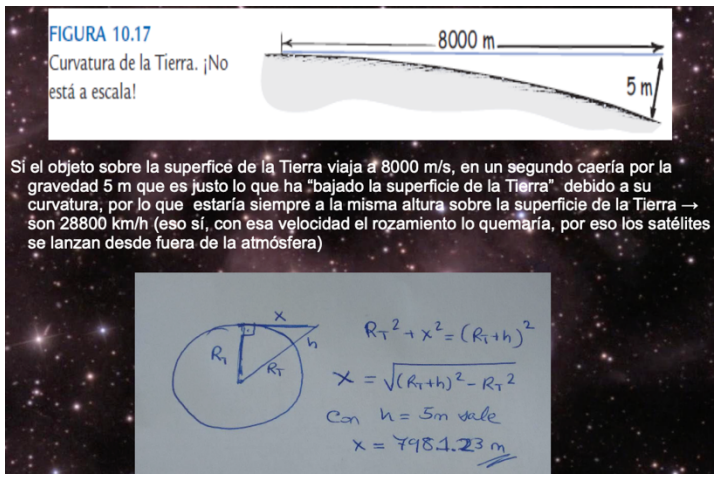

La sombra de Io en Júpiter

La enseñanza de fondo es que las leyes geométricas son universales. Siempre que haya una fuente de luz, un cuerpo que se interponga y una superficie o un observador adecuados, puede haber un eclipse o un tránsito. Cambian las escalas, cambian los actores y cambian los resultados visuales, pero la lógica física es la misma.

Este tipo de comparación ayuda mucho a dejar de pensar en la Tierra como centro único de los fenómenos celestes.

⇒ MAREAS Y POR QUÉ LA LUNA NO CAE

Las mareas se explican por la atracción gravitatoria de la Luna y, en menor medida, del Sol sobre la Tierra. Como esa atracción no es idéntica en todos los puntos del planeta, los océanos se deforman y aparecen dos abultamientos principales del agua, lo que da lugar a dos pleamares y dos bajamares al día. Es una buena muestra de cómo una fuerza celeste puede tener un efecto cotidiano, visible y medible en la Tierra.

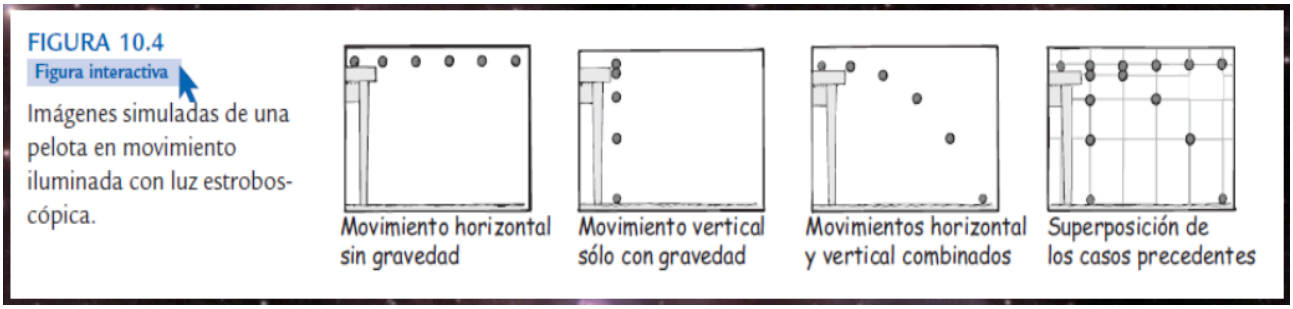


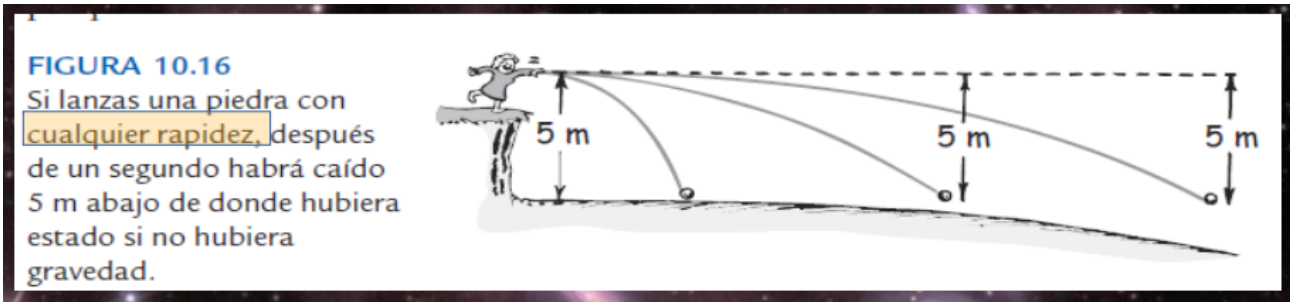
La segunda gran pregunta de este tramo es por qué la Luna no cae sobre la Tierra, ya que, según la ley de la Gravitación Universal, una piedra que se ha lanzado horizontalmente desde cierta altura sobre el

suelo es atraída por la Tierra, y cae al suelo. De la misma manera le ocurre a la Luna. Entonces, ¿Por qué no le ocurre lo mismo que a la piedra?

La respuesta es que en realidad sí está cayendo continuamente, pero al mismo tiempo avanza con suficiente velocidad como para ir "fallando" el suelo terrestre. Esa combinación de caída gravitatoria y avance lateral genera la órbita. Es la misma idea que explica el movimiento de satélites artificiales y constituye una de las intuiciones más importantes de toda la mecánica orbital.

→ Con estas dos imágenes lo entendemos mejor:





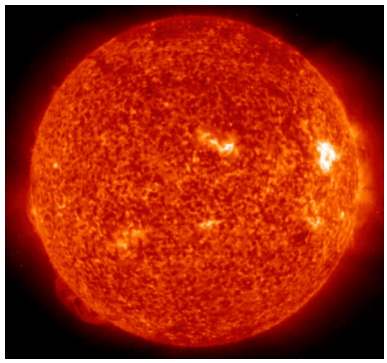
→ https://www.youtube.com/watch?v=tIBK5__o6UQ

→ https://www.youtube.com/watch?v=rRFmrKmqiz0&list=PLza0Shqw0Oz3AgPpyFVix96l7IMS9cKHA&index=31

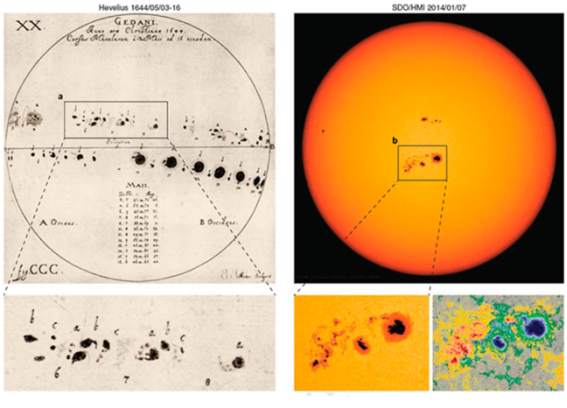
Web (Click)

⇒ EL SOL - MANCHAS SOLARES Y CICLO DE ACTIVIDAD

El Sol no es solamente una fuente de luz y calor, sino como una estrella activa y cambiante. Las manchas solares son regiones de la fotosfera que se encuentran más frías que su entorno y están asociadas a campos magnéticos muy intensos. Aunque a simple vista el Sol pueda parecer un disco uniforme, en realidad su superficie refleja una actividad compleja que cambia con el tiempo.

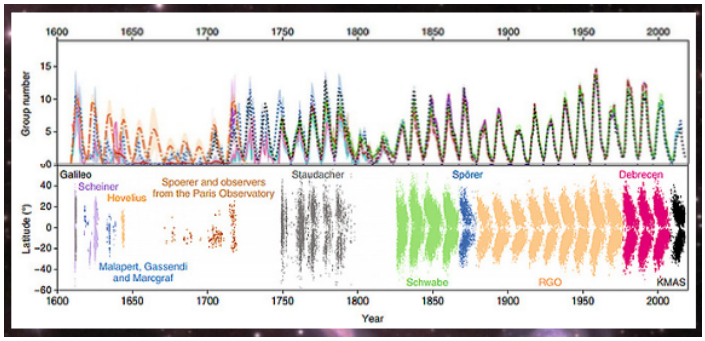


Galileo Galilei comenzó a observar **manchas solares** con su telescopio en el año 1610 y las documentó sistemáticamente desde 1612. Al observar su movimiento, demostró que **el Sol no era estable y que rotaba sobre su propio eje**. Además, argumentó que eran parte de la superficie solar y no planetas. El estudio de su ciclo que hizo Galileo y otros astrónomos después, sentó las bases de la física solar moderna.



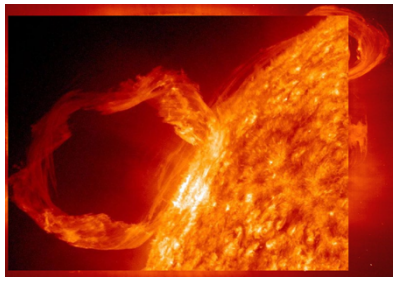
Observaciones históricas (izquierda) y actuales (derecha) de grupos de manchas solares. / Biblioteca del Real Instituto y Observatorio de la Armada-Solar Dynamics Observatory (NASA)

Esta actividad solar sigue un ciclo aproximado de once años. Los estudios han determinado que en el año 2025 se ha producido un máximo de actividad solar, es decir, ha sido una fase de mayor número de manchas. Conviene comprender que este ciclo no es una curiosidad menor: se relaciona con fulguraciones, eyecciones de masa coronal y fenómenos que pueden influir en satélites, comunicaciones y auroras.

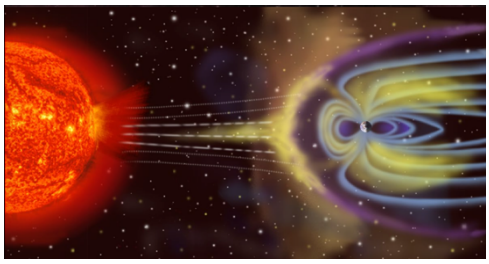


El Sol, por tanto, es una estrella cercana, pero no una estrella tranquila en todo momento.

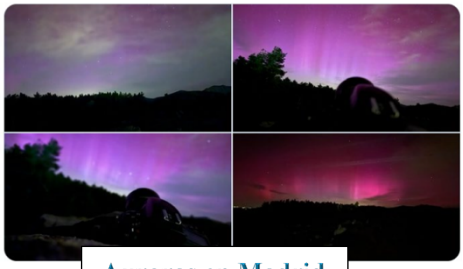
⇒ **FULGURACIONES Y AURORAS**



Las fulguraciones solares son liberaciones bruscas de energía en la atmósfera del Sol y forman parte de su comportamiento magnético. Cuando esas emisiones lanzan partículas cargadas hacia el espacio y una parte de ellas interactúa con el entorno terrestre, **pueden desencadenarse auroras**. Es decir, las auroras no son simples "luces del cielo", sino la huella visible de un diálogo energético entre el Sol y el campo magnético de la Tierra.



Las partículas solares quedan guiadas hacia las zonas polares por las líneas del campo magnético terrestre y allí excitan átomos de la atmósfera, que luego emiten luz. Por eso las auroras suelen verse mejor cerca de los polos, aunque en episodios intensos pueden observarse en latitudes más bajas. Este bloque resulta especialmente hermoso porque une física, astronomía y paisaje visible: algo tan espectacular como una aurora tiene una explicación rigurosa y elegante.



Auroras en Madrid

https://www.youtube.com/watch?v=bwPlWI6RugU

Web (Click)

https://www.youtube.com/watch?v=ONaPq2L-MRg&list=PLza0Shqw0Oz3AgPpyFVix96l7IMS9cKHA&index=15

⇒ **EL SISTEMA SOLAR Y LAS COSTELACIONES**

- **Formación del Sistema Solar**

La teoría más aceptada actualmente es la **teoría nebular**, propuesta inicialmente por **Immanuel Kant (1755)** y **Pierre-Simon Laplace (1796)** y perfeccionada con los conocimientos modernos de astronomía.

1. Una gran nube de gas y polvo

Hace aproximadamente **4.600 millones de años**, existía en una zona de la galaxia una enorme nube de gas y polvo interestelar llamada **nebulosa solar**.

Estaba formada principalmente por Hidrógeno (≈74%, Helio (≈24%) y pequeñas cantidades de otros elementos más pesados (oxígeno, carbono, hierro, silicio, etc.)

Estos elementos pesados procedían de generaciones anteriores de estrellas que habían explotado como supernovas.

2. El colapso gravitatorio

Por alguna causa, posiblemente la explosión cercana de una supernova, la nebulosa comenzó a contraerse bajo la acción de su propia gravedad.

Al comprimirse:

- Aumentó su velocidad de rotación.
- Aumentó la temperatura de la región central.
- La nube empezó a aplanarse.

Es el mismo fenómeno que ocurre cuando un patinador recoge los brazos y gira cada vez más rápido.

3. Formación del disco protoplanetario

La nube adquirió forma de disco y en el centro se acumuló la mayor parte de la materia.

Ese disco se denomina **disco protoplanetario**.

→ **En el centro** se concentró aproximadamente el **99,8 % de toda la masa** del futuro Sistema Solar.

→ **En el disco exterior** quedó el material que posteriormente formaría:

- Planetas
- Satélites
- Asteroides
- Cometas
- Meteoritos

4. Nacimiento del Sol

La presión y la temperatura del núcleo aumentaron enormemente.

Cuando la temperatura alcanzó unos **15 millones de grados**, comenzaron las reacciones de fusión nuclear.

El hidrógeno empezó a transformarse en helio liberando enormes cantidades de energía.

En ese momento nació el Sol como estrella.

5. Formación de los planetas

Mientras el Sol se formaba, las partículas de polvo del disco chocaban unas con otras.

Primero aparecieron:

- Granos microscópicos
- Guijarros
- Rocas
- Planetesimales (cuerpos de varios kilómetros)

Los planetesimales siguieron creciendo por acreción gravitatoria.

6. ¿Por qué hay planetas rocosos y gigantes gaseosos?

La temperatura del disco no era uniforme.

→ **Zona interior (más caliente)**

Cerca del Sol sólo podían condensarse materiales resistentes al calor:

- Hierro
- Níquel
- Silicatos

Por eso se formaron los planetas terrestres:

- Mercurio
- Venus
- Tierra
- Marte

→ **Zona exterior (más fría)**

Allí podían congelarse:

- Agua
- Metano
- Amoniaco

Se formaron núcleos mucho mayores que capturaron enormes cantidades de hidrógeno y helio. Así surgieron los gigantes:

- Júpiter
- Saturno
- Urano
- Neptuno

7. Limpieza del Sistema Solar

Cuando el Sol comenzó a emitir radiación intensa y viento solar gran parte del gas y polvo sobrante fue expulsado.

Los restos que no llegaron a formar planetas quedaron como:

- Cinturón de asteroides
- Cometas
- Objetos transneptunianos

8. Formación de la Tierra

La Tierra se formó hace unos **4.540 millones de años** mediante la unión de numerosos planetesimales.

Durante sus primeros cientos de millones de años:

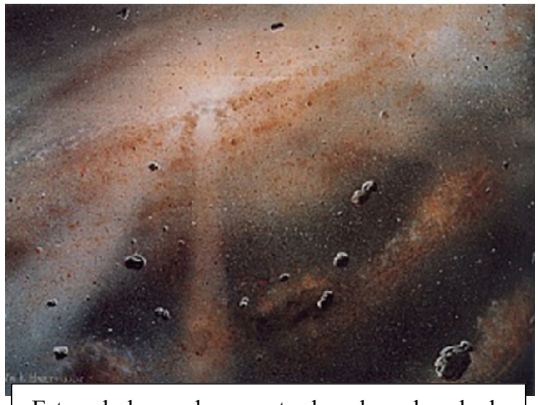
- Estaba fundida.
- Los materiales pesados descendieron al centro formando el núcleo.
- Los materiales ligeros formaron el manto y la corteza.

Posteriormente aparecieron:

- La atmósfera primitiva.
- Los océanos.
- Las condiciones para la aparición de la vida.

Resumen cronológico

ETAPA	QUÉ OCURRE
1	Nebulosa de gas y polvo
2	Colapso gravitatorio
3	Formación del disco protoplanetario
4	Nacimiento del Sol
5	Formación de planetesimales
6	Formación de planetas
7	Limpieza del disco por el viento solar
8	Sistema Solar prácticamente configurado



Esta nebulosa solar muestra la nube aplanada de gas y polvo a partir de la cual se formó nuestro sistema planetario. Planetesimales helados y rocosos (precursores de los planetas) se pueden ver en primer plano. El centro luminoso es donde se forma el Sol.

→ La edad que actualmente es aceptada para el Sistema Solar es de aproximadamente **4.600 millones de años**, y está determinada principalmente mediante la **datación radiométrica** de los meteoritos más antiguos conocidos.

Pero, ¿qué es la datación radiométrica?

La **datación radiométrica** (o radioactiva) es una técnica utilizada para determinar la edad absoluta de rocas, minerales y restos orgánicos. Se basa en medir la cantidad de isótopos radiactivos inestables (isótopos "padre") que quedan en una muestra y compararla con la cantidad de isótopos en los que se han transformado (isótopos "hijo").

→ **¿Cómo funciona?**

El proceso se sostiene en un principio fundamental de la física y la geología:

- **Desintegración constante:** Los isótopos inestables se descomponen a un ritmo constante y conocido, liberando energía.
- **Periodo de semidesintegración (vida media):** Es el tiempo necesario para que la mitad de una cantidad de isótopos radiactivos se desintegre. Esta tasa es fija y única para cada elemento químico.
- **El cálculo de la edad:** Mediante un espectrómetro de masas, los científicos miden la proporción entre el isótopo "padre" y el "hijo". Conociendo la vida media del isótopo original, pueden calcular cuánto tiempo ha pasado desde que el material se formó o el organismo murió.

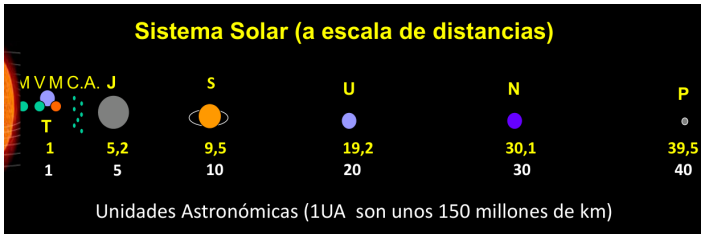
→ **Técnicas más comunes**

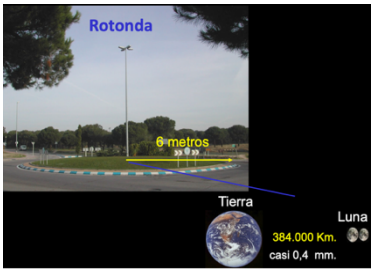
El método que se utiliza depende del tipo de material a estudiar y de la antigüedad estimada:

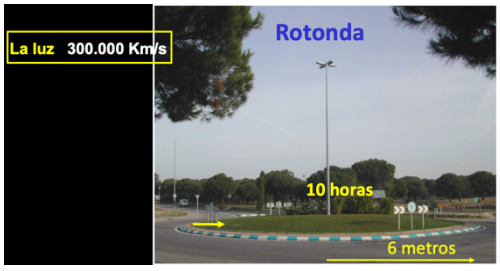
- **Carbono-14 (^{14}C):** Se usa para materiales de origen orgánico (huesos, madera, carbón, tejidos). Tiene una vida media de unos 5.730 años y es útil para datar restos recientes, de hasta **50.000 a 60.000 años**.
- **Potasio-Argón (K-Ar):** Excelente para datar rocas y minerales antiguos. El potasio radiactivo se desintegra en argón. Es ideal para materiales desde unos **100.000 años hasta miles de millones de años** de antigüedad.
- **Uranio-Plomo (U-Pb):** Es el método más preciso y antiguo, utilizado para datar rocas ígneas y los minerales más viejos de la Tierra, cubriendo edades desde **millones hasta más de 4.000 millones de años**.

⇒ ESCALAS DE DISTANCIA EN EL SISTEMA SOLAR

Uno de los mensajes más insistentes de las clases es que el Sistema Solar está formado por cuerpos pequeños separados por distancias enormes. Los esquemas a escala de distancias, las unidades astronómicas y las maquetas lineales sirven para corregir una idea muy extendida: solemos imaginar los planetas demasiado juntos y demasiado grandes. En realidad, incluso dentro del Sistema Solar domina el vacío.



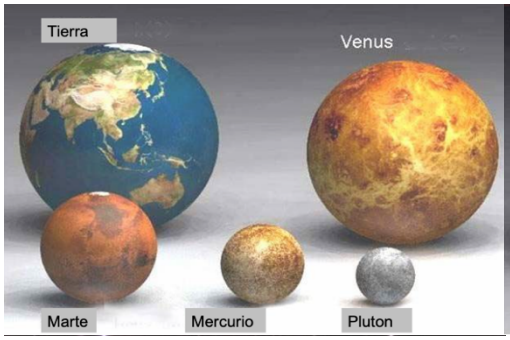


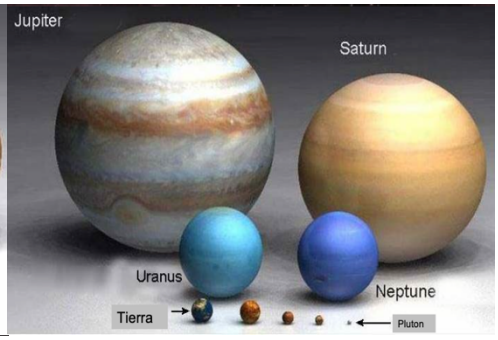


La unidad astronómica, unos 150 millones de kilómetros, permite comparar distancias de manera más cómoda. También es muy útil relacionar esas escalas con el tiempo que tarda la luz en recorrerlas, porque así el espacio deja de ser una cifra abstracta y se convierte en algo más imaginable.

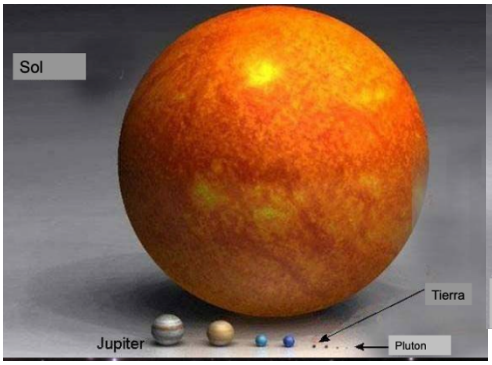
→ Vamos ahora a aprender "pensar astronómicamente", que en buena medida significa respetar proporciones que nuestra intuición cotidiana no maneja bien.

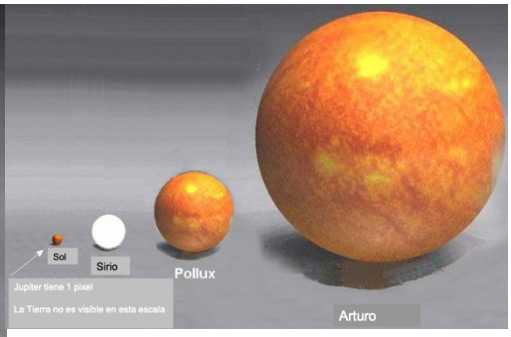
⇒ ESCALAS DE TAMAÑO DEL SOL, LOS PLANETAS Y LAS ESTRELLAS

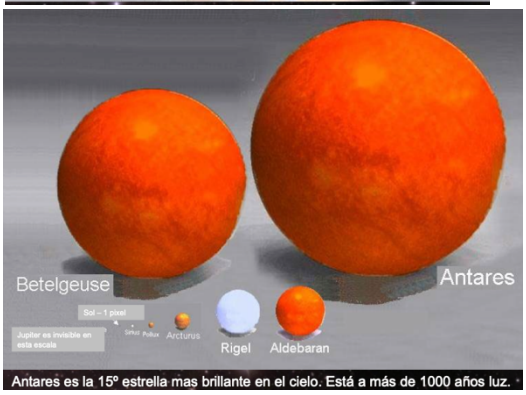




No basta con entender las distancias: también hay que comprender los tamaños. Este bloque compara la Tierra con Plutón, con Júpiter y con el Sol, y luego da otro salto al comparar







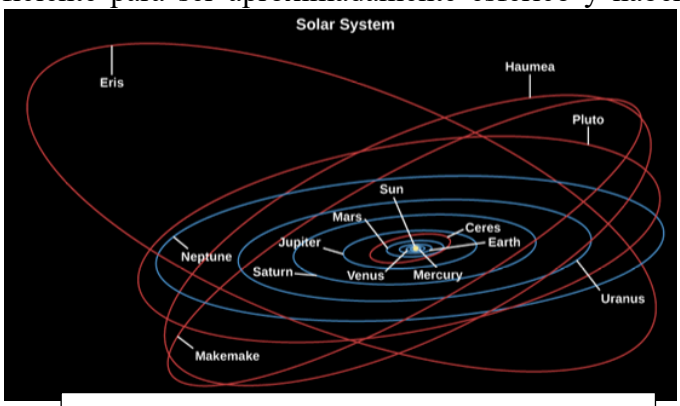
el Sol con estrellas mucho mayores, como Antares. El resultado es muy útil para colocar a nuestro planeta en su verdadera proporción: ni siquiera la Tierra, que a escala humana nos parece inmensa, es un objeto grande en el contexto estelar.

Estos ejercicios de escala revelan además algo esencial: las distancias y los tamaños no deben confundirse. Un dibujo puede hacer que cuerpos muy pequeños parezcan enormes si no respeta las proporciones. Por eso la Astronomía necesita tantas veces cambiar de representación. Cuando por fin se respetan las escalas, uno entiende mejor por qué el Sistema Solar, y mucho más aún la galaxia, son escenarios de dimensiones difíciles de abarcar mentalmente.

https://www.youtube.com/watch?v=zR3Igc3Rhfg Web (Click)

⇒ PLUTÓN Y LAS CONDICIONES DE HABITABILIDAD DE LA TIERRA

La redefinición de Plutón como planeta enano se entiende aquí de forma muy clara. Un planeta debe orbitar alrededor del Sol, tener masa suficiente para ser aproximadamente esférico y haber limpiado gravitatoriamente su vecindad orbital. Plutón cumple las dos primeras condiciones, pero no la tercera. El interés de esta diapositiva no es solo clasificatorio: enseña que en ciencia las definiciones se afinan cuando mejora el conocimiento.



Aquí se muestra como los ocho planetas principales orbitan el Sol aproximadamente en el mismo plano. También se muestran los cinco planetas enanos conocidos: **Eris, Haumea, Plutón, Ceres y Makemake**. Obsérvese que la órbita de Plutón no está en el plano de los planetas.

A continuación, el tema pasa a una cuestión aún más profunda: por qué la Tierra ha resultado habitable. No depende de una única causa, sino de un equilibrio muy fino entre distancia al Sol, baja excentricidad orbital, masa suficiente para retener atmósfera, calor interno, tectónica, presencia de agua líquida, papel protector de gigantes como Júpiter y Saturno, y también del tiempo cósmico necesario para que las estrellas fabricaran elementos pesados.

La conclusión es poderosa: la Tierra no es un milagro aislado, pero sí el resultado de una combinación muy delicada de factores.

⇒ VIDA Y ASTROBIOLOGÍA

El tema se abre aquí a una de las preguntas más difíciles de toda la ciencia: **qué entendemos exactamente por vida**. La referencia a **LUCA**, el último antepasado común universal, no pretende decir que fuese el primer ser vivo, sino señalar el punto del que desciende toda la vida terrestre conocida. Esa idea ayuda a pensar la biología como una gran historia compartida, no como una colección de seres inconexos.

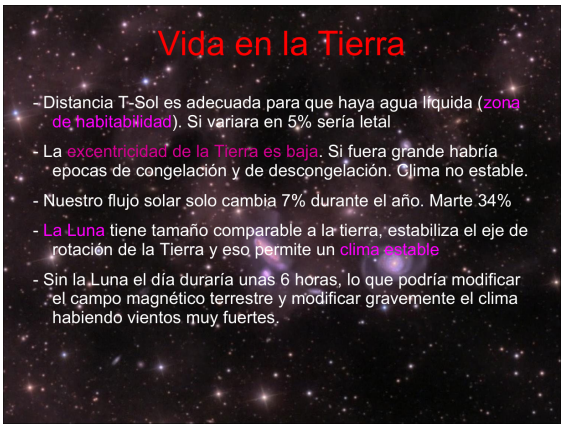
→ Antes vamos a ver por qué en el planeta Tierra ha sido posible que exista vida.

⇒ POR QUÉ LA TIERRA HA SIDO UN MUNDO APTO PARA LA VIDA

Comenzamos con una idea fundamental: la vida en la Tierra no depende de una sola circunstancia afortunada, sino de una combinación muy delicada de factores astronómicos, geológicos y químicos. **La distancia entre la Tierra y el Sol** es adecuada para que pueda existir agua líquida de forma estable, algo decisivo porque el agua actúa como medio para gran parte de los procesos biológicos. Eso es tan necesario que un cambio relativamente pequeño en esa distancia o en la excentricidad de la órbita terrestre podría haber hecho el planeta mucho más hostil.

Pero existen muchas otras cosas:

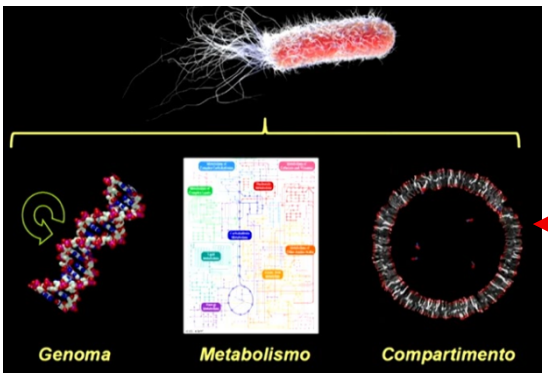
- Nuestro flujo solar solo cambia 7% durante el año.
- La Luna tiene tamaño comparable a la tierra, estabiliza el eje de rotación de la Tierra y eso permite un clima estable.
- Sin la Luna el día duraría unas 6 horas, lo que podría modificar el campo magnético terrestre y modificar gravemente el clima habiendo vientos muy fuertes.



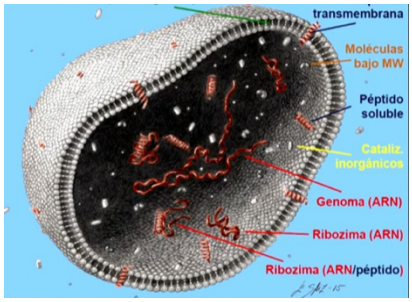
- También se subraya la importancia del **interior terrestre**. El calor interno, alimentado en buena medida por desintegraciones radiactivas, impulsa corrientes de convección responsables de la tectónica de placas. Ese dinamismo geológico ayuda a reciclar materiales, regular el dióxido de carbono y sostener un planeta activo durante tiempos muy largos.
- La actividad de la Tierra es fundamental para que se mantenga el porcentaje de CO_2 atmosférico, el cual si no disminuiría porque es fijado por interacciones con las rocas calizas y otras. Al disminuir, como es el gas que más retiene el calor del Sol, no se mantendría la temperatura de la tierra en el rango en el que hace posible el agua líquida.
- Campo magnético terrestre nos protege viento solar.
- A todo esto se suma **la masa de la Tierra**, suficiente para conservar una atmósfera estable, y el **papel protector de gigantes** como Júpiter y Saturno, que desvían o capturan gran parte de los cuerpos menores que podrían convertir el entorno terrestre en un lugar mucho más peligroso.
- Además, hay que añadir una reflexión cósmica muy importante: la vida compleja no habría podido surgir en un universo demasiado joven. Antes hacía falta que generaciones anteriores de estrellas fabricaran elementos pesados, indispensables para rocas, atmósferas, océanos y química orgánica compleja. La conclusión de este primer tramo es muy valiosa: la Tierra es habitable porque encaja dentro de un equilibrio muy fino entre física estelar, dinámica planetaria, geología interna y evolución química del universo.

⇒ QUÉ ES LA VIDA

Después de explicar por qué la Tierra ha sido un escenario favorable, el tema se enfrenta a una pregunta todavía más difícil: **qué entendemos exactamente por vida**. Esta es una cuestión complicada porque la vida no se reduce a una sola propiedad. Normalmente pensamos en varias a la vez: organización, capacidad de intercambiar materia y energía con el entorno, reproducción, información hereditaria y posibilidad de evolución. Por eso aquí se nos habla de "tres elementos" del ser vivo, pero no debe tomarse como una lista cerrada, sino como una forma de ordenar rasgos básicos que nos ayuden a distinguir lo vivo de lo inerte.



Enseguida aparece LUCA, el último antepasado común universal. Es importante no malinterpretar esta idea. LUCA no significa necesariamente "el primer ser vivo", sino el último organismo del que desciende toda la vida terrestre actual. Eso quiere decir que bacterias, plantas, hongos, animales y



nosotros compartimos, muy en el fondo, una raíz biológica común. Esta noción tiene un valor enorme porque permite contemplar la biosfera como una gran historia compartida.

Este tramo es esencial para el conjunto del tema porque prepara el salto desde la astronomía de planetas y ambientes habitables hacia la biología profunda. Antes de preguntar si puede haber vida en otros lugares, conviene aclarar qué rasgos mínimos tendría que cumplir algo para que nos pareciera realmente vivo.

⇒ ORIGEN QUÍMICO DE LA VIDA Y LA EVOLUCIÓN PREBIÓTICA

El núcleo del tema entra aquí en una de las grandes hipótesis científicas sobre el origen de la vida: la idea de que, antes de existir células, hubo una larga etapa de evolución química.

Los genetistas y biólogos, **Oparin** y **Haldane** propusieron en la década de los 30 que la Tierra primitiva pudo funcionar como un laboratorio natural en el que compuestos simples, sometidos a fuentes de energía adecuadas, fueron generando moléculas orgánicas cada vez más complejas. La llamada "sopa primigenia" no debe imaginarse como un caldo literal, sino como un ambiente químicamente activo donde ciertos procesos pudieron acumular materiales precursores de la vida.

Más tarde, y en base a ello, vino la hipótesis de **Stanley Miller** y **Harold Urey,** quienes propusieron que, antes de existir células, hubo una evolución química en la Tierra primitiva capaz de generar moléculas orgánicas complejas.

El **experimento de Miller y Urey** (en 1953) fue un hito histórico en la biología que demostró experimentalmente la abiogénesis. En la Universidad de Chicago, estos científicos simularon las condiciones de la Tierra primitiva para comprobar cómo las moléculas orgánicas pudieron formarse de manera espontánea a partir de materia inorgánica.

→ **¿En qué consistió el experimento?**

Diseñaron un aparato de vidrio cerrado que recreaba el ciclo del agua y el ambiente de la Tierra joven:

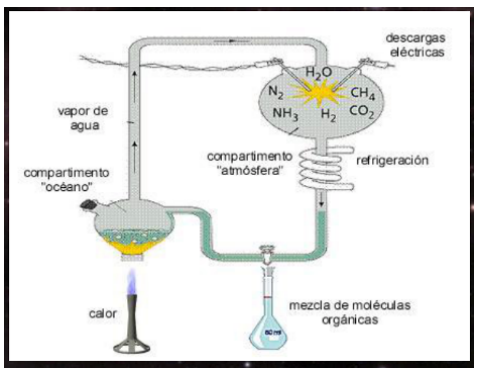
- **El océano primitivo:** Un **matraz** (recipiente de cristal o plástico de laboratorio) contenía agua hirviendo para simular los mares antiguos y promover la evaporación.
- **La atmósfera primitiva:** El vapor de agua se mezclaba con gases como metano, amoníaco e hidrógeno.
- **Simulación de tormentas:** A través de electrodos, aplicaron descargas eléctricas continuas para simular la energía de los relámpagos y el calor volcánico.
- **El ciclo de lluvia:** Un condensador enfriaba la "atmósfera", permitiendo que el vapor se condensara y volviera al "océano" en forma de lluvia.

→ **Resultados e importancia**

Tras una semana de funcionamiento, el agua del sistema se volvió de un color marrón oscuro. Al analizarla, descubrieron la formación espontánea de **aminoácidos** (los componentes básicos de las proteínas) y otros compuestos orgánicos esenciales para la vida.

Este estudio demostró que las bases químicas de la vida podían surgir de forma natural bajo condiciones ambientales extremas. Esto dio un respaldo fundamental a la **teoría del caldo primario** propuesta años antes por **Aleksandr Oparin** y **J.B.S. Haldane.**

https://www.youtube.com/watch?v=v0qtp-puSl8 Web (Click)



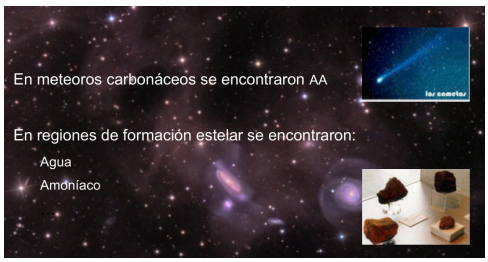
Estos experimentos de Miller y Urey reforzaron esa posibilidad al mostrar que, bajo determinadas condiciones, pueden formarse aminoácidos. La panspermia aparece como hipótesis complementaria para el transporte de compuestos o incluso de microorganismos resistentes, y el tardígrado se menciona como ejemplo de resistencia extrema. Lo esencial es entender que la vida puede estudiarse también desde la Física y la Química, no solo desde la Biología.

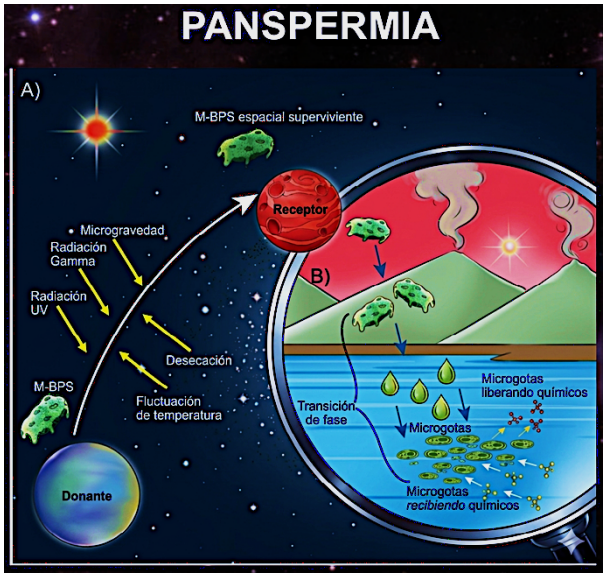
El experimento de Miller y Urey, realizado en 1953, fue tan importante porque mostró que una mezcla de gases sometida a descargas eléctricas podía producir aminoácidos, es decir, componentes fundamentales de las proteínas. No fabricó vida, pero sí demostró que la naturaleza puede generar espontáneamente ladrillos químicos esenciales en condiciones plausibles para la Tierra primitiva. Más tarde otros trabajos ampliaron ese tipo de resultados y reforzaron la idea de que la frontera entre química y biología pudo cruzarse de forma gradual.

Las diapositivas que remiten a la charla de Carlos Briones encajan muy bien como apoyo divulgativo, porque este es un tema donde conviene distinguir con cuidado lo que sabemos, lo que es hipótesis razonable y lo que sigue abierto. La lección principal es que el origen de la vida no se plantea hoy como un hecho milagroso aislado, sino como un proceso natural extremadamente complejo en el que la física, la química y el tiempo profundo desempeñan un papel decisivo.

⇒ MATERIA ORGÁNICA EN EL ESPACIO Y LA HIPÓTESIS DE LA PANSPERMIA

La **panspermia** es una hipótesis sugerente porque desplaza parte del problema del origen de la vida fuera de la Tierra. No afirma necesariamente que la vida surgiera ya formada en otro lugar y luego llegara aquí, sino que algunos ingredientes orgánicos o incluso microorganismos muy resistentes podrían haber viajado en meteoritos, cometas o polvo interestelar. El hallazgo de aminoácidos en meteoritos carbonáceos y de moléculas simples en regiones de formación estelar muestra que la química orgánica no es una rareza terrestre.



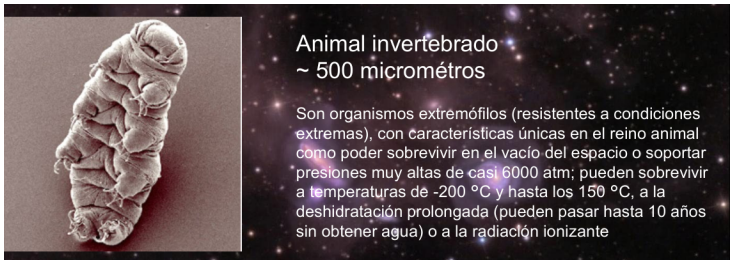


Ahora bien, conviene entender bien el alcance de esta idea. La panspermia no resuelve por sí sola la pregunta última de cómo nació la vida; en cierto modo la desplaza. Si la vida o sus precursores llegaron desde fuera, sigue siendo necesario explicar cómo se originaron antes en otro lugar. Aun así, la hipótesis es científicamente interesante porque conecta astrobiología, química interestelar y dinámica del Sistema Solar, y porque recuerda que la Tierra no ha estado completamente aislada del resto del cosmos.

Este apartado es útil sobre todo para ensanchar la imaginación científica. Nos obliga a pensar que la materia necesaria para la vida puede circular a escalas astronómicas y que el espacio no es solo vacío, sino también un medio donde se forman y transportan componentes relevantes para la química biológica.

⇒ EL TARDÍGRADO COMO EJEMPLO DE RESISTENCIA EXTREMA

El **tardígrado** aparece aquí como un magnífico ejemplo de hasta dónde puede llegar la resistencia de la vida. Se trata de un animal diminuto, de apenas unas fracciones de milímetro, capaz de soportar condiciones extremas de sequedad, radiación, frío o falta temporal de agua entrando en estados de actividad muy reducida. No significa que pueda vivir cómodamente en cualquier parte, pero sí que algunos organismos poseen estrategias sorprendentes para sobrevivir a situaciones que para otros seres vivos serían letales.



Su presencia en el tema tiene mucho sentido. Si la vida terrestre ya es capaz de mostrar adaptaciones tan extraordinarias, entonces la búsqueda de vida fuera de la Tierra no debe limitarse a imaginar ambientes exactamente iguales a los nuestros. Organismos resistentes, estados de latencia y

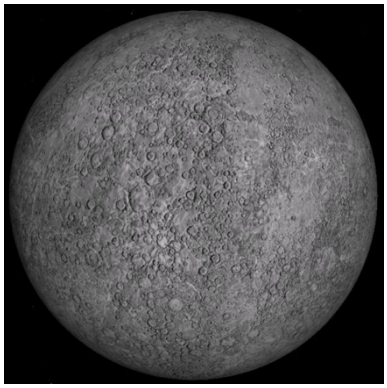
supervivencia en condiciones severas amplían el abanico de escenarios donde podría persistir algo biológico.

La idea final que deja esta diapositiva es muy poderosa: cuanto mejor conocemos los límites reales de la vida en la Tierra, más afinamos nuestra imaginación sobre dónde y cómo podría existir vida en otros lugares del universo. El tardígrado no demuestra vida extraterrestre, pero sí nos enseña a pensar con menos rigidez sobre los márgenes de lo posible.

⇒ PANORAMA DE LOS PLANETAS Y EL CASO DE MERCURIO

La tabla comparativa de planetas ordena el Sistema Solar y permite verlo como una familia diversa, con mundos rocosos, gigantes gaseosos y diferentes tamaños, masas y condiciones físicas. Esa visión conjunta es muy útil porque evita estudiar cada planeta como si fuera un caso aislado. La comparación es una de las herramientas básicas de la astrobiología: preguntarse dónde puede haber vida implica entender primero qué tipo de mundos existen.

PLANETA	DIÁMETRO (Km)	MASA (Kg)	CARACTERÍSTICAS
MERCURIO	4.879,4	3,30 ·1023 (0,05)	Rocoso
VENUS	12.103,6	4,87·1024 (0,81)	Rocoso
TIERRA	12.756,3	5,97·1024 (1,00)	Rocoso
MARTE	6.792,4	6,42 ·1023 (0,11)	Rocoso
JÚPITER	142.984	1,90 ·1027 (317,83)	Gaseoso
SATURNO	120.536	5,69 ·1026 (95,16)	Gaseoso
URANO	51.118	8,69 ·1025	Gaseoso



Mercurio aparece como un ejemplo extremo de planeta rocoso más cercano al Sol y repleto de cráteres. Carece casi por completo de atmósfera; presenta diferencias brutales entre el día y la noche (por el día hace muchísimo calor (430ºC) y por la noche muchísimo frío (-180ºC) y no ofrece condiciones favorables para el agua líquida en superficie. Precisamente por eso sirve como contraste.

Nos enseña que estar cerca de una estrella no garantiza habitabilidad y que la presencia de atmósfera es decisiva para moderar temperaturas y sostener procesos más complejos.

⇒ VENUS, EL EFECTO INVERNADERO DESBOCADO Y SUS NUBES

Venus es uno de los mejores ejemplos de por qué no basta con que un planeta tenga un tamaño parecido al de la Tierra para resultar habitable. Durante mucho tiempo fue imaginado como un posible "gemelo" terrestre, pero hoy se entiende como un mundo completamente hostil: temperaturas capaces de fundir plomo, atmósfera densísima rica en dióxido de carbono, presión superficial enorme y un efecto invernadero permanente que ha llevado su clima a un estado extremo.



Precisamente por eso es tan interesante desde el punto de vista científico. Venus muestra hasta dónde puede llegar la evolución climática de un planeta.

→ **Esto es lo que se pensaba de Venus a principios del siglo XX**:

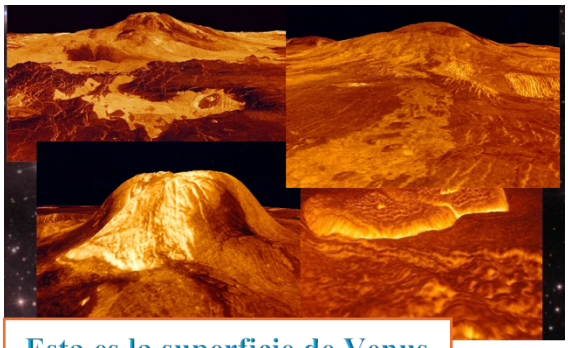
Venus debe ser más caliente, porque está más cerca del Sol, pero su capa de nubes debe reflejar una gran cantidad de calor.

En 1918, el químico y premio Nobel sueco llegó a la conclusión de que:

- Todo lo que hay en Venus está empapado.
- La mayor parte de la superficie está cubierta por pantanos.
- Las condiciones climáticas uniformes resultan en una falta de adaptación a las condiciones variables exteriores.
- Por lo tanto, sólo existen formas simples de vida que, en su mayoría, pertenecen al mundo vegetal; y los organismos son del mismo tipo en todo el planeta.

→ **Pero ahora resulta que Venus es un Infierno**

- La superficie es tan caliente que podría derretir plomo.
- Hay un efecto invernadero permanente.
- Hay lluvia de ácido sulfúrico.
- Está permanentemente cubierto por nubes de CO2, convirtiéndolo en el planeta más caliente del Sistema Solar.
- Carece de lunas y de campo magnético.



Esta es la superficie de Venus

A pesar de todo, Venus deja abierta una posibilidad especulativa muy sugerente: las capas altas de sus nubes, a unos 50 kilómetros de altura, presentan presión y temperatura menos infernales que la superficie.

→ **Entonces ¿podría haber vida en Venus?**

Todo esto no demuestra la existencia de vida, pero obliga a pensar que incluso un planeta globalmente letal puede contener nichos parciales donde la química resulte más prometedora.

Una posibilidad es que los microbios viviendo en las nubes estén combinando el dióxido de azufre con monóxido de carbono en un metabolismo similar al de algunos de los primeros microorganismos terrestres.

Dado que la temperatura en Venus fue mucho menor en una época, podrían haber existido océanos en el planeta. La vida se podría haber originado ahí y haberse retirado a lugares estables cuando empezó el efecto invernadero.

⇒ **<u>MARTE Y LA BÚSQUEDA DE VIDA PASADA O PRESENTE</u>**

Marte ha sido durante décadas el gran candidato clásico para imaginar vida fuera de la Tierra. Su duración del día, la existencia de estaciones, los casquetes polares y ciertos paisajes que recuerdan remotamente a ambientes terrestres alimentaron durante mucho tiempo esa expectativa.



→ **Lo que se pensaba:**

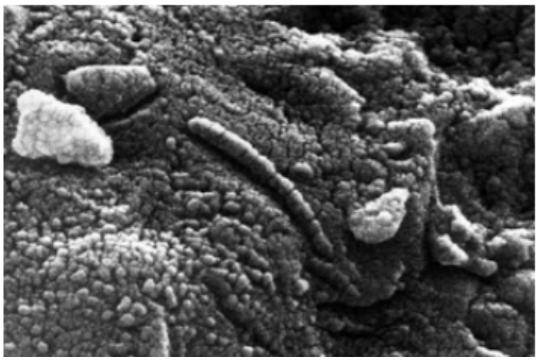
- Que era parecido a la Tierra en muchas cosas
- Muchos astrónomos aseguraban que había vida en Marte.
- El astrónomo **Schiaparelli** dijo que vio marcas lineales rectas en la superficie, a las que llamó *canali*, que, en italiano, significa cauce, pero fue traducido por **Percival Lowell** como *channel* (canales artificiales). Incluso hizo hasta un mapa de la civilización.
- Esto muestra hasta qué punto el deseo de encontrar vida puede deformar la interpretación de las observaciones.



La exploración moderna ha cambiado la pregunta sin destruirla. Marte se revela como un planeta frío, seco y con atmósfera tenue, pero también con señales de agua pasada, hielos y una geología compleja. Por eso la búsqueda se ha desplazado desde una vida visible en superficie hacia posibles microorganismos fósiles o refugios subterráneos.

Las sondas *Viking*, los *rovers* posteriores y la atención al agua marciana convierten a Marte en un laboratorio privilegiado para estudiar si la vida puede aparecer, desaparecer o refugiarse cuando un planeta pierde condiciones favorables.

→ **¿Fósiles de Microbios Marcianos?**



En 1996, una pequeña roca de origen marciano obligó al mismísimo presidente Bill Clinton a convocar una conferencia en la Casa Blanca para anunciar al mundo que lo inimaginable había tenido lugar: ¡la NASA había descubierto vida en Marte! O mejor dicho, había descubierto claras evidencias de que en el pasado había existido vida sobe el planeta rojo. El protagonista del revuelo era el meteorito *ALH84001*, descubierto en la Antártida y que albergaba en su interior lo que parecían ser fósiles de microorganismos marcianos.

Se dijo que eran formas microscópicas parecidas a bacterias vivas y fósiles, lo que aquí en la Tierra se conoce como nanobacterias.

Y que se veían granos minerales microscópicos como algunos producidos por las bacterias en la Tierra.

O bien, compuestos químicos orgánicos parecidos a los desechos de las bacterias terrestres.

Sin embargo, la comunidad científica terminó desmintiéndolo, ya que procesos no biológicos pueden producir estas características.

→ **La atmósfera marciana**

- 95% de dióxido de carbono
- La presión atmosférica es de 0.6 sobre la de la tierra
- Su atmósfera es muy fina
- La presión es muy baja para que pueda haber agua líquida
- No está protegido por una magnetosfera global, como lo está la Tierra.

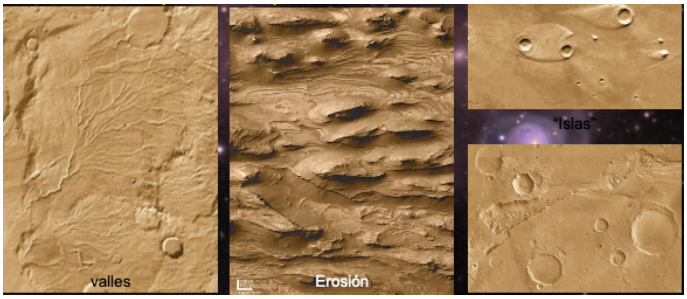


→ **La superficie**

- ¡Marte es un desierto!
- Es rojo por el óxido de hierro.

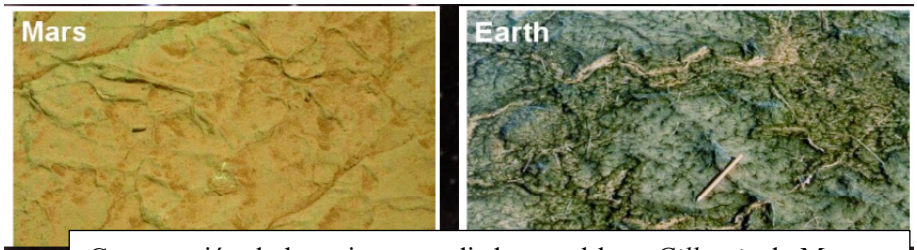
→ **Agua en Marte**

- Las capas polares son mayoritariamente de CO2, congelado, pero también hay hielo de agua.
- Escarcha.
- Nubes (cristales de hielo).



→ **¿Agua líquida en Marte?**

- Existen características de erosión por agua visibles desde el espacio
- Presión atmosférica demasiado baja para la existencia de agua
- Parece claro que sí en el pasado



Comparación de las grietas estudiadas en el lago *Gillespie* de Marte y en un tapete microbiano localizado en Bahar Alouane, Túnez: Créditos: Imagen de Marte: NASA; Imagen de la Tierra: Nora Noffke.

◈ En un artículo publicado en la revista *Astrobiology*, **Nora Noffke**, geóloga alemana y profesora de Ciencias de la universidad de Virginia, detalla las sorprendentes similitudes morfológicas entre las estructuras sedimentarias de Marte fotografiadas en el afloramiento del lago Gillespie (que tiene unos 3,7 mil millones años) y las estructuras microbianas de la Tierra.

Hay que dejar claro que Noffke no indica que estas estructuras posean un origen biológico, sino que abre esa posibilidad. Para conseguir identificar si su origen es biológico tendríamos que conseguir traer esas muestras a la Tierra para poder analizarlas, misión que en estos momentos no está programada en un futuro cercano.

- Y entonces ¿cómo podemos estudiar la posible habitabilidad de Marte desde la Tierra?

Muy sencillo. Como Marte es un lugar bastante hostil, analizando la vida más resistente que hay en nuestro planeta (los extremófilos, llamados así porque viven en ambientes muy extremos), podríamos sacar valiosas conclusiones sobre la posibilidad de que haya vida en Marte.

Uno de esos lugares, donde incluso la NASA está echando un vistazo, se encuentra en Huelva, Andalucía (España), concretamente en un río denominado Río Tinto por ese característico color que su nombre indica.



Cuesta creer que en un lugar tan adverso como Río Tinto haya una increíble diversidad de vida, microorganismos pululando por esa zona como si estuvieran encantados de vivir allí.

https://www.youtube.com/watch?v=P4boyXQuUIw

Web (Click)

https://www.youtube.com/watch?v=3b1DxICZbGc

⇒ JÚPITER Y EUROPA COMO ESCENARIO DE OCÉANOS OCULTOS

Júpiter es un planeta gigantesco y muy distinto de la Tierra. Su atmósfera profunda, sus enormes presiones y su intensa actividad interna hacen poco probable la vida tal como la conocemos en el propio planeta. Aun así, su importancia astrobiológica es enorme porque obliga a pensar en formas planetarias muy distintas y, sobre todo, porque posee un sistema de lunas extraordinariamente interesante.



Sobre todo, destaca **Europa** como uno de los lugares más prometedores del Sistema Solar para buscar vida. Bajo su corteza helada podría existir un océano global de agua líquida, quizá en contacto con un fondo rocoso y con fuentes de energía internas. Si se combinan agua, química adecuada y alguna fuente energética, las posibilidades biológicas aumentan mucho. La enseñanza esencial es que la vida no tiene por qué buscarse solo en superficies templadas como la terrestre; también puede esconderse bajo capas de hielo, en ambientes protegidos y oscuros.

→ **Atmósfera de Júpiter**

- Mayoritariamente gas: presión = 3 millones de atmósferas.
- La temperatura aumenta según te sumerges en la atmósfera debido a una fuente de calor interna.
- La atmósfera exterior está compuesta por nubes heladas de amoníaco, metano y hielo.
- Las formas espirales son evidencia de grandes tormentas: Gran Mancha Roja.
- La atmósfera asemeja las condiciones del experimento que realizaron **Miller-Urey**.



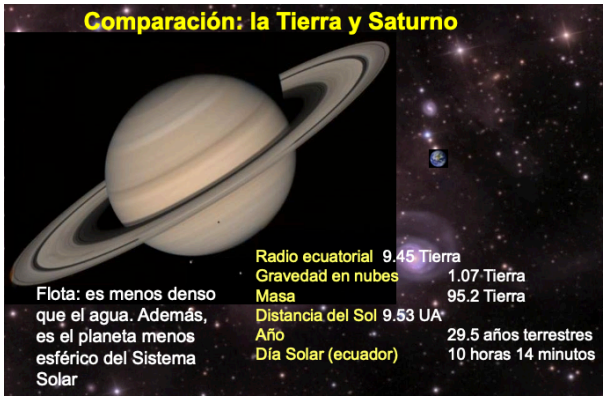
- Las bandas rojas y las manchas podrían ser moléculas biológicas.
- Pero la constante agitación de la atmósfera seguramente imposibilita el desarrollo de vida compleja.

→ La vida en Júpiter se la imaginaba de esta manera hace 50 años **Carl Sagan** en *Cosmos:*
https://www.youtube.com/watch?v=uakLB7Eni2E

⇒ SATURNO, TITÁN Y UNA QUÍMICA MUY RICA

Saturno es conocido popularmente como "El Señor de los Anillos" debido a su espectacular y brillante sistema de anillos, bandas atmosféricas que lo convierte en uno de los objetos celestes más icónicos y hermosos del sistema solar. Tiene alrededor de 30 lunas, de las cuales sólo 7 son esféricas.

Saturno comparte con Júpiter su condición de gigante, pero aporta otro mundo fascinante para la astrobiología: Su luna **Titán**. Esta luna fue descubierta en 1655 por **Christiaan Huygens.**



Es la luna más grande de Saturno y aún más grande que Mercurio. Posee una atmósfera muy densa, rica en nitrógeno, y una química orgánica extraordinariamente compleja, compuesta por N_2, que es la molécula de **nitrógeno gaseoso** necesaria en la reacción química para crear amoníaco **(NH_3)**, actuando como materia prima fundamental. El segundo componente más abundante es metano (gas natural): UV + metano = hidrocarburos como el etano. Entonces el etano se condensa y llueve en la superficie de Titán.

Esto no quiere decir que sea un "segundo hogar terrestre", pero sí un laboratorio natural donde pueden estudiarse procesos prebióticos en condiciones muy distintas de las nuestras.

Titán resulta especialmente sugerente porque tiene lagos y mares, aunque no de agua líquida, sino de metano y etano. Esto obliga a ampliar la imaginación científica: la vida conocida en la Tierra depende del agua, pero la química del Universo puede adoptar variantes mucho más diversas. Aunque no haya pruebas de vida en Titán, su riqueza molecular lo convierte en uno de los lugares más valiosos para comprender cómo la materia puede organizarse antes de llegar, quizá, a algo parecido a la biología.



→ ***Cassini-Huygens*** fue una misión de investigación espacial colaborativa de NASA, la Agencia Espacial Europea y la Agencia Espacial Italiana con el objetivo de estudiar el planeta Saturno, sus satélites naturales y su sistema de anillos.

→ La misión duró 19 años y 335 días, de los cuales, 13 años y 76 días estuvo en Saturno y en la ruta invirtió 6 años y 8 meses. La ***Sonda Huygens*** se lanzó el 15 de octubre de 1997 y llegó a Saturno el 1 de Julio de 2004. Y el 4 de Noviembre del 2004 comenzó su camino hacia Titán.

⇒ GANÍMEDES, ENCÉLADO, CERES Y LA CONCLUSIÓN GENERAL

El recorrido por posibles escenarios habitables no se detiene en Marte, Europa o Titán. También existen otros cuerpos de enorme interés, como **Ganímedes**, **Encélado** o incluso **Ceres**.

Se nos muestra también noticias y debates recientes sobre posibles indicios de vida en distintos lugares. Lo importante no es ver cada noticia de manera aislada, sino captar el cambio de enfoque: el Sistema Solar se ha vuelto mucho más prometedor de lo que parecía hace unas décadas.

→ **Ganímedes** se encuentra a más de 600 millones de kilómetros de distancia, y los científicos, gracias al telescopio espacial ***Hubble*** de la NASA, descubrieron evidencia de vapor de agua en su atmósfera. Este vapor de agua se forma cuando el hielo de la superficie de la luna se sublima, es decir, pasa de sólido a gas.

Investigaciones posteriores estimaron que Ganímedes contiene más agua que todos los océanos de la Tierra. Sin embargo, las temperaturas son tan frías que el agua en la superficie se congela. Este

supuesto océano se ubica aproximadamente a 160 kilómetros por debajo de la corteza; por lo tanto, el vapor de agua no compromete la evaporación de este océano.

→ Otra de estas lunas de Saturno es **Encélado**, y es otro de los principales candidatos para albergar vida extraterrestre en nuestro sistema solar. Esta pequeña luna helada, con apenas 500 km, alberga debajo de una corteza de hielo de unos 20 a 25 km de espesor, un océano salado y global de agua líquida que expulsa géiseres de vapor y hielo al espacio con carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y azufre; y se han encontrado indicios de actividad hidrotermal en el fondo de ese océano, lo que sugiere una fuente de calor constante.

→ En el año 2020 se produjo un hito histórico en la investigación de **Venus** cuando astrónomos anunciaron la detección de **fosfina** (PH_3) en sus nubes, un gas vinculado a la actividad biológica. Además, ese mismo año se descubrió una **discontinuidad atmosférica gigante** y se afianzó el debate sobre si las capas altas podrían albergar condiciones para la vida.

Los estudios posteriores son algo más cautos, ya que han dicho: "*La detección de fosfina no es una prueba sólida de vida, solo de química anómala que no podemos explicar*".

❖ **Conclusión:** ***No hay evidencia definitiva de vida en nuestro Sistema Solar, aparte de la Tierra***

Pero las posibilidades de vida existen:

- Marte podría tener un pasado de vida microbiana relacionada con el agua, y quizás, hasta llegar a albergar vida bajo su superficie.
- Los océanos bajo la corteza de Europa, Ganímedes, Encélado o Ceres podrían albergar vida.
- Las nubes de Venus parecen una opción cada vez más seductora.
- Titán es muy interesante, pero sería vida no basada en el agua.

Ψ La conclusión que podemos sacar al cierre de esta bloque es que hay que ser prudentes y científicamente correctos. No existe evidencia definitiva de vida fuera de la Tierra en nuestro Sistema Solar. Sí existen, en cambio, lugares potencialmente habitables, señales geológicas o químicas muy sugerentes y una capacidad tecnológica creciente para investigar. Esa mezcla de entusiasmo y cautela es una buena lección de método científico: **conviene abrir posibilidades, pero no convertir deseos en pruebas.**



Una selección de los 126 planetas más allá del Sistema Solar del último catálogo

Más Allá Del Sistema Solar

⇒ EXOPLANETAS Y NUEVAS FRONTERAS

Un **exoplaneta**, o planeta **extrasolar,** es cualquier planeta que se encuentra fuera de nuestro sistema solar y que orbita alrededor de una estrella distinta al Sol (o restos de ella). El descubrimiento de **exoplanetas** cambió radicalmente nuestra visión del Universo. Durante mucho tiempo se sospechó que otras estrellas debían de tener planetas; y en 1992 se hizo la primera detección confirmada. Este hallazgo fue posible gracias a **Michel Mayor** y **Didier Queloz** y al **efecto Doppler** (es el cambio en la frecuencia o el tono de una onda (ya sea de sonido o de luz) percibido por un observador cuando existe movimiento relativo entre la fuente emisora y el observador).

Hoy hablamos de cerca de **6000 exoplanetas detectados**, cuya diversidad va desde gigantes gaseosos hasta pequeños mundos rocosos. Eso significa que el Sistema Solar ya no es nuestro único laboratorio y que la pregunta por la vida en el cosmos se ha ampliado de manera espectacular.

Tipos de Exoplanetas

La inmensa variedad de mundos descubiertos se clasifica en las siguientes categorías:

- **Gigantes gaseosos y "Júpiters calientes":** Planetas masivos compuestos principalmente de gas, muchos de los cuales orbitan extremadamente cerca de sus estrellas.
- **Super-Tierras:** Mundos rocosos más grandes que la Tierra, pero más pequeños que Neptuno. Son uno de los principales objetivos en la búsqueda de vida.
- **Minineptunos:** Planetas con atmósferas densas de hidrógeno y helio.
- **Análogos terrestres:** Planetas del tamaño y composición similar a la Tierra que se encuentran en la "zona habitable" de su estrella (donde podría existir agua líquida).

Métodos de Descubrimiento

Debido a que están demasiado lejos y sus estrellas los deslumbran, los científicos utilizan métodos indirectos para encontrarlos:

- **Tránsito:** Es el método más exitoso. Consiste en medir la pequeña disminución de luz de una estrella cuando un planeta pasa por delante de ella.
- **Velocidad radial:** Mide el "bamboleo" gravitacional que un planeta ejerce sobre su estrella.
- **Astrometría y Visión directa:** La observación óptica directa, potenciada enormemente por los telescopios espaciales actuales.

En este tema se menciona ejemplos como ***TRAPPIST-1***, un fascinante sistema planetario ubicado a unos 40 años luz de la Tierra en la constelación de Acuario. Alberga siete exoplanetas rocosos de tamaño similar a la Tierra que orbitan una estrella enana roja ultrafría. Es uno de los laboratorios naturales más estudiados para la búsqueda de vida extraterrestre.

También se menciona observaciones atmosféricas de vapor de agua u otras moléculas en exoplanetas lejanos. En el tema aparecen referencias cronológicas a 2014, 2015, 2023 y 2025 para mostrar cómo esta área avanza muy deprisa.

La idea central es que ya no solo buscamos planetas: empezamos a estudiar sus atmósferas y, con ello, a plantear la posibilidad de detectar huellas químicas compatibles con procesos biológicos.

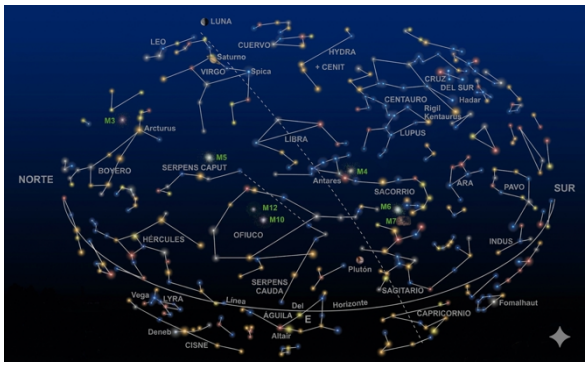
En el año 2018, la NASA lanzó el telescopio espacial ***TESS*** (Satélite de Sondeo de Exoplanetas en Tránsito). Está diseñado para buscar exoplanetas utilizando el **método de tránsito**. Su objetivo principal es monitorear cientos de miles de estrellas brillantes en casi todo el cielo para detectar caídas sutiles de luz, lo que indica que un planeta está pasando frente a su estrella. Desde entonces nos está proporcionando una cantidad enorme de datos que permiten buscar planetas fuera de nuestro propio Sistema Solar. Con su ayuda, vamos a encontrar planetas que nos ayudarán a comprender cómo se forman y evolucionan con el tiempo estos sistemas extrasolares. Los resultados podrían incluso acercarnos a contestar la pregunta que todos queremos resolver:

¿Estamos solos en el Universo?



⇒ CONSTELACIONES, CULTURA Y ZODÍACO

Al alejarnos del Sistema Solar, el tema se fija en el cielo visible y en la manera en que los seres humanos lo han interpretado. Las constelaciones no son agrupaciones físicas reales de estrellas cercanas entre sí, sino dibujos aparentes construidos desde nuestra perspectiva terrestre. Sirven para orientarnos, para recordar regiones del cielo y también para entender cómo distintas culturas proyectaron símbolos e historias sobre los mismos astros.



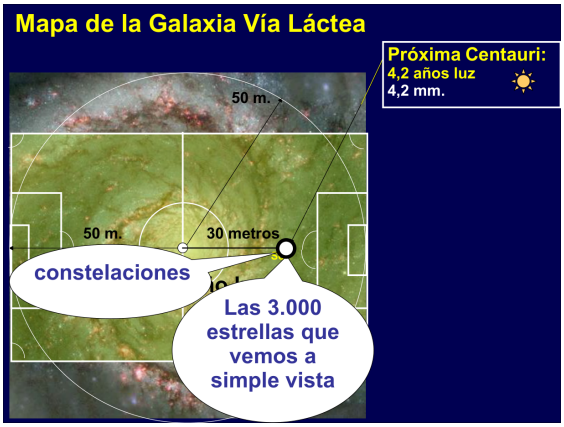


Por eso aparecen referencias culturales muy distintas, desde la imaginación egipcia o hindú hasta la franja zodiacal. El zodíaco se entiende aquí como una banda del cielo por donde se mueve aparentemente el Sol a lo largo del año, no como una estructura con poderes especiales sobre la humanidad.

Este apartado tiene mucho valor porque muestra que la Astronomía y la cultura humana se han cruzado constantemente: primero miramos el cielo para contarlo con mitos, y luego aprendimos a describirlo con ciencia sin perder del todo esa dimensión simbólica.

⇒ LA VÍA LÁCTEA Y LA ESCALA GALÁCTICA

El tema recuerda aquí una verdad que a veces olvidamos: todas las estrellas que vemos a simple vista están dentro de nuestra propia galaxia, la Vía Láctea. Eso ya es una lección de humildad, porque incluso el firmamento nocturno que nos parece inmenso no es más que una pequeña ventana a una estructura inmensamente mayor.



La Vía Láctea tarda unos 55.000 años en ser atravesada por la luz, lo que devuelve al primer plano la enorme escala del cosmos.

Las comparaciones lineales, en las que un milímetro puede equivaler a un año luz, ayudan a convertir la galaxia en una maqueta imaginable. *Próxima Centauri*, por ejemplo, parece cercana desde el lenguaje humano, pero a escala astronómica ya queda a más de cuatro años luz. Este tramo es importante porque enseña a pasar del Sistema Solar, que ya es enorme, a la dimensión galáctica, donde nuestras intuiciones vuelven a quedarse cortas.

⇒ CÓMO NACEN LAS ESTRELLAS Y EL PAPEL DE LAS NEBULOSAS

Las estrellas nacen en las nebulosas, que son inmensas y frías nubes de gas (principalmente hidrógeno y helio) y polvo estelar. Lejos de ser simples manchas bonitas del cielo, son auténticas regiones de gestación cósmica. Allí la gravedad puede concentrar materia hasta formar protoestrellas que, cuando alcanzan suficiente densidad y temperatura en su interior, encienden la fusión nuclear y empiezan su vida como estrellas.



Este proceso de formación ocurre a lo largo de cientos de miles de años, desde el colapso gravitacional hasta el encendido nuclear.

Las nebulosas más famosas son la del **Cangrejo**, la **Cabeza de Caballo** o la del **Águila**, y la vida de las estrellas no comienza en el vacío, comienza en estas estructuras ricas, complejas y dinámicas.





Esto nos debe de hacer pensar que lo que vemos como belleza en el cielo es también un proceso físico profundo de nacimiento, transformación y reciclaje de materia.



¿De dónde vienen los elementos?

Todos los elementos químicos de la tabla periódica provienen, en última instancia, del **universo y de sus procesos estelares**.

Se originan a través de distintos eventos cósmicos:

- **Inicios:** Los elementos más ligeros, como el **hidrógeno** y el **helio**, se formaron durante los primeros minutos del nacimiento del universo.
- **Ciclo de las estrellas:** A medida que las estrellas brillan y mueren (gigantes rojas o supernovas), fusionan elementos ligeros para crear otros como el **carbono**, **oxígeno** y **hierro**.
- **Colisiones extremas:** Los metales más pesados y valiosos, como el **oro** y el **platino**, se originan en eventos de alta energía, como la fusión de estrellas de neutrones.
- **Laboratorios:** Los elementos más pesados y artificiales son creados por el ser humano mediante aceleradores de partículas.



Organización de la tabla

La tabla periódica organiza los 118 elementos químicos conocidos en función de su número atómico creciente (cantidad de protones), su configuración electrónica y sus propiedades químicas. Está estructurada en filas (períodos) y columnas (grupos), permitiendo así predecir cómo se comportan los elemento.



1. Períodos (Filas Horizontales)

La tabla cuenta con **7 períodos**, que representan los niveles de energía principales de un átomo. A

medida que te desplazas de izquierda a derecha a través de un período, los elementos van sumando un protón y un electrón, cambiando sus propiedades de metálicas a no metálicas.

2. Grupos o Familias (Columnas Verticales)

La tabla tiene **18 grupos**. Los elementos de una misma columna comparten propiedades químicas muy similares porque poseen la misma cantidad de electrones en su última capa (electrones de valencia).

- **Grupos 1 y 2:** Metales alcalinos y alcalinotérreos (muy reactivos).
- **Grupos 3 al 12:** Metales de transición (como el hierro, el oro y el cobre).
- **Grupo 17:** Halógenos (altamente reactivos).
- **Grupo 18:** Gases nobles (estables y con muy baja reactividad).

3. Categorías Principales

Los elementos se agrupan en tres grandes familias según sus características físicas y químicas:

- **Metales:** Ocupan la mayor parte de la tabla (izquierda y centro). Son buenos conductores de calor y electricidad, brillantes y maleables.
- **No Metales:** Situados en la esquina superior derecha. Son malos conductores y pueden ser gases (como el oxígeno), líquidos o sólidos.
- **Metaloides:** Dividen a los metales y no metales. Tienen propiedades intermedias y son la base de los semiconductores en electrónica

⇒ <u>ESPACIO-TIEMPO, AGUJEROS NEGROS Y SUS IMÁGENES</u>

El cierre científico del tema entra en uno de los territorios más profundos de la Física moderna: el espacio-tiempo y los agujeros negros. La gravedad deja de verse solo como una fuerza a distancia y pasa a entenderse como la curvatura del espacio-tiempo producida por la masa y la energía. Dentro de ese marco, un agujero negro no es un "agujero" vacío, sino una región donde la curvatura es tan intensa que, a partir de cierto límite, ni siquiera la luz puede escapar.

Y un **agujero negro supermasivo** es la variedad más grande de agujero negro, con masas que oscilan entre millones y miles de millones de veces la del Sol. Se encuentran en el centro de casi todas las galaxias grandes, incluido el corazón de nuestra Vía Láctea.



Las primeras imágenes publicadas en 2019 y en mayo de 2022 marcan un hito histórico porque permitieron reconstruir el entorno de agujeros negros supermasivos mediante radiotelescopios repartidos por la Tierra. Lo que vemos en esas imágenes no es el interior del agujero negro, sino la radiación de la materia extremadamente caliente que lo rodea.

El tema subraya algo esencial: en astronomía moderna, las observaciones más impresionantes son también el resultado de una enorme cooperación tecnológica.

→ Características principales de los agujeros negros

- **Tamaño masivo:** Aunque son miles de millones de veces más pesados que el Sol, su horizonte de sucesos (la región de la que no puede escapar ni la luz) tiene un tamaño relativamente compacto, similar al de nuestro Sistema Solar.
- **Origen y Crecimiento:** Su formación temprana aún es un misterio, pero se cree que crecen rápidamente al fusionarse con otros agujeros negros y engullir grandes cantidades de gas y polvo cósmico.
- **Disco de acreción:** A medida que la materia cae hacia el agujero negro, se calienta y gira a velocidades cercanas a la de la luz, emitiendo una radiación muy brillante, lo que a menudo forma cuásares o núcleos galácticos activos.

→ **Ejemplos Famosos**

- **Sagitario A*:** Es el agujero negro supermasivo que habita en el centro de la Vía Láctea. Tiene una masa de unos 4 millones de veces la del Sol y se encuentra a unos 26.000 años luz de la Tierra.
- **M87*:** Situado en la galaxia elíptica M87, a 55 millones de años luz de distancia. Pesa unas 6.500 millones de veces más que el Sol y fue el **primer agujero negro en ser fotografiado en la historia** por el *Event Horizon Telescope*.



⇒ **IMAGINAR DISTANCIAS CON LA LUZ Y VISIÓN DE CONJUNTO**

Para terminar, es importante tener presente una idea muy pedagógica: medir el cosmos en "tiempo-luz" ayuda muchísimo a convertir distancias absurdamente grandes en algo pensable. Porque decir que la luz tarda 1,3 segundos en ir a la Luna, varios minutos en ir del Sol a la Tierra o años en llegar desde otras estrellas no elimina la inmensidad, pero la vuelve un poco más comprensible para la mente humana.

Velocidad de la luz en el vacío → ~ 300.000 km/s

	Distancia (km)	Distancia en tiempo luz
Tierra - Luna	384400 (promedio)	1.3 segundos
Sol-Plutón	4435.0 millones (apoastro) 7304.4 millones (periastro)	~ 10 horas
Vía Láctea	~262 136 600 000 000 000	~ 55 000 años
Universo	130 548 000 000 000 000 000	~ 13800 millones de años

Esa es, probablemente, la mejor conclusión de todo el tema. La astronomía no solo acumula datos sobre la Luna, el Sol, los planetas, las estrellas o los agujeros negros. Nos enseña a cambiar de escala, a pensar con más amplitud y a colocar la experiencia humana dentro de un marco mucho mayor. Después de recorrer movimientos terrestres, eclipses, vida posible, galaxias y espacio-tiempo, queda una sensación muy valiosa: comprender el Universo es también aprender a mirarnos con más perspectiva.

Y es que la Astronomía es una ciencia de síntesis: reúne geometría, luz, materia, vida, historia de la Tierra, evolución estelar y estructura del Universo.

Después del recorrido completo que hemos hecho, la idea más valiosa es quizá esta: **comprender el cosmos es aprender a colocar nuestra experiencia humana en una escala mucho más amplia.**

https://www.youtube.com/watch?v=cqvKg85aQbw&t=1027s

Vamos a ver tres conceptos que surgieron en varias ocasiones a lo largo de las clases

1. Qué es un agujero negro?

Un **agujero negro** es una región del espacio donde la gravedad es tan intensa que **nada puede escapar de ella**, ni siquiera la luz.

→ **Cómo se forma**

Normalmente se forma cuando una estrella muy masiva agota su combustible. Mientras vive, la estrella mantiene un equilibrio:

Fuerza hacia fuera	**Fuerza hacia dentro**
La energía producida por reacciones nucleares empuja hacia fuera	La gravedad tira hacia dentro

Cuando se acaba el combustible nuclear, la estrella ya no puede sostenerse. Entonces su núcleo se colapsa bajo su propia gravedad. Si la masa es suficientemente grande, ese colapso forma un agujero negro.

→ **Por qué se llama "agujero negro"**

No es un agujero como un túnel visible:

- Es "Agujero": porque todo lo que entra ya no puede salir.
- Es "Negro": porque no emite luz visible desde su interior.

La frontera a partir de la cual ya no se puede escapar se llama **horizonte de sucesos**.

→ **Partes principales**

PARTE	**EXPLICACIÓN**
Horizonte de sucesos	Límite de no retorno. Si algo lo cruza, ya no puede escapar.
Singularidad	Zona central donde la materia estaría comprimida de forma extrema.
Disco de acreción	Materia que gira alrededor del agujero negro antes de caer. Puede brillar muchísimo por el calor.

→ **Importante**

Un agujero negro **no "aspira" todo el universo como una aspiradora**. Solo atrae gravitatoriamente lo que está suficientemente cerca. Si el Sol se convirtiera en un agujero negro con la misma masa —cosa que no puede ocurrir— la Tierra seguiría orbitando igual, aunque nos quedaríamos sin luz ni calor.

---

2. Qué es la capa de ozono?

La **capa de ozono** es una zona de la atmósfera rica en **ozono**, una molécula formada por tres átomos de oxígeno: **O_3**.

Está situada principalmente en la **estratosfera**, aproximadamente entre los **15 y 35 km de altura**.

→ **Para qué sirve**

Su función principal es proteger la vida en la Tierra filtrando gran parte de la **radiación ultravioleta** del Sol, especialmente la radiación **UV-B**, que puede dañar los seres vivos.

RADIACIÓN SOLAR	**EFECTO**
UV-A	Llega bastante a la superficie. Produce envejecimiento de la piel.
UV-B	Más peligrosa. Puede causar quemaduras, cáncer de piel y daños en el ADN.
UV-C	Muy peligrosa, pero casi no llega porque la atmósfera la bloquea.

→ **El problema del "agujero" de la capa de ozono**

El famoso **agujero de ozono** no es un agujero físico, sino una **disminución fuerte de la concentración de ozono**, especialmente sobre la Antártida.

Fue causado sobre todo por sustancias llamadas **CFC**, que se usaban antes en aerosoles, neveras y aparatos de aire acondicionado.

Los CFC liberaban cloro en la estratosfera, y ese cloro destruía moléculas de ozono.

→ **Una aclaración importante**

La capa de ozono y el efecto invernadero **no son lo mismo**.

CAPA DE OZONO	**EFECTO INVERNADERO**
Nos protege de la radiación ultravioleta	Retiene parte del calor terrestre
Está relacionada con el ozono estratosférico	Está relacionado con gases como CO_2, vapor de agua, metano
Su problema fue el "agujero de ozono"	Su problema actual es el calentamiento global

---

3. Qué es el efecto invernadero?

El **efecto invernadero** es un fenómeno natural por el cual ciertos gases de la atmósfera retienen parte del calor que la Tierra emite hacia el espacio.

Sin efecto invernadero natural, la Tierra sería muchísimo más fría y probablemente no permitiría la vida tal como la conocemos.

→ **Cómo funciona**

El proceso es este:

1. El Sol envía energía hacia la Tierra.
2. Parte de esa energía se refleja al espacio.
3. Otra parte calienta la superficie terrestre.
4. La Tierra devuelve calor hacia la atmósfera en forma de radiación infrarroja.
5. Algunos gases retienen parte de ese calor.
6. Gracias a eso, la temperatura media terrestre se mantiene en valores habitables.

→ **Principales gases de efecto invernadero**

GAS	**ORIGEN PRINCIPAL**	**IMPORTANCIA**
Vapor de agua	Evaporación natural	Es el gas de efecto invernadero más abundante
Dióxido de carbono, CO_2	Respiración, volcanes, combustibles fósiles	Muy importante en el cambio climático actual
Metano, CH_4	Ganadería, arrozales, vertederos, gas natural	Menos abundante, pero más potente que el CO_2
Óxido nitroso, N_2O	Fertilizantes, industria, combustión	Potente y persistente
Ozono troposférico	Contaminación atmosférica	Contaminante y gas de efecto invernadero

→ **Entonces, ¿el efecto invernadero es malo?**

No. El **efecto invernadero natural es bueno y necesario**.

Lo perjudicial es el **aumento artificial** de ese efecto por las actividades humanas: quema de carbón, petróleo y gas, deforestación, industria, transporte, agricultura intensiva, etc.

Eso provoca que la Tierra retenga más calor del normal, dando lugar al **calentamiento global** y al **cambio climático**.

→ **Comparación final**

Concepto	**Dónde ocurre**	**Qué es**	**Problema principal**
Agujero negro	Espacio exterior	Región con gravedad extrema	No es un problema terrestre; es un fenómeno astrofísico
Capa de ozono	Estratosfera	Zona que filtra radiación ultravioleta	Su destrucción deja pasar más radiación dañina
Efecto invernadero	Atmósfera baja y media	Retención de calor por gases atmosféricos	Su aumento excesivo calienta el planeta

→ **Resumen**

- Un **agujero negro** es un objeto cósmico con una gravedad tan enorme que ni la luz escapa.
- La **capa de ozono** es un escudo atmosférico que nos protege de los rayos ultravioleta del Sol.
- El **efecto invernadero** es el mecanismo natural por el que la atmósfera conserva calor; necesario para la vida, pero peligroso cuando se intensifica demasiado por la acción humana.

Tema 2: ENERGÍA, CALOR Y TRABAJO

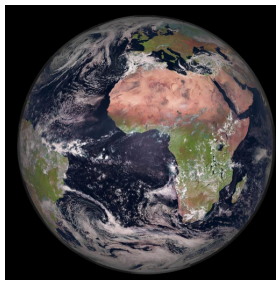
INTRODUCCIÓN

En esta parte de la Física Aplicada no se va a desarrollar todavía contenido técnico, se va a enmarcar el tema y dejar claro que vamos a estudiar fenómenos físicos muy presentes en la vida diaria, **como el calor, la temperatura, el trabajo y la energía**.

Conviene quedarse con una idea de arranque: aunque estas palabras se usan mucho en el lenguaje corriente, en Física tienen un significado muy preciso. A lo largo del tema iremos afinando cada una de ellas para no confundirlas.

Primero vamos a estudiar el tema de energía, calor y trabajo, y después se aplicarán esas ideas a la atmósfera terrestre, a su estructura vertical, a la convección y a la formación de nubes y precipitaciones.

Todo lo que se explique sobre calor, equilibrio térmico y radiación servirá después para entender mejor el comportamiento real de la atmósfera y del clima.



→ Esta diapositiva con la imagen de la Tierra recuerda que la Física del calor no es solo cosa de laboratorios o máquinas: también gobierna el equilibrio energético del planeta y muchos fenómenos naturales.

⇒ QUÉ ES LA ENERGÍA Y POR QUÉ SE CONSERVA

La idea central de toda la Física se puede manifestar de esta manera: **la energía es una magnitud que se conserva.**

Eso significa que no aparece de la nada ni desaparece sin más, sino que va pasando de unas formas a otras. Puede estar como energía **cinética**, **gravitatoria**, **eléctrica**, **magnética** o **interna**, pero la cantidad total se mantiene cuando se analiza el sistema completo.



La definición de la RAE "*capacidad para realizar un trabajo. Se mide en julios. (Símb. E)*", es útil como punto de partida, aunque luego veremos que en Física conviene matizarla. Lo verdaderamente importante aquí es entender que la energía se puede almacenar de diferentes maneras y transformarse continuamente.

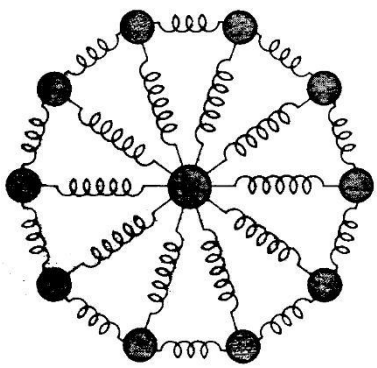
⇒ GRANDES ÁREAS EN LAS QUE APARECE LA ENERGÍA

Las distintas formas de energía están relacionadas con tres grandes campos de la Física: **la mecánica, el electromagnetismo y la termodinámica**. Por lo que algunas energías están ligadas al movimiento visible de los cuerpos, otras a campos eléctricos y magnéticos, y otras al estado microscópico de la materia.

Nos interesa especialmente esta última, **la energía interna**, porque será la base para entender el calor, la temperatura y las leyes de la termodinámica.

⇒ ENERGÍA INTERNA: SU ORIGEN MICROSCÓPICO

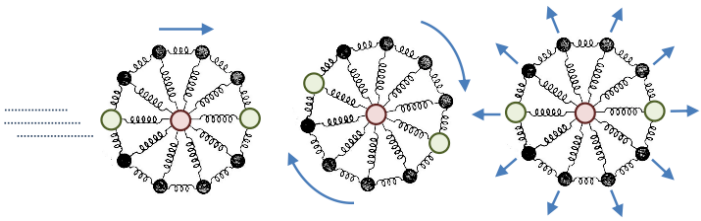
La pregunta de la diapositiva es muy buena: ¿de dónde sale la energía interna? La respuesta es que procede del movimiento y de las interacciones de las partículas que forman la materia. Aunque un cuerpo parezca quieto a simple vista, en su interior hay átomos y moléculas moviéndose, vibrando y atrayéndose o repeliéndose.



Por eso la energía interna no suele verse directamente como se ve el movimiento de una pelota. Es una energía ligada a la estructura íntima del cuerpo.

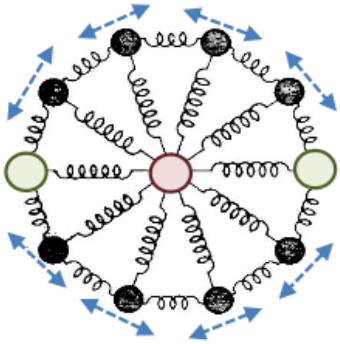
⇒ ENERGÍA MECÁNICA Y ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA

Aquí se recuerdan ejemplos de energía macroscópica: **traslación**, **rotación**, **elasticidad**, **electricidad** o **magnetismo**. Todas ellas son formas de energía que solemos reconocer con facilidad porque producen efectos visibles o directamente medibles.



La comparación con la energía interna ayuda a no mezclar niveles. Una cosa es el movimiento global de un sistema y otra distinta es el movimiento desordenado de sus partículas.

⇒ ENERGÍA INTERNA Y MOVIMIENTOS SIN REFLEJO MACROSCÓPICO

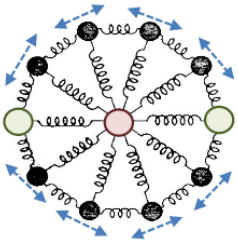


El mensaje esencial es que la energía interna está asociada a movimientos que no tienen reflejo macroscópico. Es decir, el cuerpo puede estar quieto como conjunto y, sin embargo, tener mucha actividad microscópica en su interior.

Esta idea es muy importante porque explica por qué un objeto puede calentarse sin empezar necesariamente a desplazarse o a girar.

⇒ LA MISMA IDEA REFORZADA CON UN EJEMPLO VISUAL

Aquí se repite la noción de energía interna para fijarla mejor. En enseñanza de ciencias esto es útil: cuando una idea es poco intuitiva, conviene verla varias veces desde ángulos distintos hasta que deja de parecer extraña.

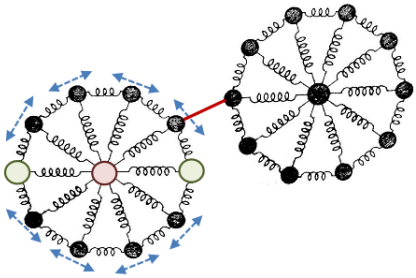




Lo que debemos retener es que "caliente" no significa necesariamente "moviéndose como conjunto", sino "más agitado por dentro".

⇒ LA ENERGÍA INTERNA PUEDE CAMBIAR Y TRANSFERIRSE

Aquí aparece una transición decisiva del tema: la energía interna no solo existe, sino que puede pasar de un cuerpo a otro o cambiar dentro de un sistema. Esa posibilidad de transferencia es justamente la puerta de entrada al estudio del calor y del trabajo.



En otras palabras, la energía interna no es una cantidad encerrada para siempre en un cuerpo. Puede aumentar o disminuir según lo que le ocurra al sistema.

⇒ LOS PRINCIPIOS DE LA TERMODINÁMICA COMO COLUMNA VERTEBRAL

Aquí se resume las cuatro grandes leyes o principios de la termodinámica. El primero habla de conservación de la energía; el principio cero, de equilibrio térmico; el segundo, de los límites reales de las transformaciones energéticas; y el tercero, del cero absoluto y de sus consecuencias.

Principio Cero de la Termodinámica (Fowler, 1935): equilibrio térmico

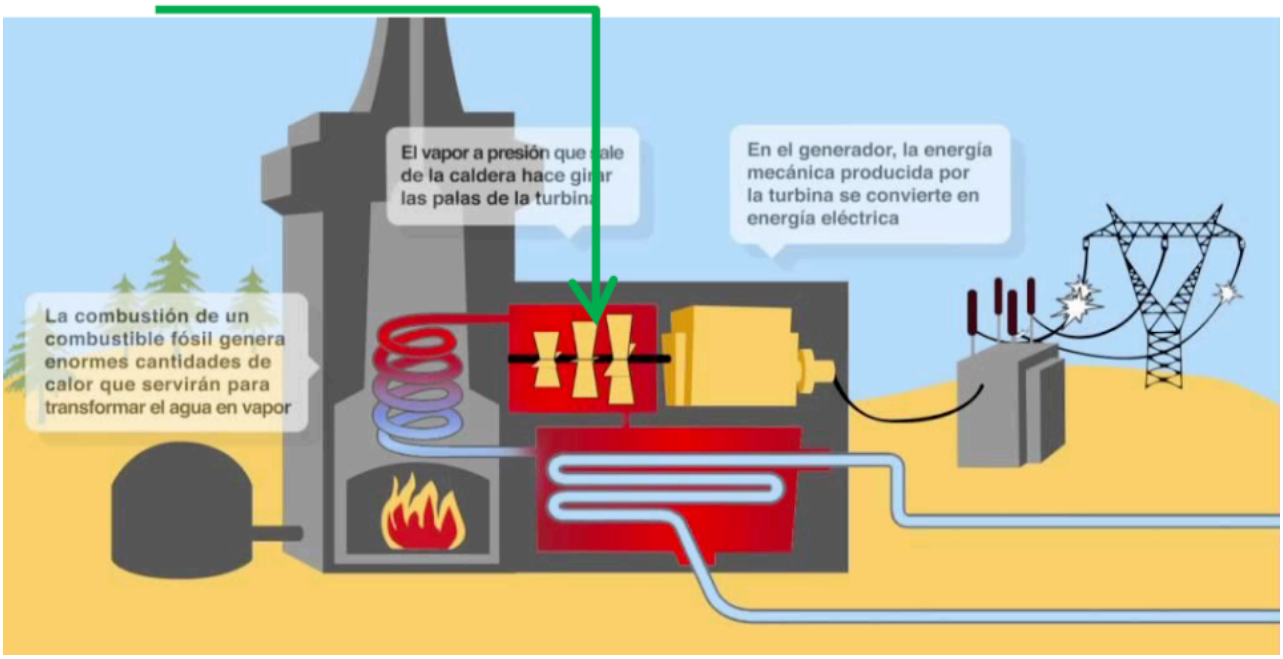
Primer Principio (Helmholtz, 1847): Conservación de la energía **"no puedes ganar"**

Segundo Principio (Carnot, 1824): **"¡ni siquiera puedes empatar!"**

Tercer Principio (Nernst, 1912; Masanes y Oppenheim, 2017): **"¡no puedes salir del juego!"**

Las frases coloquiales **"no puedes ganar"**, **"ni siquiera puedes empatar"** y **"no puedes salir del juego"** sirven para recordar, de manera sencilla, que la naturaleza impone restricciones muy firmes. La termodinámica no solo dice qué puede pasar, sino también qué no puede pasar nunca.

⇒ TRABAJO COMO FORMA DE TRANSFERIR ENERGÍA

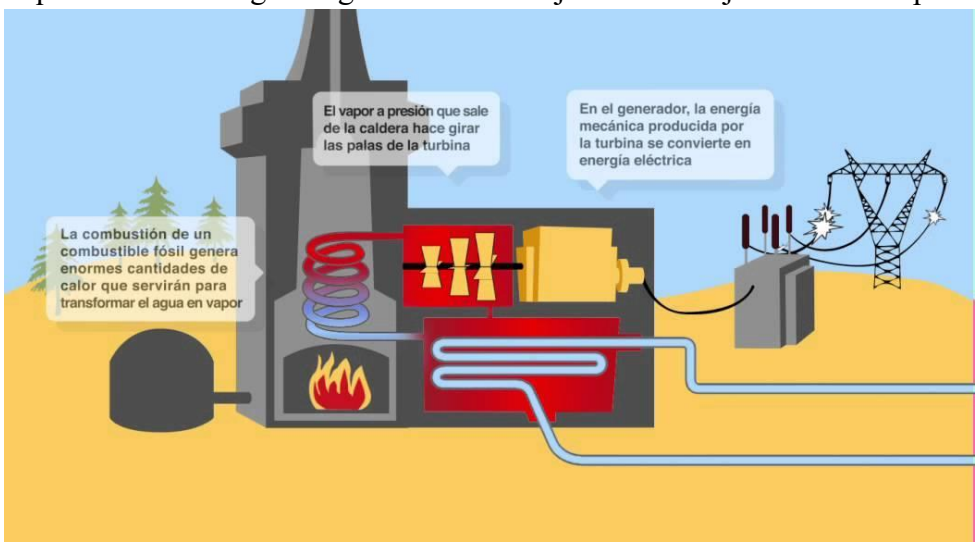


El trabajo aparece aquí como una forma de transferencia de energía ligada a una fuerza que actúa mientras hay desplazamiento. En mecánica esto es muy claro: empujar, elevar, comprimir o estirar son acciones que pueden transferir energía de un sistema a otro.

Por eso el trabajo no es una energía almacenada en un objeto, sino una manera de cambiar la energía de un sistema.

⇒ DOS CAMINOS PRINCIPALES PARA TRANSFERIR ENERGÍA INTERNA

Aquí se añade el segundo gran mecanismo junto al trabajo: **el calor**. A partir de ahora el tema separa con claridad dos modos de cambiar la energía interna de un sistema: por **trabajo** y por **calor**.

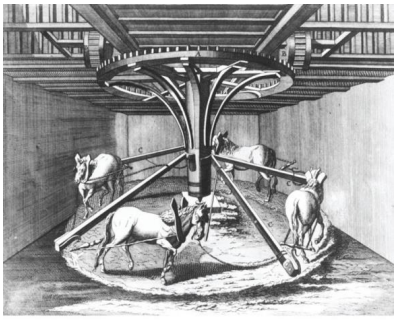


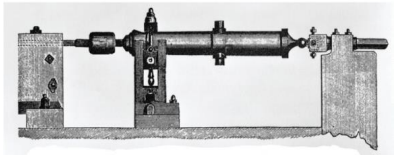
La diferencia es muy importante. El trabajo implica una acción mecánica organizada, mientras que el calor es transferencia de energía asociada a diferencia de temperatura.

⇒ QUÉ ES EL CALOR SEGÚN RUMFORD

El calor se presenta aquí como intercambio de energía, no como algo que un cuerpo almacena en forma de "sustancia". Este cambio de visión fue muy importante históricamente. El **conde Rumford (1753-1814)** ayudó a desmontar la antigua idea del calórico y relacionó el calentamiento con el movimiento y el rozamiento.

La consecuencia conceptual es profunda: un cuerpo no "guarda calor" como si fuera un líquido en un depósito. Lo que guarda es energía interna, y el calor solo existe cuando esa energía se está transfiriendo.





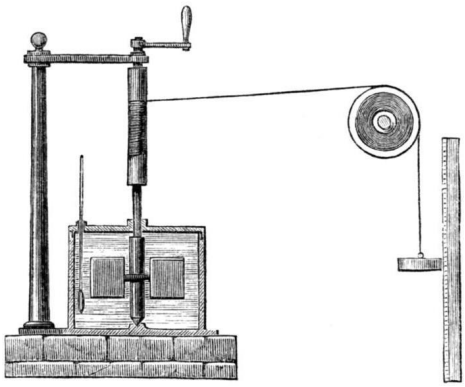
⇒ MAYER Y LA RELACIÓN ENTRE CALOR Y ENERGÍA



Julius Mayer (1814-1878) dio otro paso clave al vincular el calor con la energía de manera general. Ya no se trataba solo de observar que el movimiento puede producir calentamiento, sino de entender que calor y trabajo son dos expresiones diferentes de una misma realidad energética.

Este cambio permite integrar la termodinámica con el resto de la Física. El calor deja de verse como algo separado y pasa a formar parte de la gran ley de conservación.

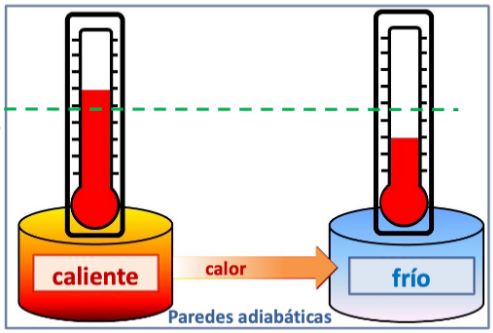
⇒ JOULE Y LA EQUIVALENCIA ENTRE CALOR Y TRABAJO



James P. Joule (1818-1881) demostró de forma cuantitativa que el calor y el trabajo son equivalentes. La equivalencia 1 caloría = 4,18 julios indica que una misma cantidad de energía puede expresarse en esas dos unidades cuando se estudia la relación histórica entre ambos conceptos.

Esto es clave porque ya no hablamos solo de intuiciones: la equivalencia se puede medir. Gracias a ello la termodinámica entra plenamente en el lenguaje matemático de la Física.

⇒ CALOR Y TEMPERATURA NO SON LO MISMO



Aquí aparece una distinción fundamental. El calor es energía en tránsito entre cuerpos a distinta temperatura, mientras que la temperatura es una magnitud que nos indica el estado térmico de un cuerpo. Cuando un cuerpo caliente y otro frío se ponen en contacto, fluye calor del más caliente al más frío.

Ese flujo continúa hasta que se alcanza el equilibrio térmico. En ese momento cesa el intercambio neto de calor, precisamente porque las temperaturas se han igualado.

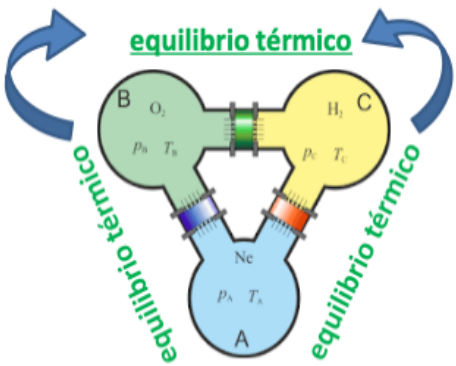
⇒ DEFINICIÓN OPERATIVA DE TEMPERATURA

La definición de la RAE ayuda a fijar la idea: "*Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente*".

En Física esto se concreta en una magnitud medible cuya unidad en el sistema internacional es el kelvin.

Lo importante es no confundir temperatura con "cantidad de calor". Dos cuerpos pueden tener la misma temperatura y, sin embargo, no contener la misma energía interna total.

⇒ PRINCIPIO CERO DE LA TERMODINÁMICA



El principio cero (**Fowler, 1935**) formaliza la idea de equilibrio térmico. En lenguaje sencillo: si un sistema A está en equilibrio térmico con un sistema B, y B está en equilibrio térmico con un sistema C, entonces A y C también lo están entre sí.

Aunque parezca obvio, este principio es la base teórica de la medida de temperatura. Gracias a él tiene sentido usar un termómetro como sistema intermedio para comparar estados térmicos.

⇒ PRIMER PRINCIPIO: CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA EN TERMODINÁMICA

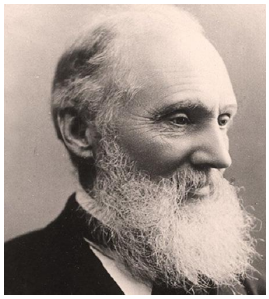
El primer principio (**Helmholtz, 1847**) aplica la conservación de la energía a los sistemas termodinámicos. Lo que dice, en esencia, es que el cambio de energía interna de un sistema depende del calor que recibe o cede y del trabajo realizado sobre él o por él.

La idea central es muy tranquilizadora: aunque la energía cambie de forma, no se pierde. Si el sistema gana calor o recibe trabajo, su energía interna puede aumentar; si cede calor o realiza trabajo, puede disminuir.

⇒ SEGUNDO PRINCIPIO: NO TODA LA ENERGÍA TÉRMICA SE APROVECHA

El segundo principio (**Carnot, 1824**) introduce una restricción que el primero no imponía. Aunque la energía se conserve, eso no significa que toda pueda transformarse de la manera que nos conviene. En particular, una máquina térmica no puede convertir en trabajo todo el calor que toma de un foco caliente.

Siempre debe expulsar parte de esa energía a un foco frío. Por eso el rendimiento nunca es del 100 %.



⇒ RENDIMIENTO DE UNA MÁQUINA TÉRMICA

Aquí el segundo principio se expresa en términos de rendimiento (**Kelvin, 1848**). El rendimiento es la fracción del calor absorbido que realmente se convierte en trabajo útil.

La enseñanza práctica es clara: toda máquina térmica tiene pérdidas inevitables. No porque esté mal diseñada, sino porque así lo exige la propia naturaleza.

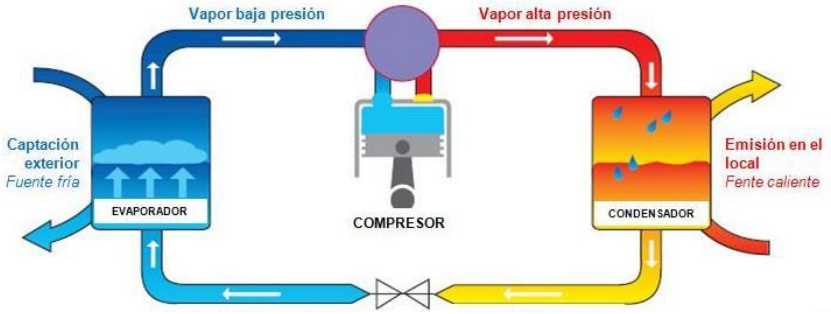
⇒ EL PAPEL DEL FOCO CALIENTE Y DEL FOCO FRÍO

La máquina térmica necesita dos focos: uno caliente del que toma energía y otro frío al que cede una parte. El foco frío no es un detalle secundario; es imprescindible para que el proceso pueda funcionar.

Eso ayuda a entender por qué motores, centrales o ciclos térmicos siempre necesitan disipar calor a un entorno más frío.

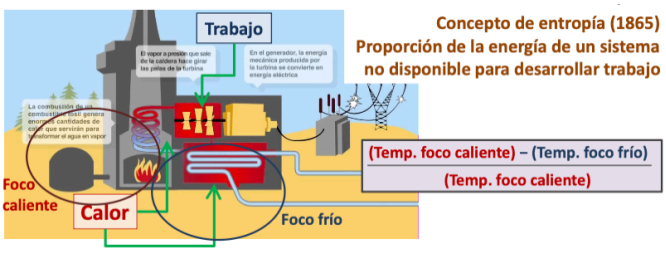
⇒ EL CALOR NO FLUYE ESPONTÁNEAMENTE DEL FRÍO AL CALIENTE

Otra formulación del segundo principio dice que el calor no pasa por sí solo de un cuerpo frío a uno caliente. Si queremos conseguir algo así, hace falta aportar trabajo externo, como ocurre en un frigorífico o en una bomba de calor.



Esta idea es muy cotidiana: enfriar una nevera requiere consumo eléctrico precisamente porque estamos forzando a que el calor salga del interior frío hacia el exterior más cálido.

⇒ ESQUEMA COMPLETO DE UNA MÁQUINA TÉRMICA



La figura resume el funcionamiento general de una máquina térmica: toma calor del foco caliente, transforma una parte en trabajo y entrega el resto al foco frío. Esa es la estructura conceptual básica de muchísimos dispositivos reales.

La gran lección del segundo principio es que el residuo térmico no se puede eliminar completamente.

⇒ NACE EL CONCEPTO DE ENTROPÍA (Entropía es la magnitud física que mide el grado de desorden o caos molecular de un sistema. También representa la cantidad de energía en un sistema que no puede utilizarse para realizar un trabajo útil)



Clausius (1850) introdujo la entropía como una magnitud relacionada con la parte de la energía que no está disponible para realizar trabajo útil. Aunque su definición exacta es más técnica, para empezar, podemos verla como una medida del grado de dispersión o de degradación de la energía.

Cuando la entropía aumenta, la energía tiende a quedar más repartida y menos aprovechable desde el punto de vista práctico.

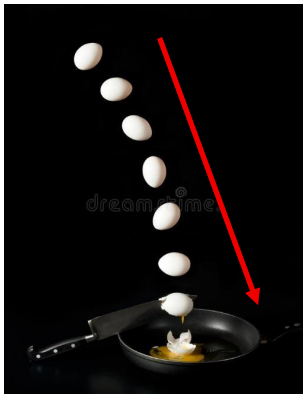
⇒ BOLTZMANN Y LA INTERPRETACIÓN ESTADÍSTICA



Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906) dio a la entropía una interpretación probabilística. Un estado muy ordenado es posible, pero poco probable; un estado más desordenado puede alcanzarse de muchísimas más maneras y, por eso, resulta mucho más probable.

La diapositiva sugiere que los procesos naturales evolucionan hacia estados más probables. Ese es el fondo estadístico de la llamada flecha del tiempo.

⇒ LA FLECHA DEL TIEMPO Y EL AUMENTO DE ENTROPÍA Y ESTADOS PROBABLES



Aquí se refuerza la idea de que el paso del tiempo tiene una dirección física observable en muchos procesos irreversibles. Vemos romperse un vaso o difundirse un perfume, pero no observamos espontáneamente el proceso contrario.

Eso se interpreta diciendo que la entropía tiende a aumentar: los estados más desordenados y probables aparecen de forma natural.

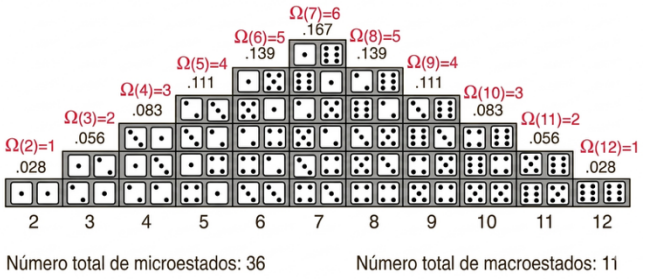
Cuanto mayor es el número de formas microscópicas compatibles con un estado macroscópico, mayor es su entropía.

Dicho de una manera sencilla, la naturaleza "prefiere" lo que puede ocurrir de muchísimas maneras frente a lo que solo puede ocurrir de unas pocas.

⇒ EL DESORDEN APARENTE NO ES SOLO UNA IMPRESIÓN

En termodinámica y física estadística, hablar de desorden no es una simple metáfora. Se refiere a la cantidad de configuraciones microscópicas posibles.

Por eso una distribución más mezclada o dispersa suele corresponder a mayor entropía y probabilidad.





⇒ BOLTZMANN COMO FIGURA CLAVE DE LA TERMODINÁMICA MODERNA

La presencia del monumento a **Boltzmann** subraya la importancia histórica de su aportación. Su famosa relación entre entropía y número de microestados permitió conectar la termodinámica con el comportamiento estadístico de átomos y moléculas.

Gracias a ello, la entropía dejó de ser una idea abstracta para convertirse en una magnitud con interpretación física profunda.

⇒ LA ENTROPÍA DEBE AUMENTAR EN ALGUNA PARTE

Tengamos presente este principio: **si localmente parece que aumentamos el orden, eso suele hacerse a costa de aumentar más la entropía en otro sitio.**

Por ejemplo, un frigorífico genera orden térmico en su interior, pero expulsa más entropía al ambiente exterior.

⇒ FORMULACIÓN GLOBAL DEL SEGUNDO PRINCIPIO

Aquí se condensa la idea en una frase clara: la entropía del universo aumenta en cualquier proceso natural. Dicho de otro modo, los procesos reales son irreversibles.

Es una afirmación muy poderosa porque no se refiere solo a máquinas térmicas, sino a la dirección general de todos los procesos espontáneos.

⇒ EL RENDIMIENTO SIEMPRE QUEDA POR DEBAJO DEL LÍMITE IDEAL

Se retoma la máquina térmica para recordar que existe un límite máximo de rendimiento. Ese límite depende de las temperaturas del foco caliente y del foco frío.

Cuanto más grande sea la diferencia entre ambas temperaturas, mayor puede ser el rendimiento. Pero nunca llega a ser total.

⇒ PARA LLEGAR AL 100 %, EL FOCO FRÍO TENDRÍA QUE ESTAR A CERO ABSOLUTO

Ahora se hace explícita una consecuencia importante de la fórmula del rendimiento máximo: solo sería del 100 % si la temperatura del foco frío fuese cero absoluto.

Como eso no puede alcanzarse en la práctica, el rendimiento perfecto queda fuera de las posibilidades reales.

⇒ PASO DEL SEGUNDO AL TERCER PRINCIPIO

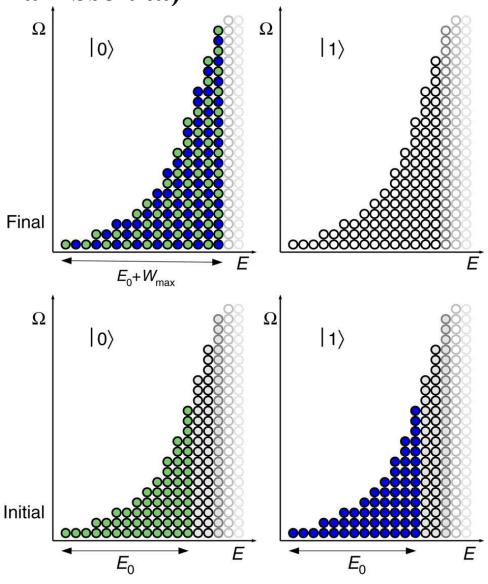
Ahora se enlaza de forma natural con el tercer principio. Si el rendimiento total exigiría un foco frío a cero absoluto, entonces entender ese límite extremo de temperatura se vuelve esencial.

La idea de "no puedes salir del juego" resume precisamente que hay un límite físico al que podemos acercarnos, pero no llegar en un número finito de pasos.

⇒ KELVIN Y EL TERCER PRINCIPIO (Temperatura Absoluta)

La escala Kelvin es la escala absoluta de temperatura. En ella, el cero no es una temperatura "muy baja" sin más, sino el límite inferior ideal asociado a la mínima agitación térmica posible.

El tercer principio afirma que el cero absoluto es inalcanzable mediante un número finito de procesos. Los gráficos sugieren justamente esa dificultad creciente a medida que uno intenta aproximarse a ese límite.



⇒ LAS TRES FORMAS PRINCIPALES DE INTERCAMBIO DE CALOR

Aquí se presentan de manera conjunta los tres mecanismos básicos de transferencia de calor: **conducción**, **convección** y **radiación**. Toda la parte final del tema se apoya en esta clasificación.

La idea general es sencilla: el calor puede transmitirse por contacto directo, mediante movimiento de un fluido o a través de ondas electromagnéticas.

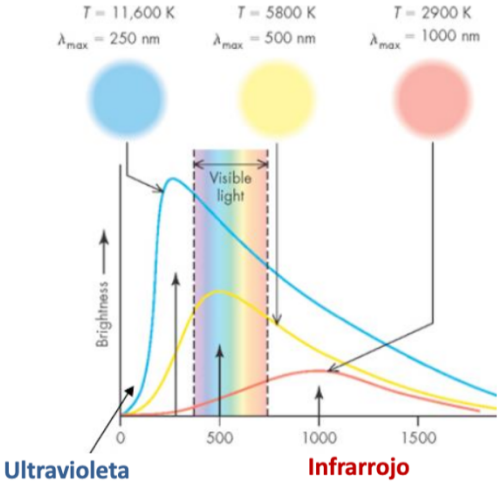
⇒ CONDUCCIÓN, CONVECCIÓN Y RADIACIÓN EXPLICADAS CON EJEMPLOS

La conducción implica contacto material: por ejemplo, una cuchara metálica que se calienta. La convección requiere un fluido que transporte calor al moverse, como el aire caliente que asciende o el agua que circula en una olla.

La radiación, en cambio, no necesita contacto ni un medio material entre emisor y receptor. Por eso la energía del Sol puede llegar hasta la Tierra atravesando el vacío.



⇒ RADIACIÓN TÉRMICA



La radiación térmica es una emisión de ondas electromagnéticas asociada a la temperatura de los cuerpos. Cualquier cuerpo caliente emite radiación, aunque no siempre la veamos con nuestros ojos.

Si la temperatura no es muy alta, buena parte de esa emisión está en el infrarrojo. Cuando aumenta mucho, el espectro se desplaza y puede hacerse visible.

Está relacionada la temperatura con el tipo de radiación emitida. Un cuerpo más caliente emite más energía total y además desplaza el máximo de emisión hacia longitudes de onda más cortas.

Por eso cuerpos a distintas temperaturas pueden emitir con colores característicos diferentes.

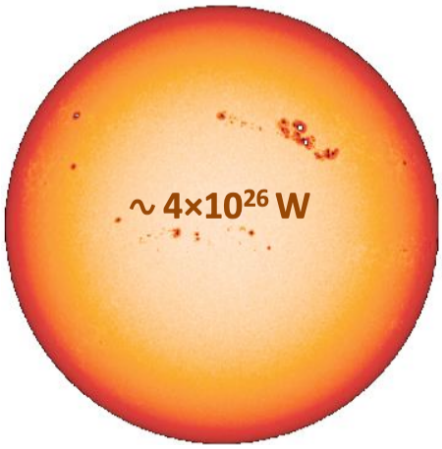
⇒ LEY DE STEFAN-BOLTZMANN Y POTENCIA RADIADA

Esta ley establece que la potencia radiada por un cuerpo crece muy deprisa con la temperatura, en proporción a la cuarta potencia de la temperatura absoluta. Eso significa que pequeños aumentos de temperatura pueden producir incrementos muy grandes en la energía emitida.

Es una ley esencial para estudiar estrellas, hornos, superficies calientes y, por supuesto, el **equilibrio radiativo** de la Tierra (El **equilibrio radiativo** es el balance entre la energía que absorbe un cuerpo o sistema (como la Tierra) procedente de la radiación y la cantidad que emite de vuelta al espacio. Cuando la energía entrante iguala a la saliente, la temperatura del sistema se mantiene estable.

⇒ TIERRA INTERCAMBIA ENERGÍA CON EL ESPACIO POR RADIACIÓN

Es esta diapositiva se aplica todo lo anterior a nuestro planeta. La Tierra recibe energía del Sol en forma de radiación y solo puede devolverla al exterior también por radiación. No puede hacerlo por conducción ni por convección con el vacío del espacio.



La llamada constante solar, del orden de 1370 W/m², representa la potencia solar recibida por unidad de superficie orientada perpendicularmente a los rayos solares a la distancia de la Tierra.

→ Temperatura de Equilibrio Radiativo

Si se hace un cálculo ideal muy simplificado, equilibrando la energía radiada al espacio con la energía solar absorbida, se obtiene una temperatura media de equilibrio radiativo cercana a -15 ºC.

Ese valor es mucho menor que la temperatura media real de la superficie terrestre. La diferencia se debe al efecto invernadero natural de la atmósfera, que retiene parte de la radiación emitida por la Tierra y eleva la temperatura superficial. Esta diapositiva cierra muy bien el tema porque une termodinámica, radiación y clima.

Tema 3: TERMODINÁMICA DE LA ATMÓSFERA

Introducción

En este tema vamos a estudiar la atmósfera desde el punto de vista de la Física Aplicada.

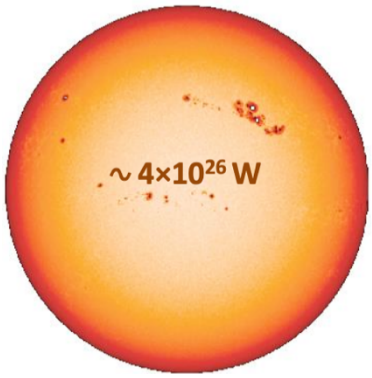
La idea de fondo es muy importante: la atmósfera no se entiende solo describiendo nubes o vientos, sino analizando energía, presión, temperatura, radiación y estabilidad.

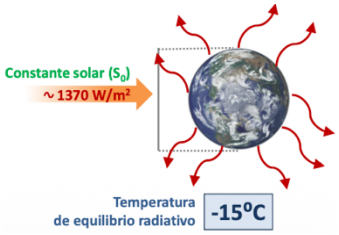
El esquema general de lo que vamos a tratar es: termodinámica de la atmósfera, estructura vertical, estabilidad atmosférica, fenómenos convectivos y cambios de fase relacionados con nubes y precipitación.

Esto es una cadena lógica. Primero veremos el equilibrio energético, después la estructura de la atmósfera y, finalmente, los fenómenos meteorológicos que nacen de todo ello.

⇒ EQUILIBRIO RADIATIVO DE LA TIERRA

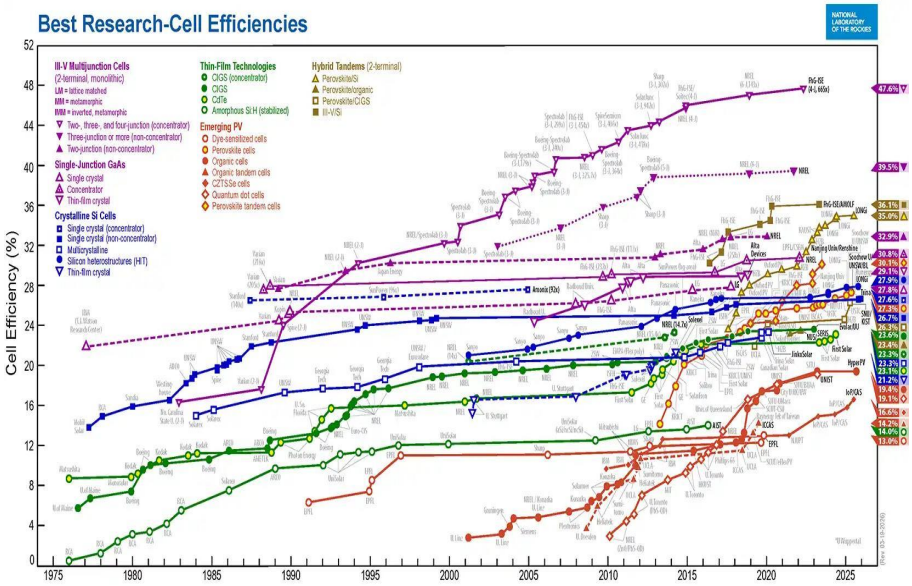
Se comienza retomando una idea ya vista en el tema anterior: la Tierra solo puede intercambiar energía con el espacio mediante radiación. Recibe energía del Sol y la devuelve al espacio en forma de radiación infrarroja.





El valor de unos 1370 W/m² corresponde a la constante solar, y el cálculo ideal lleva a una temperatura de equilibrio radiativo cercana a -15 ºC. Ese número es fundamental porque permite entender después por qué la temperatura real de la superficie terrestre es bastante mayor.

⇒ EFICIENCIA DE CELDAS SOLARES EN LABORATORIO



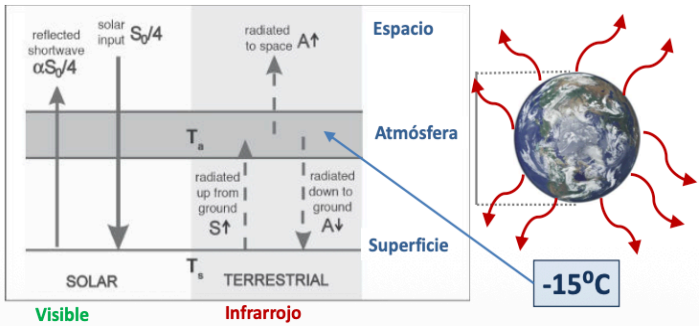
Esta diapositiva sirve para recordar que la radiación solar es una fuente de energía medible y aprovechable técnicamente. Las celdas solares convierten una parte de esa radiación en electricidad, pero nunca es toda.

La palabra eficiencia vuelve a conectar con la termodinámica: incluso en sistemas muy distintos, la Física nos obliga siempre a pensar en límites de aprovechamiento energético.

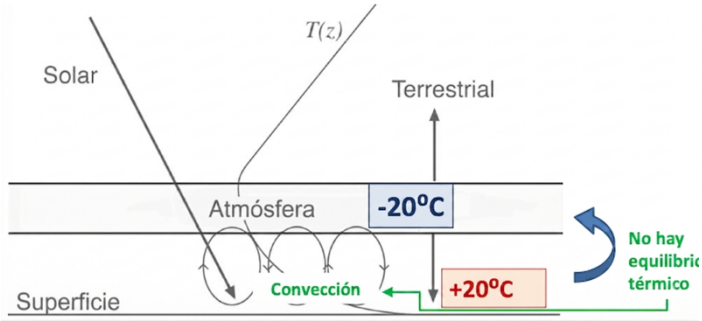
⇒ QUÉ HACE EL EFECTO INVERNADERO

Aquí se introduce el papel de la atmósfera como reguladora térmica. El efecto invernadero mantiene la temperatura en la superficie de la Tierra por encima de la que correspondería al equilibrio radiativo simple.

La clave es que la atmósfera deja pasar gran parte de la radiación solar visible, pero absorbe y reemite parte del infrarrojo emitido por la superficie. Gracias a eso, la Tierra no queda congelada en torno a -15 ºC.



⇒ DE -15 ºC A +15 ºC: EL PAPEL DE LA ATMÓSFERA



La comparación entre -15 ºC y +15 ºC resume visualmente la importancia del efecto invernadero natural. Sin atmósfera **radiativamente activa**, la temperatura media terrestre sería muchísimo más baja.

La imagen también recuerda que no hay equilibrio térmico simple entre superficie y atmósfera, porque además de radiación interviene con fuerza la **convección**.

⇒ COMPOSICIÓN GENERAL DE LA ATMÓSFERA

Comenzamos el estudio más directo de la atmósfera terrestre. La composición atmosférica es importante porque determina propiedades tan distintas como la absorción **radiativa**, la **capacidad térmica**, la **densidad** y la **química del aire**.

Composición atmosférica

Especies químicas	Peso molecular (g mol^{-1})	Proporción por volumen	Especies químicas	Peso molecular	Proporción por volumen
N_2	28,01	78%	O_3	48,00	~500 ppb
O_2	32,00	21%	N_2O	44,01	310 ppb
Ar	39,95	0,93%	CO	28,01	120 ppb
H_2O (vapor)	18,02	~0,5%	NH_3	17,03	~100 ppb
CO_2	44,01	380 ppm	NO_2	46,00	~1 ppb
Ne	20,18	19 ppm	CCl_2F_2	120,91	480 ppt
He	4,00	5,2 ppm	CCl_3F	137,37	280 ppt
CH_4	16,04	1,7 ppm	SO_2	64,06	~200 ppt
Kr	83,8	1,1 ppm	H_2S	34,08	~200 ppt
H_2	2,02	~500 ppb	AIRE	28,97	

No todos los gases tienen la misma relevancia: algunos son mayoritarios, otros aparecen en cantidades pequeñas, pero con efectos físicos o químicos muy importantes.

Los componentes principales del aire son: nitrógeno y oxígeno, unido a otros gases menos abundantes, pero climáticamente muy relevantes, como CO2, CH4, N2O u ozono.

La lección importante es que la importancia de un gas no depende solo de su porcentaje. Algunos gases minoritarios tienen un papel enorme en el efecto invernadero, en la contaminación o en la química atmosférica.

⇒ LA ATMÓSFERA VISTA DESDE LA ESTACIÓN ESPACIAL



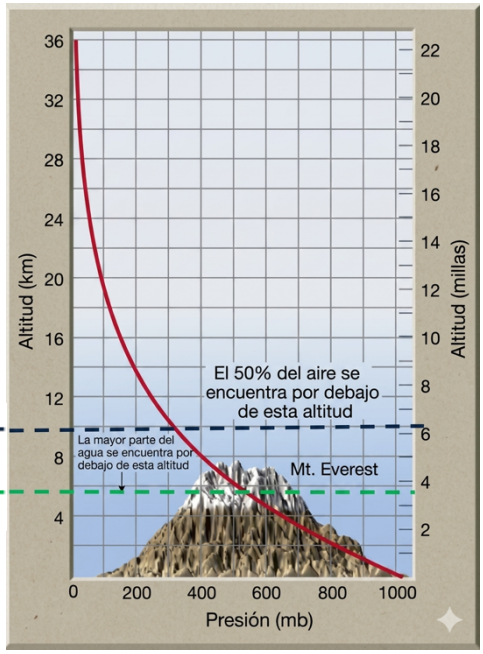
Esta imagen desde la Estación Espacial Internacional ayuda a percibir algo que desde la superficie olvidamos: la atmósfera es una envoltura muy fina comparada con el tamaño de la Tierra.

Desde el espacio se entiende mejor que la zona habitable donde se desarrollan nubes, vientos y vida es una capa delgada y frágil.

⇒ PRESIÓN, DENSIDAD Y ALTURA DE ESCALA

Aquí vemos resumida una propiedad esencial: la presión y la densidad del aire disminuyen muy rápidamente con la altura. La llamada altura de escala, del orden de 10 km, da una idea de ese ritmo de disminución.

La dependencia con temperatura y gravedad muestra que la atmósfera no es una simple columna estática. Su estructura vertical responde al equilibrio entre agitación térmica y peso del aire.

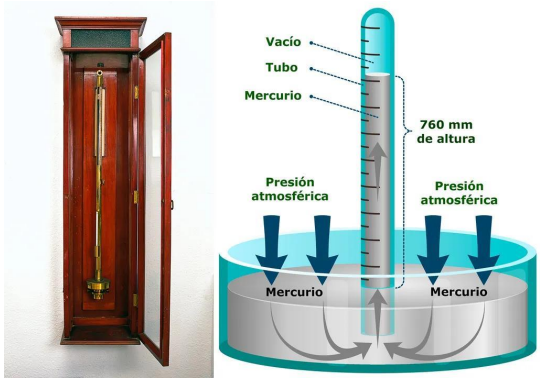


Presión Atmosférica

⇒ EVANGELISTA TORRICELLI Y BLAISE PASCAL

Estas son dos figuras fundamentales en la historia de la presión atmosférica. **Torricelli (1608-1647)** demostró que el aire ejerce presión y lo hizo visible mediante el barómetro de mercurio; **Pascal (1623-1662)** extendió esas ideas y las aplicó a la atmósfera real.

La importancia histórica es enorme: a partir de ellos el aire dejó de ser visto como 'vacío ligero' y pasó a entenderse como un fluido con peso y presión.



⇒ APOYO VISUAL SOBRE EL BARÓMETRO

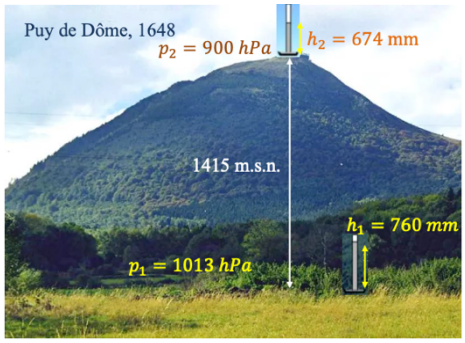
Esta diapositiva sirve como apoyo visual para fijar el funcionamiento del barómetro. La columna de mercurio se mantiene porque la presión atmosférica empuja sobre la cubeta.

No es el mercurio el que 'sube porque sí', sino el aire exterior el que sostiene la columna.

⇒ EL EXPERIMENTO DEL PUY DE DÔME

La experiencia del volcán francés ***Puy de Dôme*** fue decisiva para comprobar que existe relación entre altura y presión en la atmósfera, por lo que la presión atmosférica disminuye con la altura. **Pascal** propuso el experimento y su cuñado **Florin Perier (1605-1672)** lo llevó a cabo comparando la altura de la columna de mercurio en distintos niveles.

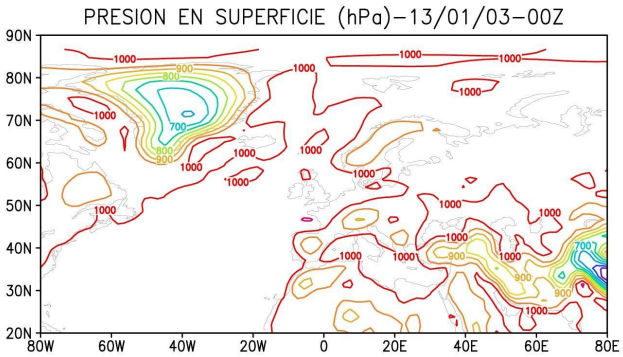
La conclusión fue clara: cuanto más arriba estamos, menos aire queda por encima y menor es la presión.



Aquí se dan los valores concretos del experimento. Al subir hasta 1415 m, la altura de la columna de mercurio baja y la presión pasa aproximadamente de 1013 **hPa** a 900 **hPa** (abreviatura de **hectopascal**, unidad de presión del Sistema Internacional de Unidades, que equivale a 100 pascales (100 **Pa**) y es numéricamente igual a un milibar (**mb**)).

Eso convierte una intuición en una medida física. La presión atmosférica no es constante, sino que varía con la altitud.

⇒ TRANSICIÓN HACIA LA CARTOGRAFÍA DE PRESIÓN



Esta imagen sirve de puente entre los experimentos históricos y la interpretación meteorológica moderna de la presión atmosférica.

Su función didáctica es preparar el paso desde la física básica del aire hacia los mapas atmosféricos.

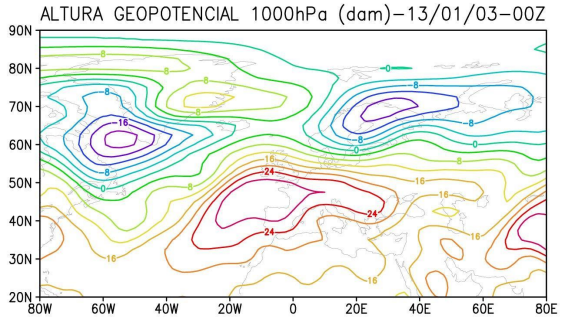
Esto nos ayuda a segmentar el tema y a marcar el paso desde el experimento clásico a la representación espacial de la presión.

Estas pausas son útiles porque vamos a cambiar la escala: del laboratorio al mapa.

⇒ SUPERFICIE ISOBÁRICA DE 1000 HPA

En lugar de representar presión sobre una altura fija, esta diapositiva representa la altura que alcanza la superficie donde la presión vale 1000 hPa en cada lugar.

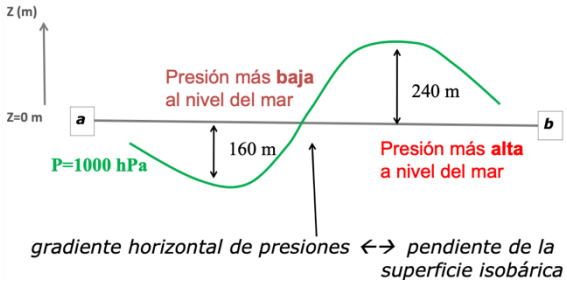
Eso ayuda a entender que una misma presión no aparece siempre a la misma altitud. La altura de una superficie isobárica puede ondularse según cambie el estado de la atmósfera.



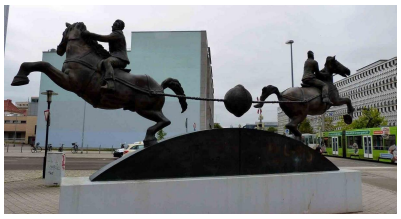
⇒ GRADIENTE HORIZONTAL DE PRESIÓN Y PENDIENTE ISOBÁRICA

La comparación entre presión al nivel del mar y altura de la superficie isobárica muestra una correspondencia muy importante: donde la presión al nivel del mar es mayor, la superficie isobárica está más alta; donde la presión es menor, está más baja.

De ahí surge el gradiente horizontal de presión, que es uno de los motores fundamentales del viento.



⇒ BOMBA DE VACÍO Y HEMISFERIOS DE MAGDEBURGO



Los experimentos de **Boyle**, **Hooke** y **Otto von Guericke** muestran la enorme fuerza asociada a la presión del aire. Cuando se extrae el aire del interior, la presión exterior mantiene fuertemente unidos los hemisferios.

El objetivo didáctico es que la presión atmosférica no se vea como un número abstracto, sino como una acción física real capaz de ejercer fuerzas muy grandes.



Bomba de vacío de Hooke – Boyle (~1650)

Recreación 1 - https://youtu.be/N-8UItPqXjI
Recreación 2 - https://youtu.be/CQFdS2SSjPY

Presión en Fluidos

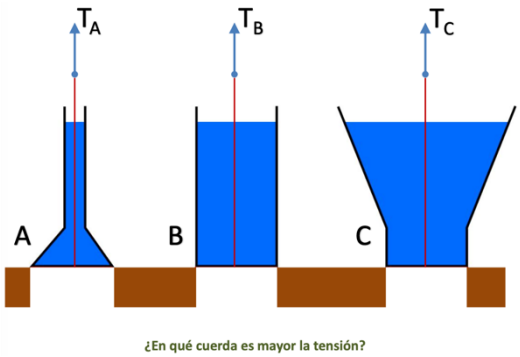
⇒ EL VASO DE PASCAL

El vaso de Pascal muestra cómo la presión en un fluido depende de la altura de la columna y no del volumen total de líquido. Una columna muy alta, aunque contenga poca agua, puede ejercer gran presión en el fondo.

Es una idea contraintuitiva, pero esencial para entender muchos fenómenos hidrostáticos.



⇒ TENSIÓN EN CUERDAS Y TRANSMISIÓN DE FUERZAS



¿En qué cuerda es mayor la tensión?

La pregunta sobre qué cuerda soporta mayor tensión obliga a pensar cómo se transmiten las fuerzas en equilibrio. Esto ayuda a relacionar mecánica y fluidos mediante el análisis de fuerzas.

De esta manera entrenamos una forma de pensar muy útil en Física: no quedarse con la intuición visual, sino analizar el sistema.

Y ahora vamos a ver cuál es la respuesta.

Primero debemos analizar las fuerzas que actúan sobre el fondo de cada recipiente (el tapón o la base conectada a la cuerda).

La respuesta correcta es: **La tensión es igual en las tres cuerdas** $(T_A = T_B = T_C)$

Veamos por qué paso a paso de forma sencilla, basándonos en la paradoja hidrostática.

→ **El Análisis de Fuerzas**

Cada cuerda sostiene una pequeña placa o tapón que cierra el fondo del recipiente. Para que ese fondo no se caiga ni se mueva, la tensión de la cuerda **(T)** debe equilibrar exactamente la fuerza que el líquido ejerce hacia abajo sobre esa base.

La fórmula de la fuerza debida a la presión del fluido en el fondo es: **Fuerza = Presión X Área de la base.**

Si observamos detalladamente la imagen, podemos notar tres condiciones clave:

1. **La altura del líquido (h) es la misma:** El nivel del agua alcanza exactamente la misma altura en los tres recipientes (A, B y C).
2. **El área de la base (A) es la misma:** Los tres orificios del fondo (las zonas blancas entre los bloques marrones) tienen exactamente el mismo diámetro o anchura.
3. **El líquido es el mismo:** Por lo tanto, la densidad (p) no cambia.

→ **La Paradoja Hidrostática (Principio de Stevin)**

La presión en el fondo de un recipiente lleno de líquido no depende de la forma del recipiente ni de la cantidad total de agua que contenga. Depende únicamente de la profundidad, según la ecuación: $P = p \cdot g \cdot h$

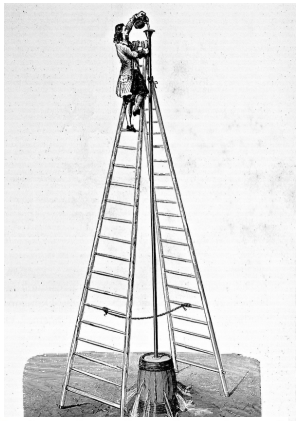
- Como la densidad (p) la gravedad (g) y la altura (h) son idénticas en A, B y C, **la presión en la base es exactamente igual en los tres casos**.
- Como las áreas de las bases son iguales, la fuerza descendente que ejerce el agua sobre el tapón es la misma: Fuerza = P x A.

→ **Conclusión**

Como la fuerza que empuja hacia abajo en la base es idéntica en los tres escenarios, las cuerdas tienen que hacer exactamente la misma fuerza hacia arriba para sostenerla. Por lo tanto:

$T_A = T_b = T_C$

Aunque el recipiente **C** contiene visiblemente mucha más cantidad de agua en total, el "exceso" de peso del líquido lateral está sostenido por las paredes inclinadas del propio recipiente, no por el tapón del fondo.



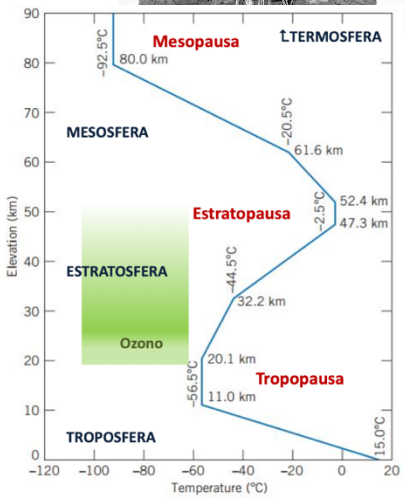
⇒ PASCAL COMO REFERENCIA DE LA PRESIÓN

Blaise Pascal nos recuerda que su nombre da unidad a la presión en el Sistema Internacional. Fue él quien nos ayudó a comprender mejor tanto la atmósfera como la presión en fluidos.

El famoso barril de Pascal demuestra que una columna alta y estrecha puede generar suficiente presión como para romper un recipiente. De nuevo se refuerza la idea de que la presión depende de la altura de la columna fluida.

Es un ejemplo excelente para desmontar intuiciones engañosas sobre cantidad total de agua y fuerza ejercida.

https://www.youtube.com/watch?v=EJHrr21UvY8

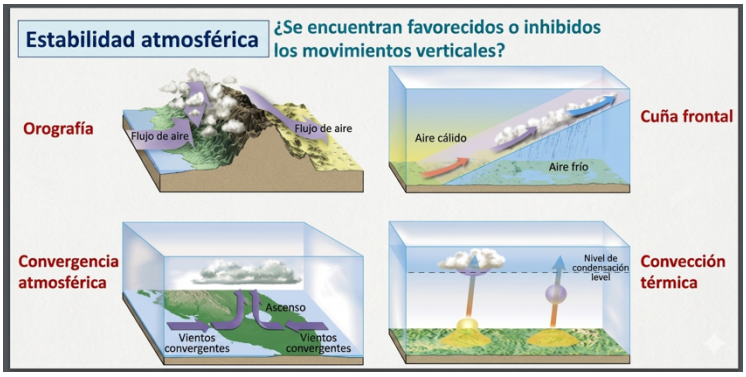


⇒ CAPAS TÉRMICAS DE LA ATMÓSFERA

En esta diapositiva se nos presenta la estructura térmica vertical de la atmósfera estándar: **troposfera**, **estratosfera**, **mesosfera** y **termosfera**, separadas por pausas como **tropopausa**, estratopausa y **mesopausa**.

La clave es que la temperatura no cambia siempre en el mismo sentido con la altura. En unas capas disminuye, en otras aumenta, y eso tiene enormes consecuencias para la estabilidad y la circulación.

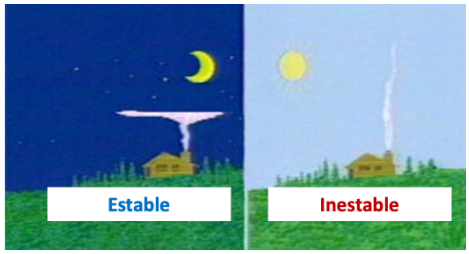
⇒ QUÉ FAVORECE LOS MOVIMIENTOS VERTICALES



Aquí se enumeran los mecanismos que pueden forzar ascensos de aire: la **orografía**, la **convergencia atmosférica**, la **convección térmica** o las **cuñas frontales**.

La idea de fondo es que la atmósfera no está quieta. Los movimientos verticales son decisivos para la formación de nubes, tormentas y precipitaciones.

⇒ ATMÓSFERA ESTABLE O INESTABLE



La estabilidad atmosférica indica si un desplazamiento vertical tenderá a frenarse o a amplificarse. Si una burbuja de aire desplazada vuelve a su posición, hablamos de situación estable; si sigue ascendiendo o descendiendo, la atmósfera es inestable.

Este concepto es uno de los más importantes de la meteorología física.

⇒ EJEMPLO DE SITUACIÓN ESTABLE

Aquí se visualiza una situación estable: el aire desplazado verticalmente tiende a regresar o necesita ayuda externa para seguir moviéndose. Esto suele frenar la convección y dificulta el desarrollo de nubosidad vertical.



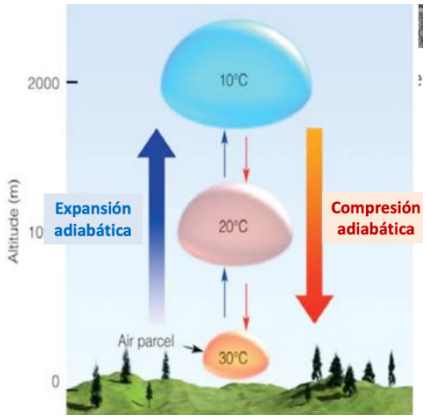
⇒ EJEMPLO DE SITUACIÓN INESTABLE

Aquí se muestra lo contrario: una vez iniciada la subida, la burbuja sigue elevándose por sí misma porque queda más ligera que el ambiente.

Ese tipo de atmósfera favorece la convección y el desarrollo de nubes potentes.



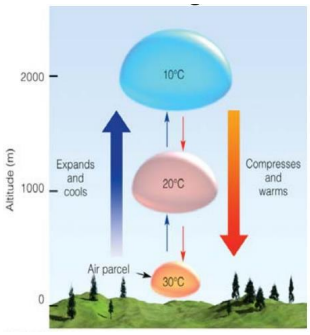
⇒ COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN ADIABÁTICA



Cuando una burbuja de aire asciende, se expande porque encuentra menor presión; cuando desciende, se comprime. Si el proceso es adiabático, esos cambios ocurren sin intercambio de calor con el entorno.

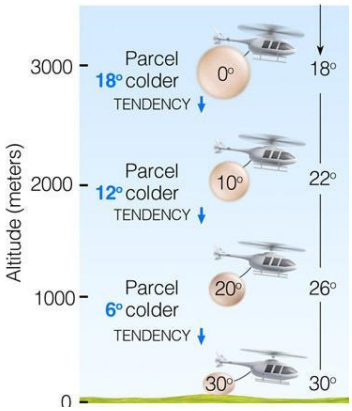
Por eso una subida suele enfriar el aire y un descenso suele calentarlo.

⇒ GRADIENTE ADIABÁTICO SECO



Aquí aparece el gradiente adiabático seco, aproximadamente 10 ºC por kilómetro. Este valor indica cuánto cambia la temperatura de una burbuja no saturada cuando asciende o desciende adiabáticamente.

El tema recuerda además que el cambio depende de la gravedad y de la capacidad calorífica del aire.



⇒ COMPARACIÓN CON EL GRADIENTE AMBIENTAL

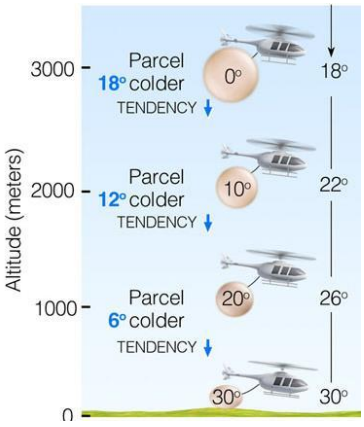
La estabilidad real depende de comparar el gradiente adiabático seco con el gradiente ambiental, es decir, con la manera cómo cambia la temperatura del aire que rodea a la burbuja.

En esta diapositiva se plantea un caso donde el gradiente ambiental es menor, lo que apunta hacia estabilidad.

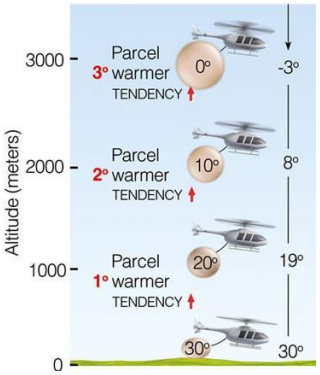
⇒ CUANDO LA BURBUJA QUEDA MÁS FRÍA QUE EL AMBIENTE

Si al ascender la burbuja se enfría más que el aire que la rodea, entonces resulta más densa y tiende a dejar de subir. Esa es la situación estable.

La consecuencia meteorológica es clara: la convección espontánea se inhibe.



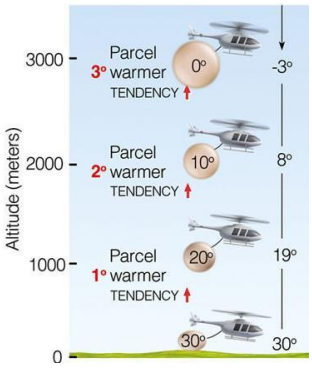
⇒ CUANDO LA BURBUJA QUEDA MÁS CALIENTE QUE EL AMBIENTE



Si el gradiente ambiental es muy fuerte, la burbuja en ascenso puede quedar más caliente y menos densa que el entorno. Entonces sigue subiendo libremente.

Eso describe una situación favorable a la convección.

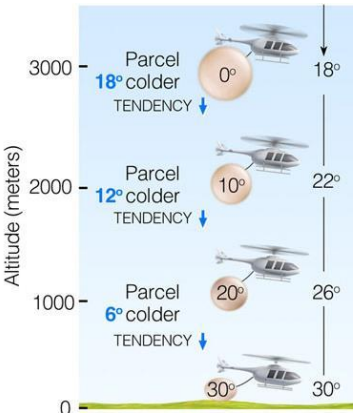
⇒ INESTABILIDAD ABSOLUTA Y GRADIENTE SUPERADIABÁTICO



Aquí se identifica el caso extremo de inestabilidad absoluta. El gradiente ambiental es tan fuerte que cualquier burbuja ascendente sigue elevándose por sí sola.

Es una situación muy importante para entender tormentas y fenómenos convectivos intensos.

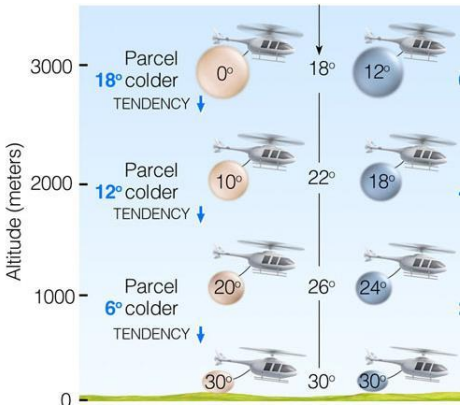
⇒ REFUERZO DEL CASO ESTABLE



Se vuelve a representar el caso estable para fijar bien la comparación. La repetición es útil porque este tema se entiende sobre todo comparando perfiles térmicos.

De nuevo, la idea esencial es que la burbuja queda más fría y densa que el aire que la rodea.

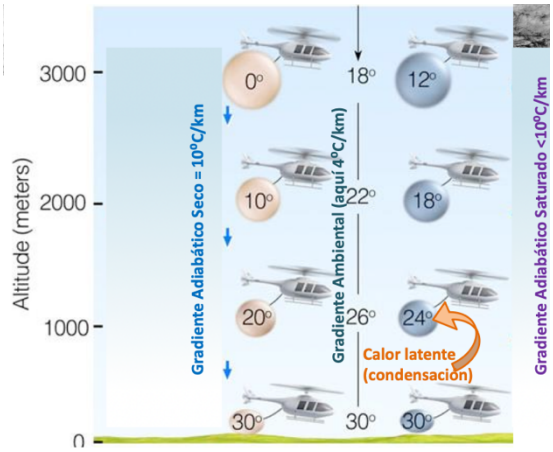
⇒ APARICIÓN DEL GRADIENTE ADIABÁTICO SATURADO



Aquí entra en juego el gradiente adiabático saturado, que es menor que el seco. La razón es que cuando el vapor de agua condensa, libera calor latente.

Eso hace que el aire saturado se enfríe más lentamente al ascender que el aire seco.

⇒ CALOR LATENTE Y CONDENSACIÓN



La liberación de calor latente durante la condensación es una pieza clave en meteorología. No solo permite formar nubes, sino que modifica la flotabilidad de las masas de aire.

Por eso el aire húmedo y saturado puede comportarse de forma muy distinta al aire seco.

⇒ NUBES LENTICULARES: EJEMPLO VISUAL



Las nubes lenticulares son un ejemplo espectacular de cómo el relieve y la estabilidad atmosférica producen formas de nube muy características.

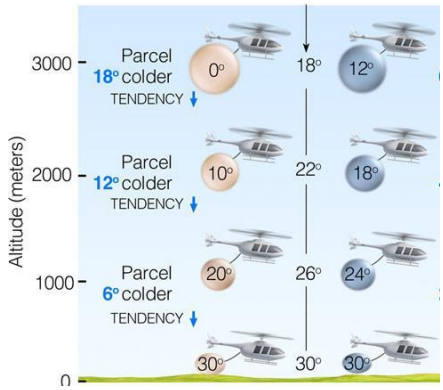
Suelen asociarse a ondas de montaña y a una atmósfera estratificada y relativamente estable.

https://www.youtube.com/watch?v=R-vwt0XmNyQ



Esta video refuerza el ejemplo anterior. Ayuda a recordar que la atmósfera, aunque sea invisible, puede organizar el vapor de agua siguiendo estructuras ondulatorias muy ordenadas.
La nube revela el movimiento del aire, no al revés.

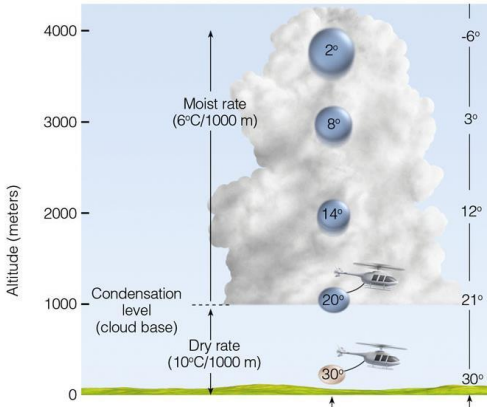
Todo ello, es un buen ejemplo de cómo la observación de las nubes permite inferir procesos dinámicos invisibles.



⇒ RESUMEN DEL PAPEL DEL CALOR LATENTE

Con esta diapositiva se vuelve al esquema donde aparece el gradiente adiabático saturado y la liberación de calor latente. El tema quiere subrayar que este detalle es decisivo para la convección húmeda.

Sin el calor latente de condensación, muchas nubes no crecerían tanto ni se desarrollarían del mismo modo.



⇒ NIVEL DE CONDENSACIÓN Y BASE DE LA NUBE

La base de la nube coincide aproximadamente con el nivel donde la burbuja ascendente alcanza la saturación. A partir de ahí empieza a condensar vapor de agua.

Este punto es fundamental porque conecta el ascenso del aire con la aparición visible de nubosidad.

⇒ TRANSICIÓN HACIA LA TROPOPAUSA COMO TAPADERA



Esta diapositiva marca el paso desde los gradientes y la flotabilidad local hacia la estructura vertical global que limita esos ascensos.

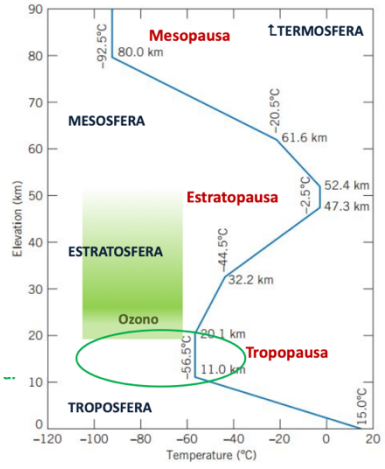
Nos está preparando para entender por qué muchos movimientos verticales encuentran un freno en niveles altos.

Estructura Vertical

⇒ LA TROPOPAUSA COMO ZONA MUY ESTABLE

Se recupera aquí la estructura térmica vertical para destacar una idea muy importante: la tropopausa actúa muchas veces como una tapadera para los movimientos ascendentes de la troposfera.

Eso limita el crecimiento vertical de muchas masas de aire y condiciona el desarrollo nuboso.



Fenómenos Convectivos

⇒ GOTA FRÍA O DANA

La **gota fría** es un fenómeno meteorológico (técnicamente llamado **DANA**: Depresión Aislada en Niveles Altos) que ocurre cuando una masa de aire polar muy frío se aísla a gran altitud y choca con el aire cálido y húmedo de la superficie, provocando lluvias torrenciales.

Se le denomina "gota fría" porque en los mapas meteorológicos se observa como una bolsa o "gota" rodeada de aire más templado.

→ ¿Cómo se forma?

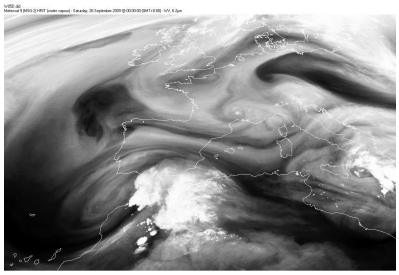
1. **La corriente en chorro:** En la atmósfera superior, la corriente de aire polar a veces describe grandes curvas. Cuando una de estas curvas se estrangula y se rompe, se separa una bolsa de aire frío que queda aislada y se desplaza lentamente.
2. **El choque térmico:** Al situarse esta bolsa helada sobre zonas donde la superficie terrestre y el mar están muy calientes (como ocurre a menudo en el Mediterráneo en otoño), se crea una inestabilidad extrema.
3. **Las lluvias:** El aire cálido de la superficie asciende rápidamente cargado de humedad, se enfría al entrar en contacto con el aire frío de arriba y forma nubes de gran desarrollo vertical que descargan lluvias torrenciales en muy poco tiempo.

→ Impacto y conceptos clave

- **DANA vs. Gota Fría:** DANA es el término científico oficial que usan los meteorólogos, mientras que "gota fría" es la expresión popularizada en España, normalmente reservada para cuando esta bolsa de aire genera desastres o precipitaciones extremas. Sin embargo, ahora a todo se le llama DANA.



- **Temporal de Levante:** Para que la gota fría sea catastrófica en el este de España, suele necesitarse que los vientos arrastren la humedad del mar Mediterráneo hacia la costa, donde al chocar con las cadenas montañosas se eleva y precipita.



- **Consecuencias:** Puede causar inundaciones repentinas, desbordamiento de ríos, granizo y vientos destructivos.

Ψ Lo importante es entender que estos casos no son rarezas aisladas: responden a configuraciones físicas concretas de la atmósfera.

⇒ EFECTO FÖHN



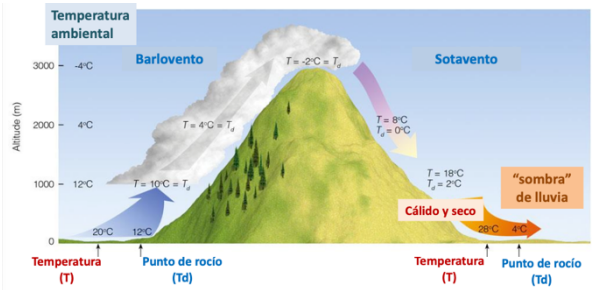
"Muro" Föhn en La Rioja alavesa

El efecto Föhn aparece como ejemplo muy importante de interacción entre relieve y termodinámica. Una masa de aire asciende por barlovento, se enfría, puede condensar y precipitar, y luego desciende por sotavento recalentándose adiabáticamente.

El resultado es un aire más cálido y seco en la vertiente de sotavento.

⇒ BARLOVENTO, SOTAVENTO Y PUNTO DE ROCÍO

La diapositiva explica el mecanismo del Föhn con más detalle. En barlovento el aire asciende, se enfría y puede alcanzar el punto de rocío; en sotavento desciende y se calienta, generando sombra de lluvia. Este esquema es muy útil porque resume de forma clara cómo relieve, humedad y temperatura se combinan.



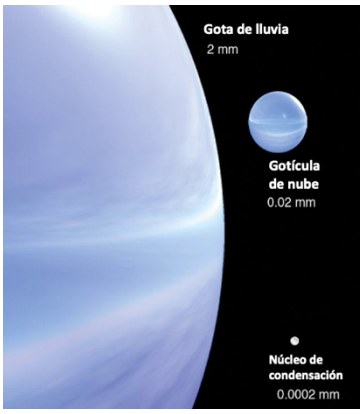
El **efecto Föhn** (conocido localmente como "viento sur") provocó el **Incendio de Santander de 1941** al arrastrar vientos huracanados y extremadamente secos que descendieron la cordillera. Este fenómeno alimentó las llamas, convirtiendo un fuego sin importancia en una catástrofe que arrasó el centro histórico de la ciudad.



- **Propagación incontrolable:** La extrema sequedad del aire y las fuertes rachas de viento (estimadas en más de 100 km/h) hicieron que las brasas saltaran de tejado en tejado, volviendo inútiles los cortafuegos naturales de la época.
- **Oxigenación del fuego:** El viento aportó oxígeno constante, haciendo que las llamas ardieran con virulencia extrema, fundiendo materiales y devorando construcciones de madera en pocos minutos.
- **Imposibilidad de sofocación:** El humo denso y la dirección cambiante del viento impidieron que los bomberos locales (y los refuerzos llegados de otras provincias) pudieran acercarse al foco principal o contener los frentes.

Este hecho se menciona como ejemplo de los efectos que puede tener aire muy seco y recalentado por descenso.

Así se ve que la termodinámica atmosférica no es una teoría abstracta: tiene consecuencias directas sobre riesgo y tiempo sensible.

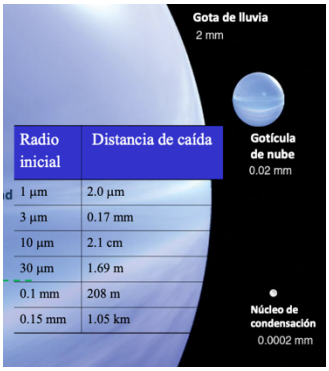


⇒ PRECIPITACIÓN - DE GOTÍCULA A GOTA DE LLUVIA

La precipitación no surge simplemente porque exista una nube. Las gotículas de nube son diminutas y, por sí solas, no siempre alcanzan tamaño suficiente para caer como lluvia.

Por eso la formación de precipitación exige procesos de crecimiento alrededor de núcleos de condensación.

⇒ TAMAÑO INICIAL Y DISTANCIA DE CAÍDA

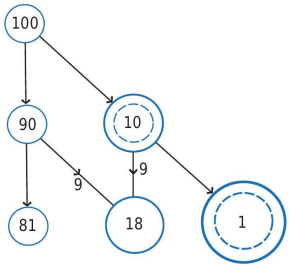


Radio inicial	Distancia de caída
1 µm	2.0 µm
3 µm	0.17 mm
10 µm	2.1 cm
30 µm	1.69 m
0.1 mm	208 m
0.15 mm	1.05 km

Esta tabla muestra algo esencial: una gotícula muy pequeña necesitaría recorrer distancias enormes para crecer solo por condensación hasta convertirse en gota de lluvia.

Eso explica por qué la simple condensación no basta, en muchos casos, para generar precipitación eficaz.

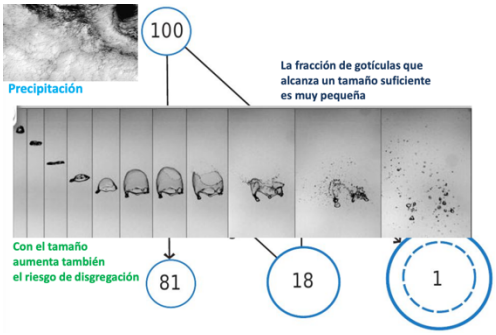
⇒ POCAS GOTÍCULAS LLEGAN A TAMAÑO SUFICIENTE



La diapositiva subraya que solo una pequeña fracción de las gotículas llega a crecer lo suficiente como para precipitar.

Es una idea importante porque evita pensar que toda nube produce lluvia de manera automática.

⇒ EL CRECIMIENTO TAMBIÉN TIENE LÍMITES



A medida que una gota aumenta de tamaño, también aumenta el riesgo de que se fragmente o disgregue. Por tanto, crecer no es un proceso ilimitado ni simple.

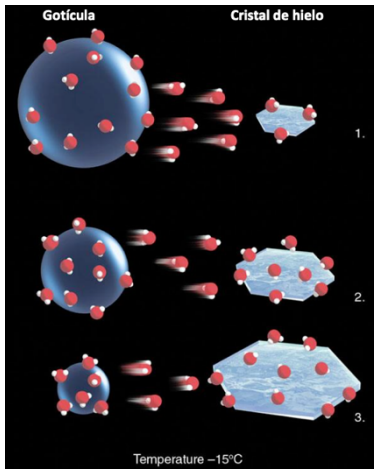
La precipitación resulta de un equilibrio delicado entre crecimiento y ruptura.

⇒

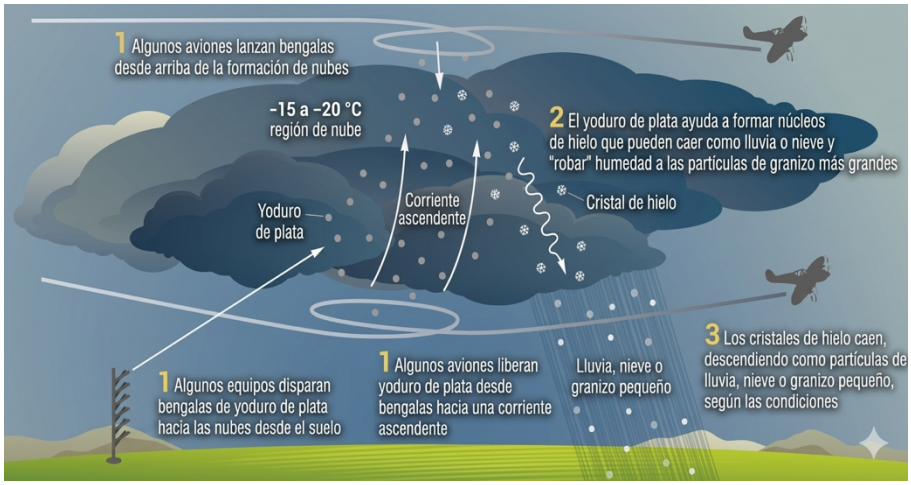
PROCESO DE BERGERON-FINDEISEN

En nubes frías, los cristales de hielo pueden crecer a costa de las gotas líquidas superenfriadas. Este mecanismo se conoce como proceso de **Bergeron-Findeisen**.

Es uno de los procesos fundamentales para explicar muchas precipitaciones en nubes mixtas o frías.

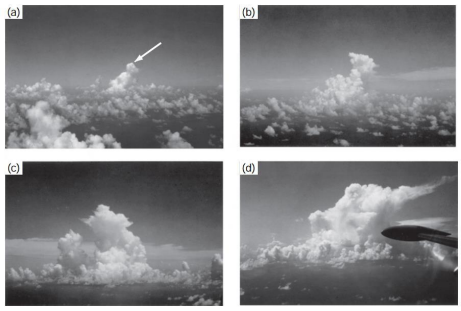


⇒ MODIFICACIONES ARTIFICIALES DE LA PRECIPITACIÓN



Aquí se entra en el terreno de la intervención humana, con ejemplos de siembra de nubes u otras técnicas.

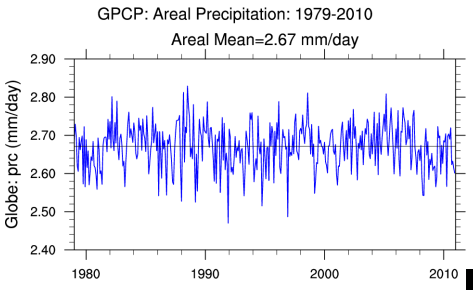
La idea general es que, aunque se ha intentado modificar la precipitación artificialmente, los resultados no siempre son claros ni simples.



Estas son imágenes o casos concretos. Sirve para recordar que la atmósfera es un sistema complejo y que actuar sobre ella no garantiza respuestas sencillas.

⇒ DISTRIBUCIÓN GLOBAL DE LA PRECIPITACIÓN

Se muestra aquí el reparto espacial de la precipitación media sobre la Tierra.



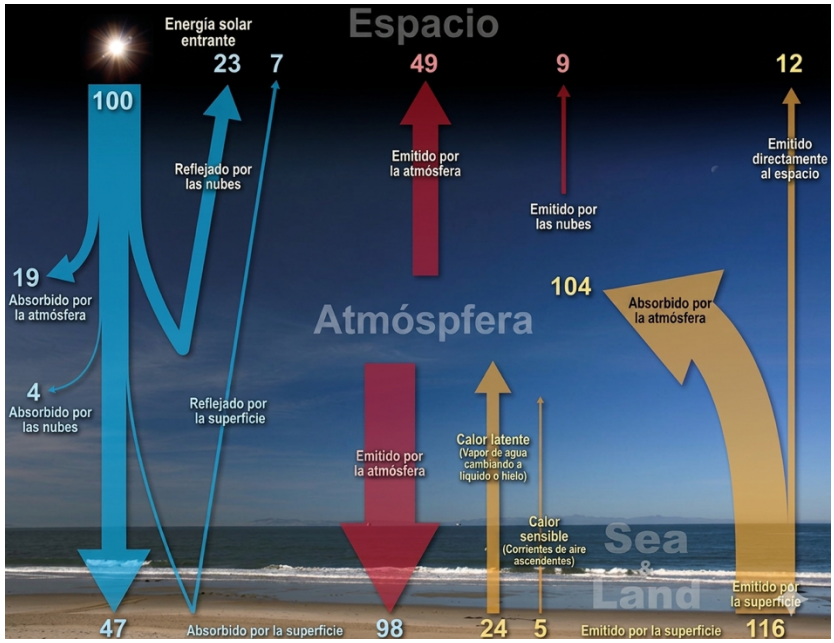
No llueve igual en todos los lugares, y las diferencias responden a circulación general, relieve, océanos y temperatura.

El mapa introduce una visión climática global que amplía lo estudiado antes a escala local o de nube.

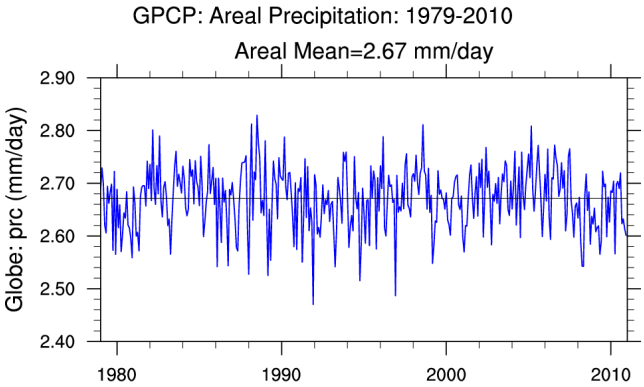
⇒ BALANCE RADIATIVO-CONVECTIVO ENTRE ATMÓSFERA Y SUPERFICIE

Esta diapositiva resume que la atmósfera y la superficie intercambian energía tanto por radiación como por convección.

Es una idea de síntesis muy importante: el clima terrestre depende del balance entre entrada solar, emisión infrarroja y transporte vertical y horizontal de energía.



⇒ PRECIPITACIÓN Y CONVERGENCIA INTERTROPICAL



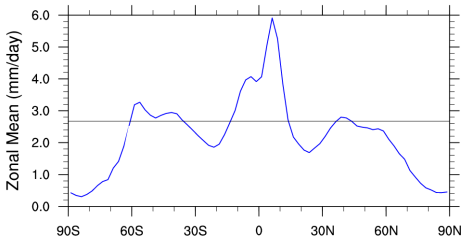
El mapa de precipitación se relaciona aquí con la zona de convergencia intertropical, una franja donde convergen los alisios, asciende aire húmedo y se produce abundante nubosidad y lluvia.

Esa banda explica por qué ciertas regiones ecuatoriales son especialmente lluviosas.

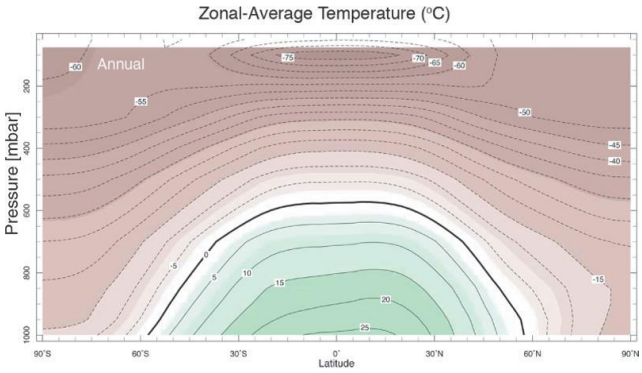
⇒ RADIACIÓN NETA Y CINTURÓN INTERTROPICAL

La radiación neta no es igual en todas las latitudes. El exceso energético tropical y el déficit en latitudes altas impulsan el transporte de calor mediante atmósfera y océanos.

Esta diapositiva conecta energía y circulación general del planeta.



⇒ TEMPERATURA MEDIA SEGÚN LATITUD Y ALTURA



Aquí se representa cómo varía la temperatura media con la latitud y con la altura. Es un resumen excelente de la estructura térmica global de la atmósfera.

Permite ver simultáneamente zonas de fuerte contraste térmico y regiones más uniformes.

Esa oposición entre zonas de relativa uniformidad y zonas de fuerte contraste térmico son motores de circulación, inestabilidad y organización climática.

Y con esto, el tema termina uniendo todo lo estudiado: **radiación, estructura vertical, estabilidad, convección y distribución climática a escala planetaria**.

Tema 4: CIRCULACIÓN GENERAL DE LA ATMÓSFERA

Introducción

A partir de este tema se vuelve a situar la asignatura dentro de las Ciencias Naturales, y para ello, se abre el bloque dedicado a la dinámica de la atmósfera. Ahora ya no se trata solo de saber cómo se calienta o enfría el aire, sino de entender cómo se mueve.

La pregunta central del tema es esta: ¿por qué la atmósfera organiza sus vientos y circulaciones del modo en que lo hace a escala planetaria?

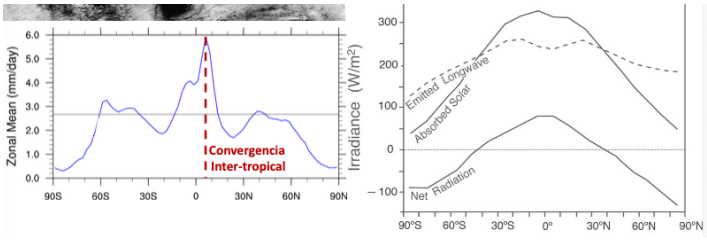
Para ello, este es el esquema general del bloque:

- Dinámica de la atmósfera
  - Leyes de movimiento aplicadas a un fluido
  - Circulación General de la Atmósfera
  - Células de Hadley y Zona de Convergencia Intertropical

De esta manera, vamos a pasar de ideas físicas básicas, como fuerzas y movimientos, a estructuras atmosféricas enormes que abarcan todo el planeta.

Circulación General

⇒ RADIACIÓN NETA Y CONVERGENCIA INTERTROPICAL

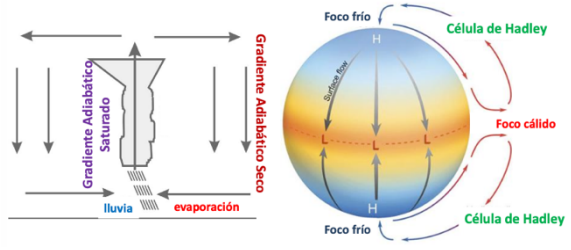


Esta diapositiva enlaza directamente con el final del tema anterior. La radiación neta no es igual en todas las latitudes: el ecuador recibe más energía neta que las regiones polares. Ese desequilibrio es una de las causas más profundas de la circulación general de la atmósfera.

La convergencia intertropical aparece aquí como una consecuencia del fuerte calentamiento ecuatorial y del ascenso del aire cálido y húmedo.

⇒ CÉLULA DE HADLEY COMO RESPUESTA AL DESEQUILIBRIO TÉRMICO

La célula de Hadley es el gran esquema de circulación tropical. El aire se calienta intensamente cerca del ecuador, asciende, produce nubosidad y lluvia, y luego se desplaza en altura hacia latitudes subtropicales, donde acaba descendiendo.

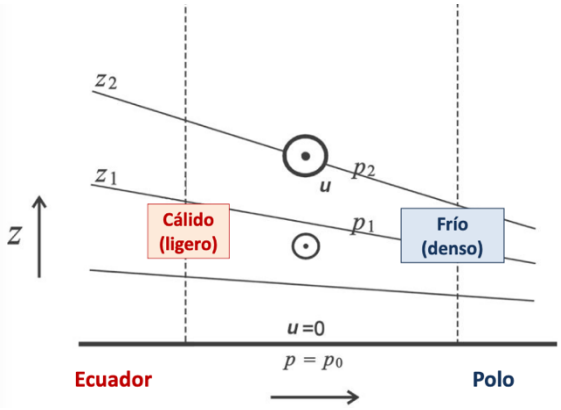


En esta diapositiva vemos como se unen las ideas termodinámicas vistas en el tema 3 (**evaporación**, **condensación** y **gradientes adiabáticos**), con el gran movimiento global del aire.

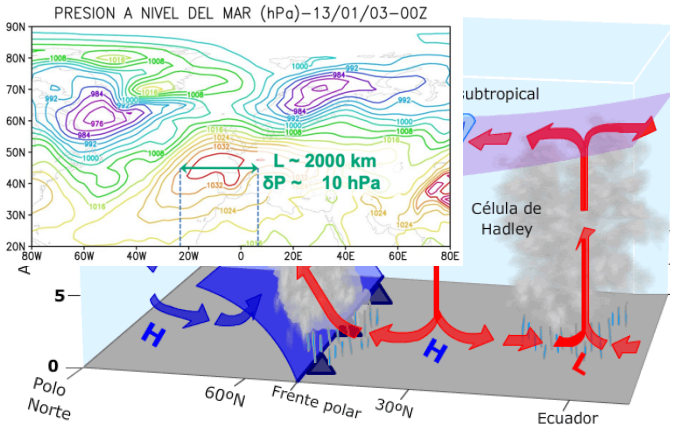
⇒ CONTRASTE ENTRE ECUADOR Y POLOS

Aquí se resume una idea muy sencilla pero decisiva: el aire cálido es menos denso y el aire frío es más denso. Como el ecuador recibe más energía que los polos, la atmósfera tiende continuamente a compensar ese contraste térmico.

Toda la circulación general puede verse, en el fondo, como un intento permanente de redistribuir energía desde las regiones cálidas hacia las frías.

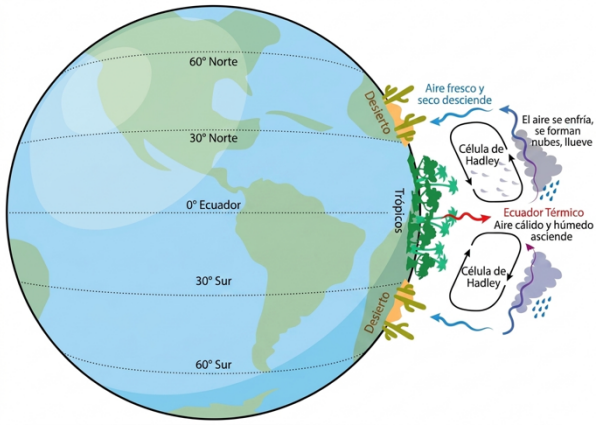


⇒ PRIMER ESQUEMA RESUMIDO DE LA CÉLULA DE HADLEY



Aquí podemos ver sintetizado visualmente el circuito tropical del aire. Conviene quedarse con tres etapas: **ascenso en la zona cálida ecuatorial, transporte en altura y subsidencia o descenso en las latitudes subtropicales**.

Ese descenso ayuda a explicar por qué muchas zonas subtropicales son secas y desérticas.

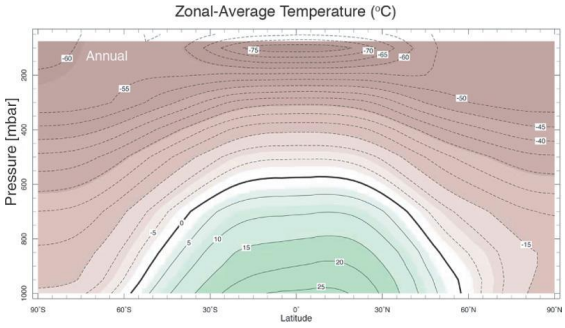


⇒ SEGUNDO ESQUEMA DE LA CÉLULA DE HADLEY

Aquí se hace hincapié con otro esquema porque la célula de Hadley es un concepto central. No es un simple dibujo: es el patrón básico que organiza gran parte de los vientos tropicales y subtropicales.

La repetición es útil para fijar bien la lógica del ascenso húmedo y el descenso seco.

⇒ TEMPERATURA MEDIA POR LATITUD Y ALTURA



Este gráfico muestra cómo cambia la temperatura media con la latitud y con la altura. Sirve para ver que la atmósfera no es térmicamente uniforme y que los mayores contrastes horizontales aparecen en ciertas zonas.

Esos contrastes son el combustible de la circulación atmosférica, porque donde hay diferencias térmicas intensas suele haber también gradientes de presión y viento.

Comprender esa desigualdad térmica es imprescindible para entender por qué la atmósfera se mueve.

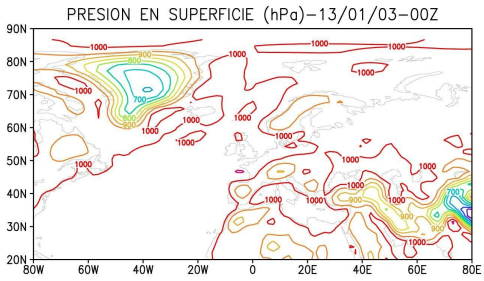
Presión y Viento

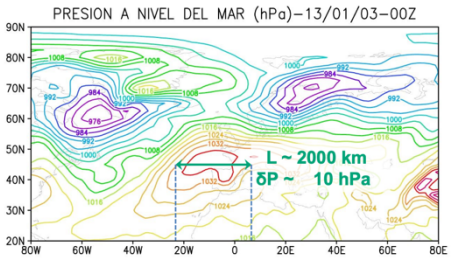
⇒ NO CONFUNDIR PRESIÓN AL NIVEL DEL MAR CON PRESIÓN EN SUPERFICIE

Vamos a ver la relación entre presión y movimiento del aire.

La advertencia del titulare es muy importante. La presión al nivel del mar es una presión reducida a una referencia común para poder comparar lugares de distinta altitud. La presión en superficie, en cambio, es la presión real donde está el observador.

Si no se distingue esto bien, se interpretan mal muchos mapas meteorológicos.

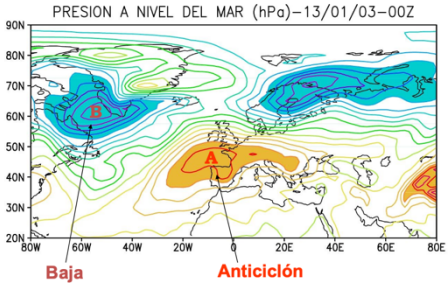




⇒ ESCALA HORIZONTAL Y DIFERENCIAS DE PRESIÓN

Aquí se introduce una escala espacial típica, del orden de 2000 km, y una diferencia de presión relativamente pequeña, de unos 10 hPa. Parece poco, pero en Meteorología basta para generar vientos importantes.

La idea clave es que el viento nace de gradientes de presión, no de la presión aislada en un punto.

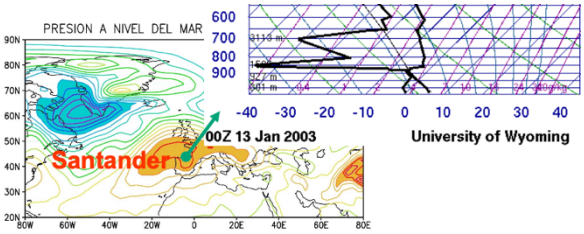


⇒ ANTICICLÓN Y BAJA PRESIÓN

La distinción entre anticiclón y baja es fundamental. Un anticiclón es una región de presión relativamente alta; una baja, es una región de presión relativamente baja.

Pero el tema quiere llevarnos más lejos que la etiqueta: lo importante es entender cómo esas distribuciones de presión hacen moverse al aire.

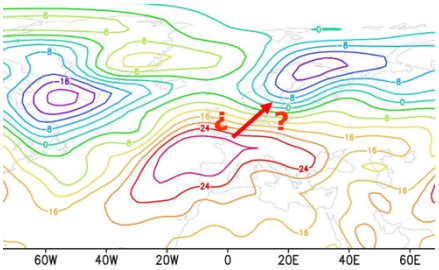
⇒ EJEMPLO LOCAL: SANTANDER



La mención a Santander sirve para situar la explicación en un caso real o cercano. Los ejemplos locales ayudan a que la dinámica atmosférica no se vea como algo abstracto y lejano.

Meteorología y geografía se encuentran aquí: el tiempo que observamos en un lugar concreto depende de movimientos a muchas escalas.

Pero, las dos preguntas verdaderamente importantes son:



1. ¿cómo se orienta el viento respecto al gradiente de presión?
2. ¿sopla el viento de mayor a menor presión?

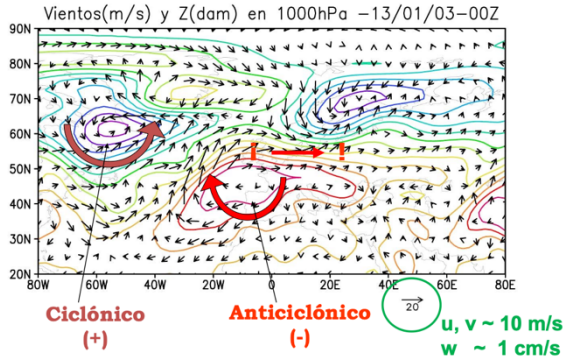
La intuición inmediata sería decir que sí: que el aire va simplemente de donde hay más presión a donde hay menos. Pero la atmósfera real es más complicada.

Esto está muy bien planteado porque obliga a abandonar una visión demasiado simple del viento.

⇒ POR QUÉ EL VIENTO REAL NO SIGUE SOLO EL GRADIENTE

La diapositiva señala que los movimientos horizontales del aire suelen ser mucho más intensos que los verticales. También introduce la circulación ciclónica y anticiclónica, que muestran que el viento tiende a curvarse alrededor de las bajas y las altas.

Esto ocurre porque, además de la fuerza debida al gradiente de presión, interviene otra fuerza decisiva: la de **Coriolis**.



⇒ QUÉ ES LA FUERZA DE CORIOLIS

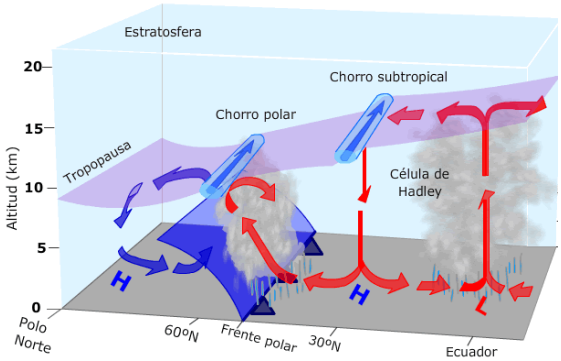
La fuerza de Coriolis es una fuerza aparente o ficticia que aparece cuando describimos el movimiento desde un sistema de referencia en rotación, como la Tierra. No empuja por sí misma como una mano o un motor, sino que surge por usar un sistema no inercial.

En el hemisferio norte desvía los movimientos hacia la derecha y en el sur hacia la izquierda. Esa desviación es esencial para entender la circulación atmosférica.

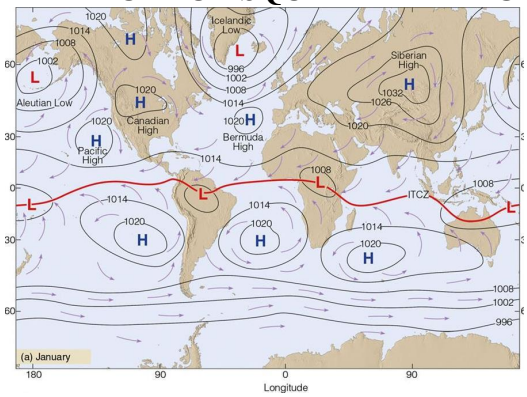
⇒ CÉLULA DE HADLEY BAJO EL EFECTO DE LA ROTACIÓN

Al recuperar la célula de Hadley después de introducir Coriolis, el tema sugiere que la circulación global no puede entenderse solo por diferencias térmicas. La rotación terrestre modifica profundamente los trayectos del aire.

Por eso los vientos reales no van directamente del ecuador al polo.



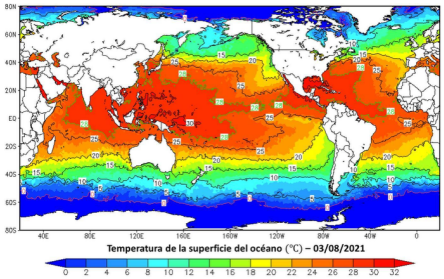
⇒ OTRO ESQUEMA DE LA CIRCULACIÓN TROPICAL



Esta segunda imagen sirve para insistir en que la rotación terrestre rompe la simple célula meridiana ideal y obliga a pensar en trayectorias desviadas.

La circulación general surge de combinar desigualdad térmica y rotación.

⇒ V. W. EKMAN

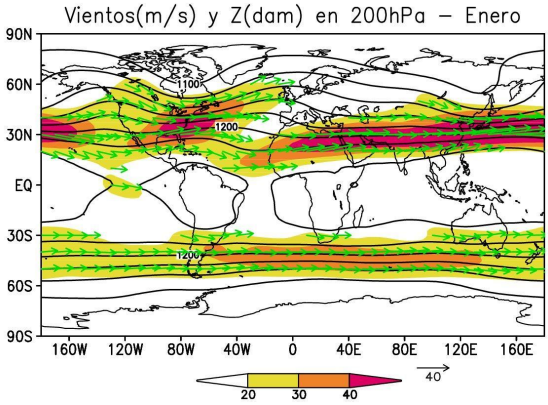


La aparición del oceanógrafo **Vagn Walfrid Ekman** (1874-1954) prepara la relación entre viento, rozamiento y desvío en fluidos geofísicos.

Su nombre está asociado a soluciones importantes sobre cómo la rotación modifica el movimiento de océanos y atmósfera.

Esta diapositiva funciona como referencia histórica antes de seguir con la circulación a gran escala.

⇒ MAPA GLOBAL DE VIENTOS EN ALTURA



Aquí se muestran vientos y altura geopotencial en un nivel alto, probablemente 200 hPa.

Esto ayuda a visualizar que la circulación en altura está organizada en bandas y corredores intensos, no repartida al azar.

Aquí ya se ve insinuada la corriente en chorro, uno de los protagonistas de la dinámica atmosférica.

La corriente en chorro es una banda de vientos muy intensos en altura, generalmente cerca de la **tropopausa**. La **tropopausa** es la fina capa de transición atmosférica que separa la **troposfera** (donde ocurren la mayoría de los fenómenos meteorológicos) de la **estratosfera**.

Tiene enorme importancia porque guía sistemas meteorológicos y separa masas de aire con propiedades térmicas distintas.

No es un viento cualquiera, sino una estructura global muy organizada.

⇒ APOYO VISUAL DEL JET Y LA AVIACIÓN



La imagen sugiere el aprovechamiento o el efecto de la corriente en chorro en vuelos de largo recorrido. La aviación conoce bien estas corrientes porque pueden acelerar o frenar mucho un trayecto.

Las corrientes en chorro (*jet streams*) son tubos estrechos de vientos intensos (de 100 a >250 km/h) que fluyen a gran altitud (10-12 km). Los aviones vuelan en ellas para ahorrar combustible y tiempo al ir a favor del viento, pero también pueden causar turbulencias severas si las aeronaves entran y salen de ellas.

Es un ejemplo excelente de cómo una estructura atmosférica global tiene efectos prácticos muy concretos.

⇒ MÁXIMO CONTRASTE TÉRMICO Y JET POLAR

La corriente en chorro se asocia a regiones donde el contraste térmico horizontal es mayor. Cuanto más fuerte es ese contraste, más marcada puede ser la variación de presión en altura y, con ella, el viento geostrófico.

Por eso el jet polar está tan ligado a la frontera entre aire frío y aire más templado.

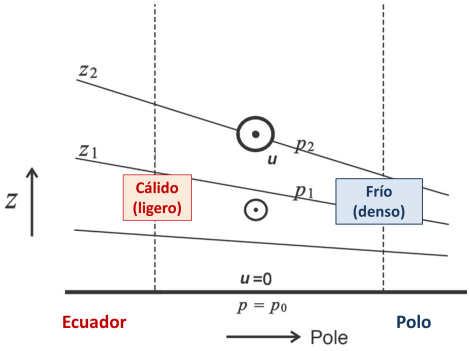
⇒ ROTACIÓN Y MOMENTO ANGULAR

Aquí el tema introduce otra idea física profunda: el momento angular. Cuando un cuerpo o un sistema gira, la distribución de su masa y su velocidad de rotación determinan cuánto momento angular tiene.

En atmósfera y océanos, pensar en momento angular ayuda a entender por qué ciertos movimientos se conservan o se reorganizan cuando cambia la geometría del flujo.

https://www.youtube.com/watch?v=ty9QSiVC2g0

⇒ TRANSICIÓN HACIA EFECTOS ROTACIONALES



Esta diapositiva funciona como puente entre la explicación general del momento angular y ejemplos más visuales de fluidos en rotación.

Es una pausa útil antes de entrar en las llamadas columnas de Taylor.

⇒ COLUMNAS DE TAYLOR

Las columnas de Taylor son una consecuencia sorprendente de la rotación en fluidos. Cuando la rotación domina, el movimiento tiende a organizarse en estructuras coherentes a lo largo del eje de giro.

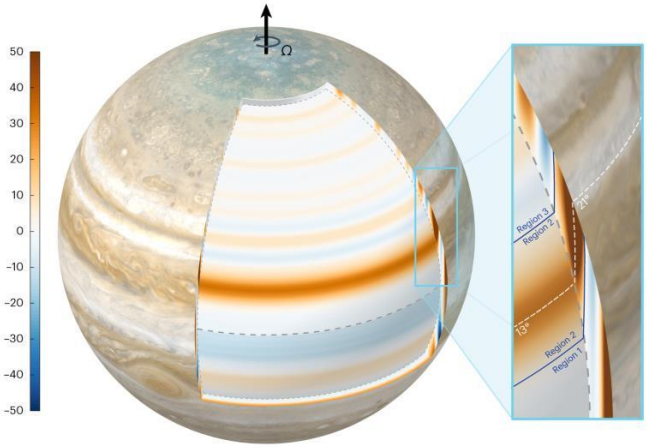
No se trata de columnas materiales rígidas, sino de una tendencia dinámica del fluido a comportarse de forma casi columnar bajo fuerte rotación.

Esto ayuda a entender por qué, en fluidos planetarios, ciertas perturbaciones no se comportan como lo harían en un sistema sin rotación. Es una intuición valiosa para pensar atmósferas planetarias.

https://www.youtube.com/watch?v=DPN2CaUXyI0

https://www.youtube.com/watch?v=18HwEHyks9M

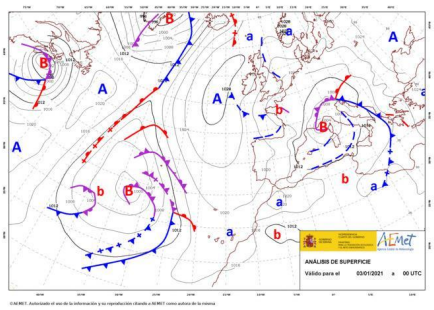
⇒ JÚPITER Y ESTRUCTURAS CILÍNDRICAS



Júpiter aparece aquí como ejemplo magnífico de atmósfera dominada por rotación y flujo zonal. Sus bandas muestran una organización mucho más marcada que la terrestre.

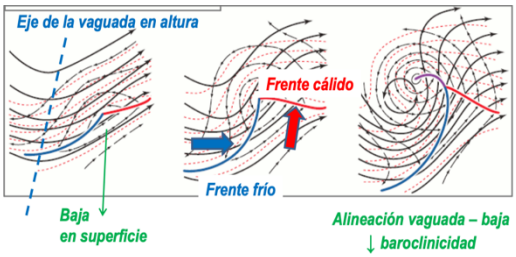
La relación con las estructuras cilíndricas nos recuerda que la dinámica de fluidos geofísicos no es exclusiva de la Tierra.

⇒ LA INESTABILIDAD BAROCLÍNICA



Aquí se marca el paso hacia uno de los conceptos más importantes de la meteorología de latitudes medias: la **baroclinicidad**.

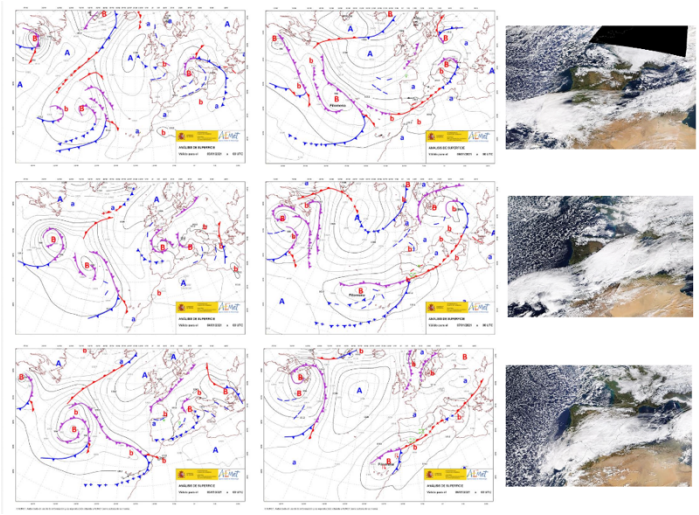
Es el punto en que el tema pasa de la circulación general ideal a la generación de borrascas y frentes.



La inestabilidad **baroclínica** es el mecanismo por el que un fuerte contraste horizontal de temperatura puede transformarse en ondulaciones, bajas presiones, vaguadas y frentes. Es uno de los motores básicos del tiempo en latitudes medias.

La alineación entre una vaguada en altura y una baja en superficie es una señal muy importante para entender el desarrollo de sistemas depresionarios.

⇒ SECUENCIA DE EVOLUCIÓN DE UNA BAJA



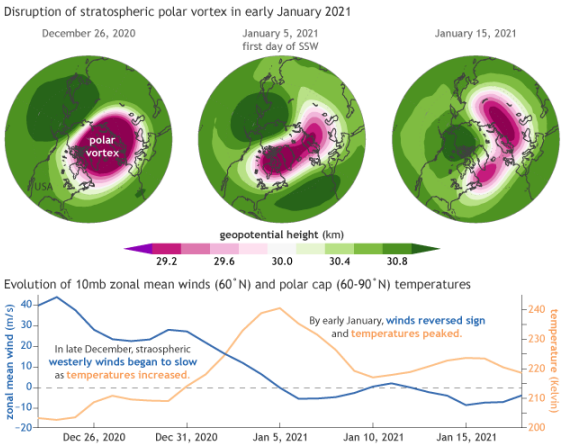
Estas imágenes muestran distintas fases o variantes de una estructura **depresionaria**. Con esto podemos ver cómo evoluciona una baja o una vaguada.

En meteorología, seguir la evolución temporal es esencial, porque las estructuras atmosféricas cambian continuamente.

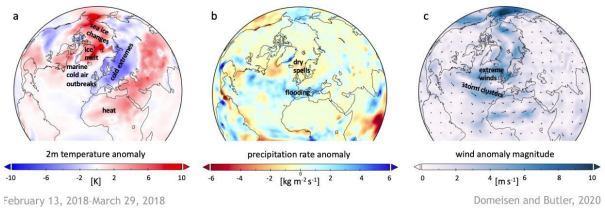
⇒ CALENTAMIENTO ESTRATOSFÉRICO SÚBITO: ENERO DE 2021

Los calentamientos estratosféricos súbitos son fenómenos espectaculares en los que la estratosfera polar se calienta rápidamente y se altera la circulación habitual del **vórtice polar** (El **vórtice polar** es una gran masa de aire gélido y de bajas presiones que gira en forma de remolino sobre los polos de la Tierra en la alta atmósfera (estratosfera y troposfera). Su función principal es mantener el aire ártico o antártico confinado en las regiones polares durante el invierno).

Aunque ocurren en altura, sus efectos pueden propagarse hacia abajo y modificar el tiempo en superficie algunas semanas después.



La referencia a "Emma, la hermana mayor de Filomena" ayuda a conectar el fenómeno con episodios conocidos de tiempo invernal extremo. La idea clave es que la estratosfera y la troposfera no están completamente separadas.



Lo que pasa muy arriba puede influir notablemente en lo que vivimos en superficie.

Predicción Meteorológica

⇒ LA PREDICCIÓN DEL TIEMPO

La cita y la imagen funcionan como una entrada más humana e histórica al problema de la predicción meteorológica de los famosos "hombres del tiempo": **Mariano Medina** y **Eugenio Martin Rubio**. Pronosticar el tiempo siempre ha tenido una mezcla de ciencia, experiencia y riesgo.



El tema empieza a girar aquí desde la dinámica atmosférica hacia el problema de la predictibilidad y sus "dificultades".

Eugenio Martín Rubio dijo en el año 1967:
"si mañana no llueve, me afeito el bigote". Y se lo cortó.

⇒ PÉNDULO DOBLE Y CAOS

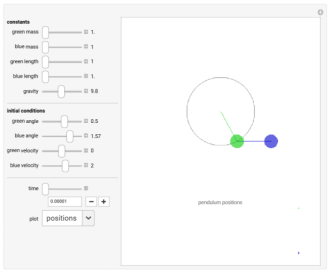
El péndulo doble se usa como ejemplo clásico de sistema determinista pero muy sensible a las condiciones iniciales. Sus ecuaciones son exactas, pero su evolución práctica se hace rápidamente difícil de predecir.

La Meteorología se parece a esto más de lo que parece a primera vista, ya que pequeños cambios al inicio pueden acabar produciendo trayectorias muy distintas.

Eso prepara muy bien la entrada al concepto de caos determinista en la atmósfera.

https://www.youtube.com/watch?v=HcKJT2pGlUE

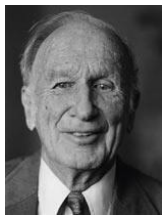
⇒ DIVERGENCIA DE TRAYECTORIAS CON EL TIEMPO



La secuencia temporal muestra cómo dos evoluciones inicialmente muy parecidas pueden separarse claramente tras cierto tiempo. Esa divergencia es la esencia de la sensibilidad a las condiciones iniciales.

Es un modo visual muy bueno de entender por qué las predicciones tienen un horizonte limitado.

⇒ CAOS DETERMINISTA Y EDWARD LORENZ

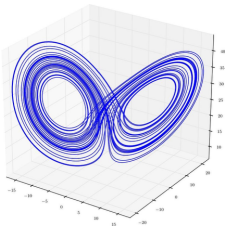


Lorenz mostró que un sistema puede ser completamente determinista y, sin embargo, ser muy difícil de predecir a largo plazo por su sensibilidad extrema a pequeños errores iniciales.

El movimiento del péndulo doble es predecible solo si conocemos exactamente su posición y su velocidad en un instante dado.

La frase de la diapositiva resume muy bien la idea: conocer aproximadamente el presente no garantiza conocer aproximadamente el futuro.

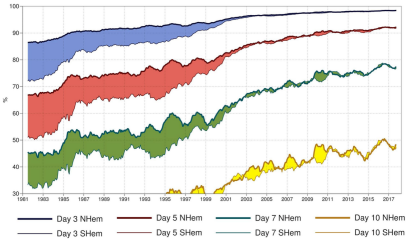
⇒ EFECTO MARIPOSA Y ATRACTOR DE LORENZ



El llamado efecto mariposa es una forma popular de expresar esa sensibilidad extrema a las condiciones iniciales. No significa que cualquier cosa cause cualquier cosa, sino que pequeñas diferencias pueden amplificarse mucho en sistemas complejos.

El **atractor de Lorenz** se ha convertido en el símbolo matemático más famoso de esta idea.

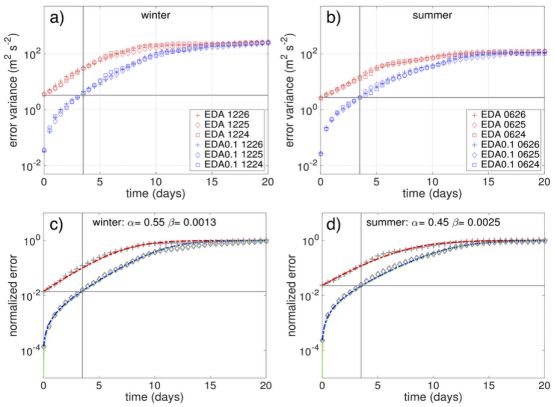
⇒ CÓMO EVOLUCIONA LA CORRELACIÓN ENTRE PREDICCIÓN Y OBSERVACIÓN



Este gráfico muestra cómo la calidad de una predicción va degradándose con el tiempo. Al principio la predicción y la observación se parecen mucho, pero esa correlación disminuye a medida que pasan los días.

Es una forma cuantitativa de mostrar el límite práctico de la predictibilidad atmosférica.

⇒ ERROR CON CONDICIONES INICIALES MEJORADAS



Aquí se compara la evolución del error en experimentos realistas y en otros con condiciones iniciales mejoradas.

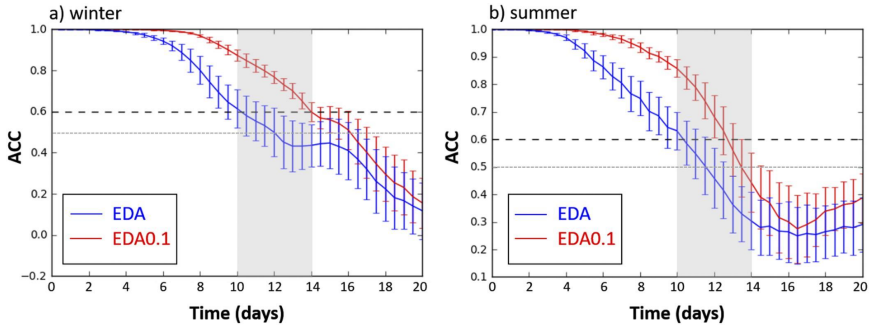
Mejorar el punto de partida ayuda, pero no elimina el crecimiento del error indefinidamente.

Esto refleja una verdad fundamental de la Meteorología moderna: **medir mejor el estado inicial mejora el pronóstico, pero no rompe la barrera del caos.**

⇒ CORRELACIÓN EN EXPERIMENTOS REALISTAS Y MEJORADOS

Esta última diapositiva del tema cierra el recorrido mostrando que incluso con mejoras técnicas la predictibilidad sigue teniendo un límite.

La atmósfera es físicamente gobernable por ecuaciones, pero no infinitamente predecible.



El tema termina así con una idea muy profunda y moderna:

- **Comprender la atmósfera no significa poder conocer su futuro exacto sin límite, sino saber hasta dónde puede llegar razonablemente nuestra predicción.**