



AstroSomontano

ASTROSOMONTANO

BOLETÍN DE LA ASOCIACIÓN ASTRONÓMICA DE BARBASTRO

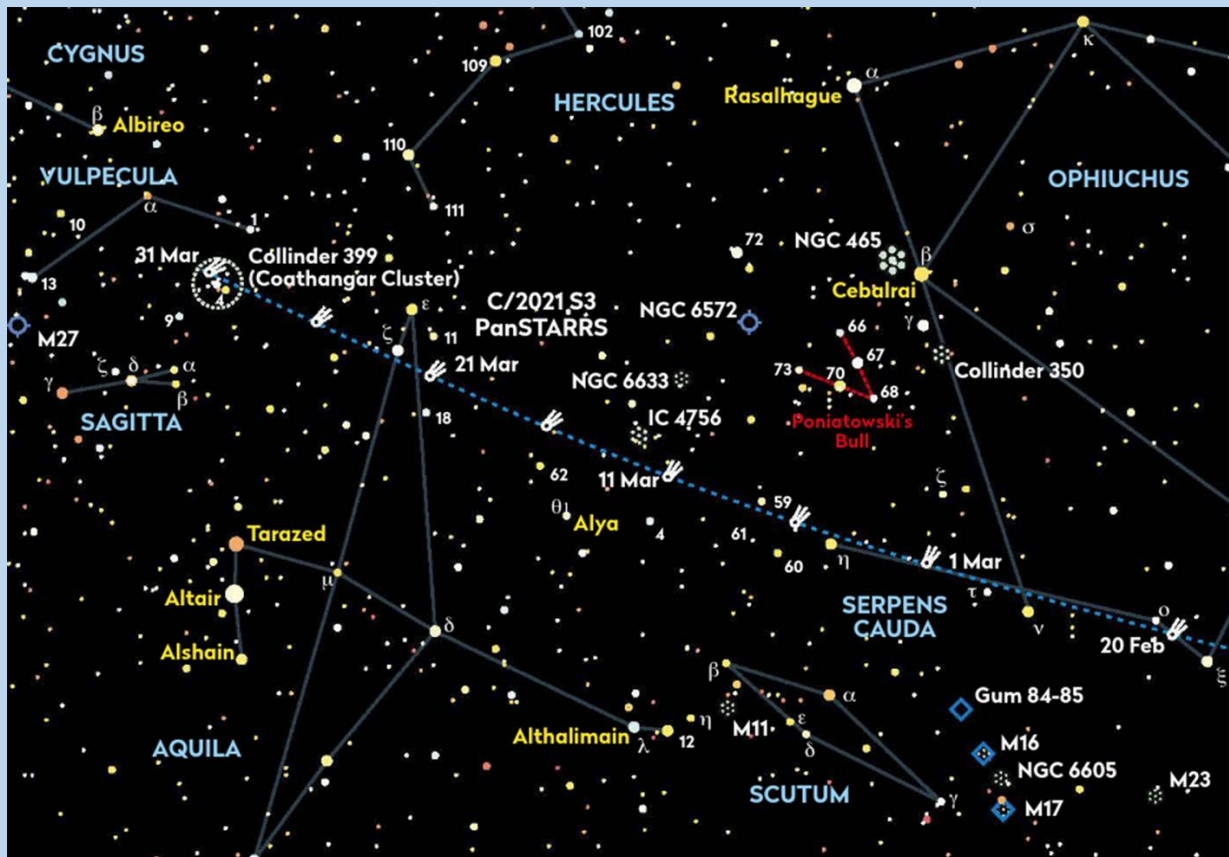
MARZO 2024

NÚMERO 15

EL CIELO NOCTURNO DE MARZO

EL COMETA C/2021 S3 PanSTARRS Y COLLINDER 399*

Se prevé que el cometa C/2021 S3 PanStarrs, visible en el cielo de la mañana, alcance una magnitud compatible con binoculares durante todo el mes. Actualmente pasa por una parte del cielo más asociada al verano que a la primavera, en dirección norte-noreste desde Serpens Cauda** a través de Aquila, Sagitta y finalmente hacia Vulpecula. Su incursión en Vulpecula lo lleva a través del objeto de cielo profundo conocido como Collinder 399, el Cúmulo de Brocchi o Coathanger, es un asterismo más que un verdadero cúmulo de estrellas.

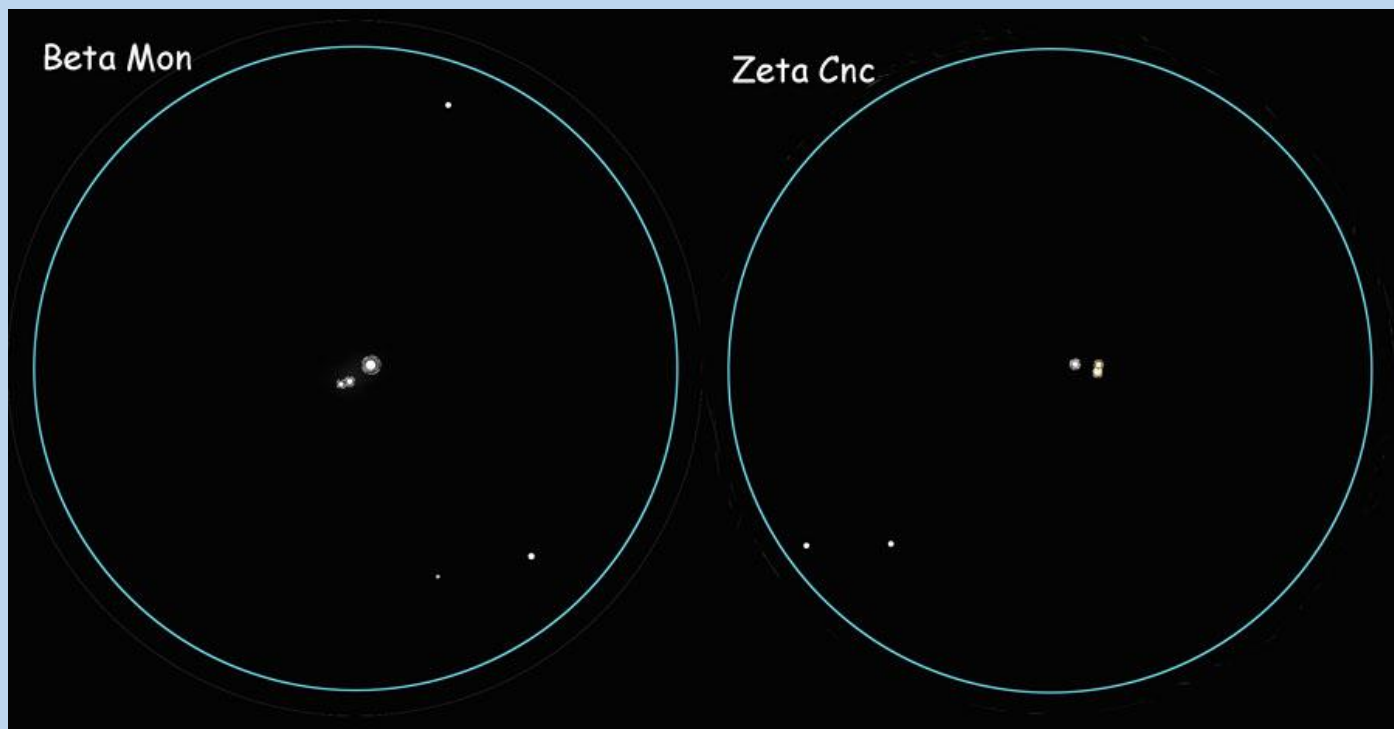


*Collinder 399 (también conocido como Cúmulo de Brocchi, Cúmulo de la Percha o Cúmulo de Al Sufi, es un asterismo situado en la constelación de Vulpecula. El asterismo está compuesto por diez estrellas entre quinta y séptima magnitud que visualmente presentan el aspecto de una percha.

**Serpens Cauda, representa la cola de la constelación de la Serpiente.

LAS MEJORES ESTRELLAS TRIPLES DEL INVIERNO

La visión de las estrellas dobles es magnífica, pero las triples son fabulosas. Aquí os dejo dos tríos para disfrutar la próxima noche despejada.



La estrella Beta (β) de Monoceros y Zeta en Cáncer, son dos de las estrellas triples más brillantes de la temporada. Con un telescopio, a partir de 100mm será suficiente para su observación.

Hay estrellas que a simple vista aparecen como un único punto luminoso pero que, al mirarlas con telescopio, se ve que están formadas por dos o más estrellas cercanas entre sí. Son dobles (o binarias) si se están formadas por dos, triples si son tres y, a partir de cuatro, se llaman múltiples.

Las estrellas dobles son bastante hermosas, pero agregar una tercera estrella a la mezcla profundiza la emoción visual y al mismo tiempo nos hace preguntarnos exactamente quién orbita a quién. Si bien los triples son menos comunes que los dobles, sus miembros continúan orbitando el centro de masa del sistema.

A menudo, dos de las estrellas formarán un par en órbita más cercana, rodeando a distancia por el tercer miembro, una disposición estable llamada *jerárquica*. Beta Monocerotis es probablemente un sistema jerárquico con la brillante estrella **A** en una órbita estable alrededor del par **BC**, más estrecho.

Si tuvieras que nombrar una estrella triple del cielo invernal, podría ser Beta (β) de Monoceros, un trío de estrellas calientes de tipo **B** con forma de una cola de cometa. Pocos tríos son tan brillantes. William Herschel lo llamó "una de las vistas más hermosas del cielo".

Los cúmulos de estrellas, las nebulosas y las galaxias parecen más glamorosos, pero las estrellas dobles y triples son las joyas subestimadas del cielo nocturno. A diferencia de otras maravillas del cielo profundo, se localizan y observan fácilmente incluso cuando el cielo está brumoso, iluminado por la luna o contaminado por luz. Su sencillez es engañosa; muestran una variedad infinita de tintes, magnitudes, separaciones y (en el caso de múltiples estrellas) configuraciones. Y literalmente miles de ellos se encuentran al alcance del telescopio más pequeño

EL CIELO NOCTURNO MARZO 2024



ASPECTO DEL CIELO AL ANOCHECER DESDE BARBASTRO:

- 1 de Marzo a las 23:00 horas de TU (tiempo universal).
- 15 de Marzo a las 22:00 horas de TU
- 29 de Marzo a las 21:00 horas de TU.

En la carta se representan las líneas de la eclíptica, del ecuador celeste, así como los asterismos, las constelaciones y los objetos del catálogo Messier.

FASES DE LA LUNA / MARZO 2024



Cuarto menguante
03/03/2024



Luna nueva
10/03/2024

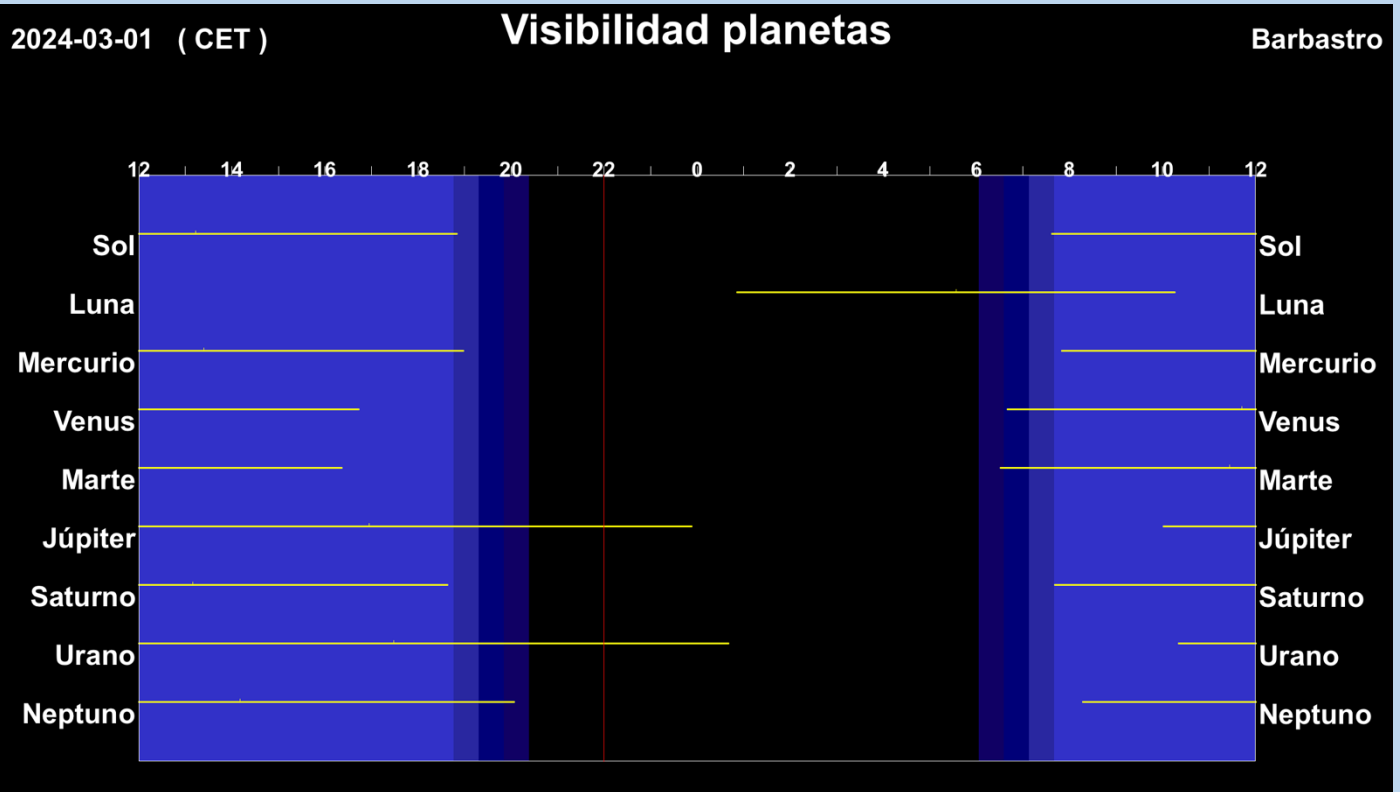


Cuarto creciente
17/03/2024



Luna llena
25/03/2024

PERIGEO: el domingo 10 de marzo las 07:49 TU, en Acuario. A 356.895 km.
APOGEO: el sábado 23 de febrero a las 16:00 TU, en Leo. A 406.300 km.



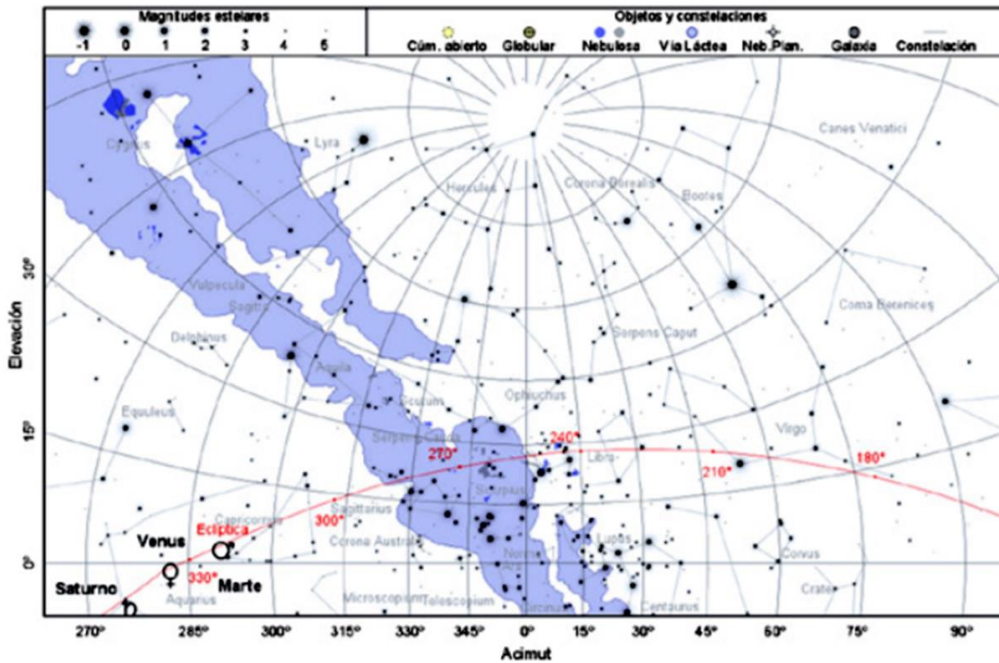
La imagen ha sido realizada con el programa "Cartes du Ciel", para la latitud de Barbastro.

Venus, Marte y, desde mediados de mes, Saturno serán visibles al amanecer.

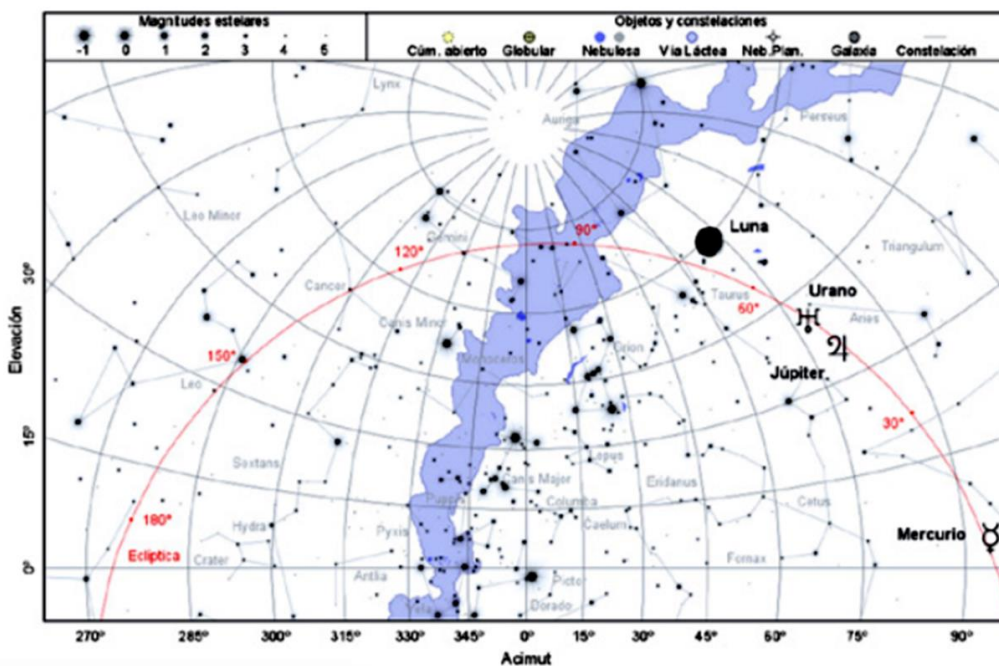
Mercurio, Júpiter y Urano, serán visibles al atardecer.

En las páginas siguientes se muestra el aspecto del cielo nocturno para el día 15 del mes, con indicación de la posición de los planetas visibles a la hora indicada. Esta corresponde a aproximadamente una hora antes de la salida del Sol o una hora después de la puesta del Sol, según corresponda. Se trata de instantes cercanos al crepúsculo náutico, en que la noche es oscura salvo por la posible presencia de la Luna.

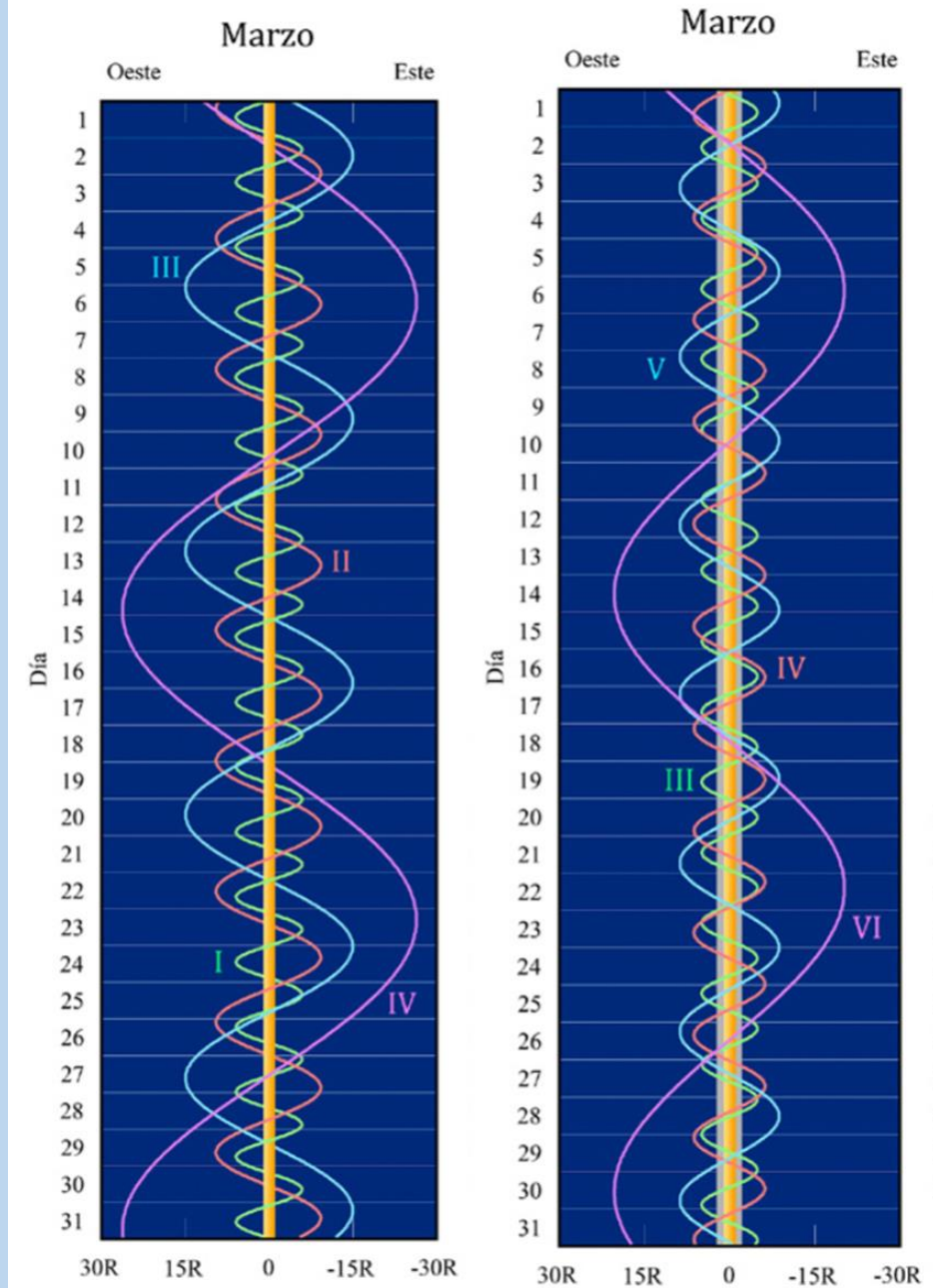
15 de marzo de 2024, a las 5:30 TU



15 de marzo de 2024, a las 19:15 TU



POSICIÓN DE LOS SATÉLITES DE: JÚPITER SATURNO



Júpiter: De menor a mayor amplitud, las posiciones dibujadas corresponden a Io (I), Europa (II), Ganymedes (III) y Calisto (IV).

Saturno: De menor a mayor amplitud, las posiciones dibujadas corresponden a Tetis (III), Dione (IV), Rea (V) y Titán (VI).

Nota: Obsérvese que Oeste y Este están colocados como se ven en un telescopio y al revés cómo se ven con unos prismáticos.

La línea vertical central indica el tamaño del planeta. La separación respecto del centro del planeta viene dada en radios planetarios (R)

¿HAY VIDA EN LOS SATÉLITES GALILEANOS DE JÚPITER?

Por Pedro Berges

Una pregunta concreta con una compleja respuesta. Se trata de una propuesta de charla o conferencia para el ciclo 2024, de AstroSomontano. Y la complejidad radica en la ingente cantidad de información que debe ser analizada para enfrentarse a la cuestión de manera provechosa. La documentación manejada requiere la interrelación de tres aspectos complementarios. A saber:

- Unos datos elementales sobre Astrobiología.
- Información específica relativa a Júpiter y sus cuatro lunas galileanas: Ío, Europa, Ganímedes y Calisto.
- Las futuras misiones al sistema joviano:
- JUICE, de la ESA, que ya está en camino.
- Y EUROPA CLIPPER de la NASA que se espera sea lanzada en octubre de este año.

El material seleccionado, base de la charla, da para una serie de artículos que irán apareciendo en la revista digital de AstroSomontano lo largo de los próximos meses.

Parte I-INTRODUCCIÓN A LA ASTROBIOLOGÍA

La Astrobiología es una disciplina científica relativamente joven, cuyo objetivo principal es el estudio del origen, evolución y distribución de la vida en el Universo.

Por su relación con la exploración del Cosmos, también implica a agencias espaciales, desde la NASA hasta la ESA.

Aunque las principales preguntas de la Astrobiología son tan antiguas como la Ciencia y buena parte de sus temas ya se estudiaban en diferentes países desde mediados del siglo XX, fue a raíz de la fundación de la agencia espacial americana **NAI (NASA Astrobiology Institut)**, en 1998, cuando se produjo un gran estímulo en este campo, favoreciendo, además, la asociación con otras instituciones similares de otros países: en España se creó en 1999 el **Centro de Astrobiología- CAB**- relacionado con el CISCy el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial-, que fue el primero, fuera de EEUU, en conseguir el status de centro asociado a la **NAI**. Dos décadas después, en 2019, se fundó el **European Astrobiology Institute**.

Y la pregunta principal a la que se enfrenta la Astrobiología- ¿qué es la vida?- no tiene una respuesta fácil. De hecho, algunos científicos y filósofos han argumentado que ésta es imposible porque sólo conocemos un ejemplo. Pero la buscaremos señalando las características generales de los seres vivos:

1. La vida implica cierta complejidad, tanto en su composición química como en su organización interna (una membrana que los separe del exterior, como poco).
2. La vida requiere metabolismo: utiliza elementos externos y los procesa para obtener energía.
3. La vida almacena y procesa información codificada que transmite a la descendencia.

4. La vida se replica dando lugar a copias con cierto grado de diversidad.
5. Y esa diversidad permite que unos descendientes se adapten mejor que otros a las condiciones del entorno y, consecuentemente, evolucionen.

De la Prebiótica a las primeras formas de vida

El origen de la vida en nuestro planeta, al margen de la religión, ya fue planteado desde una perspectiva científica por Darwin. Pero no fue hasta la segunda mitad del siglo pasado cuando los primeros trabajos experimentales dieron sus frutos¹.

Desde entonces, la Química Prebiótica ha sido una disciplina en constante desarrollo. Se han descubierto un buen número de reacciones que partiendo de moléculas sencillas y de las condiciones que pudieron existir en la primitiva Tierra dieron lugar a biomoléculas con aminoácidos, nucleótidos, azúcares o lípidos.

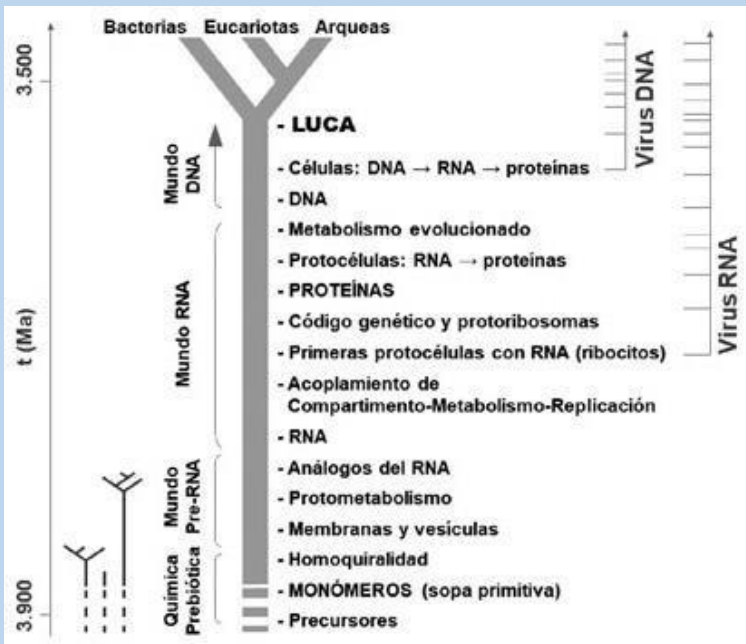
Hoy se cree que entre la química prebiótica y las primeras células hubo varias fases. Una primera etapa fue protagonizada por protocélulas denominadas *Ribocitos* en los que el RNA funcionaría como genoma. En un paso posterior, algunos de estos *Ribocitos* debieron ser capaces de producir proteínas a partir de la información de sus RNA. Más tarde, algunas de estas protocélulas con RNA y proteínas desarrollaron el DNA: debió ser entonces cuando aparecieron los primeros *Virus*² con genoma DNA. Y llegados a este punto, que se ha considerado el final de la evolución de la química prebiótica hacia la Biología, se debió dar paso al primer organismo unicelular que cumplía con los requisitos de la vida: **LUCA**. Así ha sido denominado *nuestro LAST UNIVERSAL COMMON ANCESTOR*, aunque informalmente prefiero llamarlo LUCAs, y se cree que vivió entre hace unos 3.900 y 3.600 Ma.

¹ Entre 1920 y 1930, Alexander Oparin y John Aldane, por separado, habían postulado que la vida en el planeta comenzó cuando éste se había estabilizado y con una atmósfera rica en Metano, Amoniac, Hidrógeno y Vapor de agua, siendo **reductora** y **anaerobia**. Las radiaciones solares y las descargas eléctricas habían provocado reacciones de las que surgieron compuestos orgánicos sencillos: algunas grasas, azúcares, aminoácidos y otras biomoléculas simples. El proceso siguió y generó biomoléculas más complejas. Estas sustancias se depositaron durante millones de años en los mares formando una disolución espesa que Oparin denominaba *Caldo Primitivo*. Y en ese medio, postularon, se debió dar una evolución hasta microorganismos procariotas. En las décadas de los 50/60, los experimentos de Miller y Urey (1953), Fox y Col (1959), Juan Oro (1960) y Sagan y Mariner (1964) demostraron que la teoría, en lo esencial, era acertada.

Un **agente reductor** es aquel que cede electrones a un agente oxidante que los adquiere en una reacción de reducción-oxidación. Por ejemplo, al reaccionar el hidrógeno, que es REDUCTOR, con el óxido de cobre o cuproso, se separan el cobre y el oxígeno y se forma agua: $\text{CuO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$. Es decir, el óxido de cobre se reduce. Al contrario, cuando el cobre reacciona con el oxígeno, que es OXIDANTE, forma óxido de cobre. Es decir, el cobre se oxida. $2\text{Cu} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CuO}$.

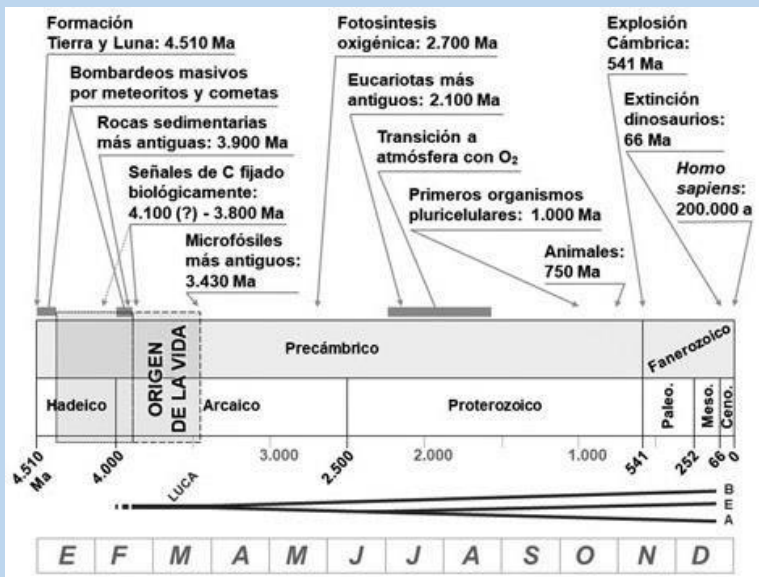
Anaerobio significa "sin oxígeno". Las bacterias anaerobias son microorganismos capaces de sobrevivir y multiplicarse en ambientes que no tienen oxígeno.

² Los Virus no son seres vivos porque aunque sean capaces de replicarse carecen de capacidad metabólica y necesitan parasitarse.



Esquema del proceso evolutivo prebiótico hasta LUCAs

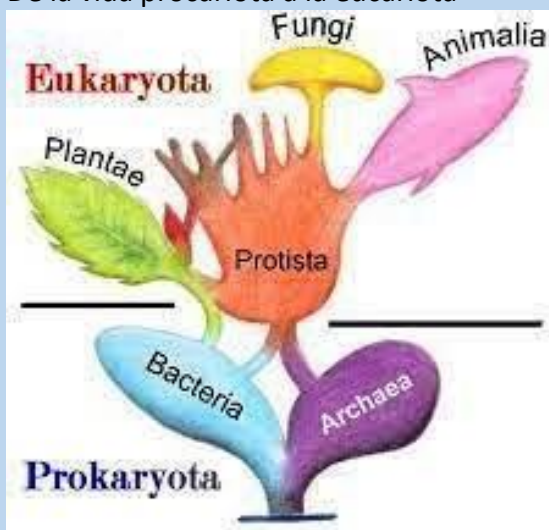
De LUCAs surgieron, hace unos 3.000 Ma, dos grandes ramas de seres vivos unicelulares: las *BACTERIAS* y las *ARCHEAS*. Ambas carecen de núcleo definido (PROCARIOTAS). Y no será hasta mucho más tarde, hace unos 2.000/1.500 Ma, cuando apareció el dominio filogenético EUCARIOTA: células con Núcleo definido que contienen su genoma y que poseen un complejo sistema de membranas internas y orgánulos especializados.



Evolución geológica, prebiótica y biológica comparada con los meses del año

Alrededor de hace unos 1.000 Ma, cuando la atmósfera terrestre era muy similar a la actual, el universo unicelular Eucariota experimentó la vida pluricelular. Y de ahí surgieron los tres grandes grupos pluricelulares hoy existentes: Hongos, Vegetales y Animales. Aunque suena extraño, la vida pluricelular sólo representa un 15% de las especies conocidas. Dicho de otro modo, desde su origen, nuestro planeta, ha estado dominado por Microorganismos.

De la vida procariota a la eucariota



Antes de proseguir, dejaremos en evidencia algunas interesantes consideraciones.

¿La Muerte es una consecuencia de la Vida?

El mundo pluricelular abrió la puerta a que las células se especializaran en la realización de distintas funciones. En algunas líneas Eucariotas eso condujo a un sistema de reproducción sexual, muy hábil para generar diversidad y para facilitar la evolución. Pero eso conllevó que sólo la información del genoma perviviera en la siguiente generación y el resto de las células dejaran de ser

necesarias una vez que el proceso reproductivo ha terminado y, por tanto, se degradaran: envejecieran. Con ello aparece algo que no es consecuencia de la vida, sino de la pluricelularidad y de la reproducción sexual: la Muerte.

¿Quiénes somos los humanos?

*“Y entre toda la biodiversidad, los humanos. Biológicamente, no somos especiales, ni necesarios, ni había nada en la prebiótica que permitiera predecir nuestro origen o que tendiera hacia él. No ocupamos la cima de una inexistente pirámide evolutiva, sino un más de las ramas que constituyen el árbol de la vida. Somos fruto del azar y la necesidad. Pero los paleoantropólogos nos enseñan que, a lo largo de la evolución homínida, las capacidades del cerebro nos han llevado a protagonizar una rápida evolución cultural”*³

Así que debemos ser más humildes en nuestra relación con la biodiversidad.

¿Panspermia microbiana o Panspermia molecular?

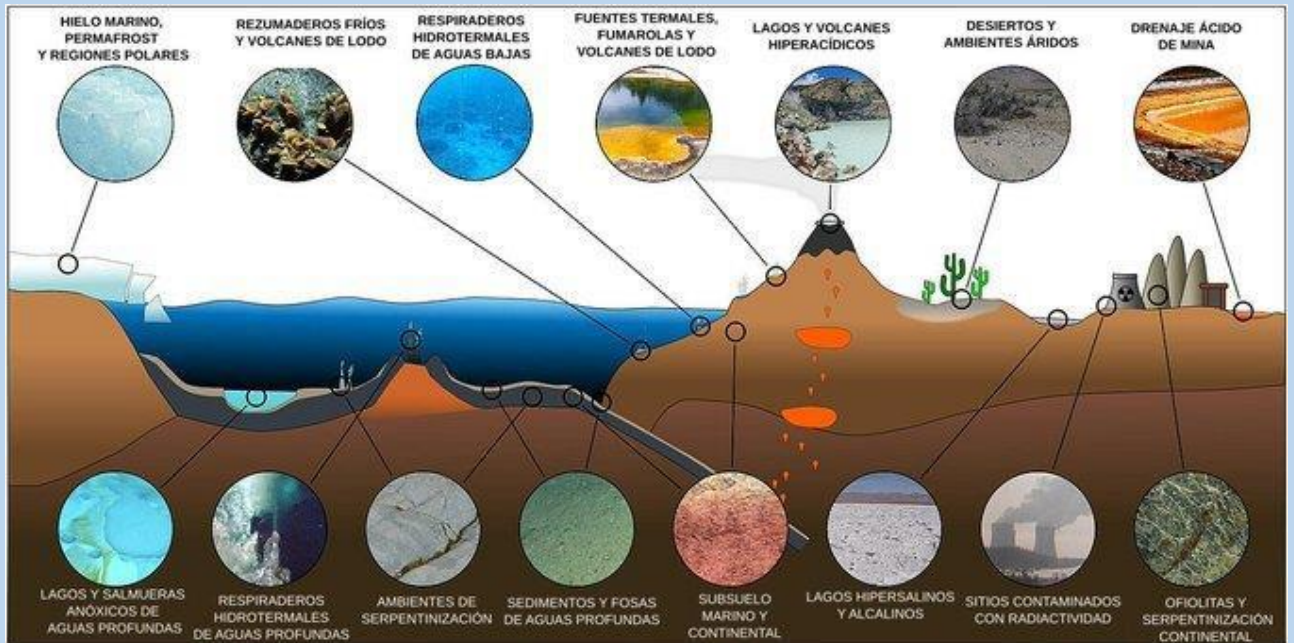
Ha habido teorías que han postulado que la vida microbiana llegó a la Tierra en meteoritos y cometas. Incluso hay literatura y películas que han planteado una panspermia- una siembra genética- dirigida por inteligencias extraterrestres. En realidad, estas teorías no tienen ninguna corroboración científica. Independientemente de que los microorganismos puedan sobrevivir en el interior de las rocas, no hay pruebas a favor de las diversas variantes de siembra de los mismos sobre nuestro planeta. Y, en cualquier caso, eso no explicaría el origen de la vida. Sin embargo, es más probable que se produjera una panspermia molecular desde el espacio y que ésta enriqueciera la sopa prebiótica terrestre con una llegada importante al primitivo planeta de moléculas orgánicas necesarias para la vida.

Vida extrema en la Tierra

La vida ha sido capaz de adaptarse en nuestro planeta a ambientes muy extremos: Se han detectado microorganismos:

- En glaciares y en el permafrost.
- En lagos con apenas oxígeno disuelto en sus aguas (**ANÓXIA**) o con aguas muy saladas (**SALMUERAS**).
- En chimeneas hidrotermales de aguas profundas.
- En fumarolas y volcanes.
- En zonas de alto contenido ácido.
- Hasta en áreas de alta radiación nuclear.

³ Carlos Briones *“¿Estamos solos? En busca de otras vidas en el Cosmos”*, pág 71. Editorial Planeta, 2020.



Ambientes de la vida extremófila

Este zoo de microorganismos terrestres **EXTREMÓFILOS** ha sido clasificado en organismos:

- **Hipertermófilos:** si conviven con temperaturas entre 70°C/120°C.
- **Criófilos:** si lo hacen con temperaturas entre 5°C/-30°C.
- **Barófilos:** si soportan presiones de hasta 400/1.200 atmósferas.
- **Radiotolerantes:** aguantan una alta radiación.
- **Acidófilos:** viven en aguas alcalinas con ph entre 0-5.
- **Alcalófilos:** si soportan aguas alcalinas de ph entre 9-12. La sangre humana mueve en un ph entre 7,35/7,45.
- **Halófilos:** su medio puede tener hasta 360gr de sal común (ClNa)/litro de agua.
- **Xerófilos:** soportan la extrema aridez.
- **Osmófilos:** viven en un medio de alta presión osmótica, como puede ser la de un altísimo contenido en azúcares.
- **Criptoendolíticos:** se han encontrado microorganismos en el subsuelo hasta a 5000 metros de profundidad⁴.
- **Oligótrofos:** si sobreviven en medios sin apenas nutrientes.

Merece la pena comentar que existen unos animalillos sorprendentes: los **tardígrados**. Son unas 1.000 especies de invertebrados diminutos, de no más de 0,5 mm, que popularmente se denominan **ositos de agua**. Suelen habitar en la película acuosa que cubre musgos y líquenes. Pueden aguantar condiciones extremas. Temperaturas entre -250°C/150°C. Periodos de congelación de hasta 30 años. Presiones cercanas a las 6.000 atmósferas. Deshidratación extrema: reduciendo el agua de su cuerpo del 85% al 3% hasta 10 años. Ser sumergidos en etanol o éter. Soportan radiaciones de hasta 5000 gray (el ser humano expuesto un rato a 5 gray, muere en dos semanas). Incluso han sobrevivido al vacío y a la exposición de la radiación exterior (experimento de la ESA en 2007).

Tardígrado



La pregunta que se plantea ante estas evidencias es que si en situaciones extremas terrestres, que podemos encontrar en algunos mundos de nuestro sistema solar, nos hemos topado con vida microbiana ¿Podría ésta florecer en esos mundos? Y ha sido esta cuestión la que ha llevado a la Astrobiología a plantear los conceptos de Condiciones de Habitabilidad y Biomarcadores.

Habitabilidad

Desde los años 60, en Astrofísica y, posteriormente, en Astrobiología, se usa el término de **zona de habitabilidad** (o Hability Zone, **HZ**) para referirse a la región en torno a una estrella en la que la radiación que llega a los planetas que orbitan dentro de la misma produce temperaturas compatibles con la existencia de agua líquida en su superficie, que en teoría podría servir como hábitat para seres vivos.



HZ del Sistema Solar

⁴ Lewis Dartnell "Vida en el Universo". Pág. 91. Alianza Ed. Madrid, 2013. Primera edición inglesa, 2007.

Además de la *distancia media* a la estrella, hay otras variables que determinan que un planeta se encuentre en la zona HZ. Estas son:

- La excentricidad de su órbita.
- Las características de su Rotación.
- Que sea rocoso.
- Que tenga una masa que le permita retener el agua por gravedad (suele considerarse ésta entre 0,5 y 10 masas terrestres).
- Que posea una atmósfera lo suficientemente densa como para ejercer la presión necesaria para el mantenimiento de esa agua líquida.

En función de la evolución de la vida de la estrella, su nivel de radiación cambia, y, por tanto, también lo hace la HZ. En cualquier caso, que un planeta se halle en la HZ en torno a una estrella no significa que sea habitable, ni mucho menos que esté habitado. Simplemente es un requisito.

Por otro lado, pueden existir en un sistema estelar subzonas habitables independientes de sus HZ. Es lo que ocurre en nuestro Sistema Solar, donde nos encontramos con satélites en Júpiter, Saturno y, quizá, Neptuno, que poseen océanos subsuperficiales. El Campo Magnético y las Fuerzas de Marea de estos gigantes gaseosos producen a su alrededor ciertas zonas de habitabilidad. De esta manera hemos llegado a señalar la clave de la Habitabilidad: la existencia de agua líquida.

¿Por qué el agua?

El agua está formada por moléculas simples, con propiedades asombrosas y es muy abundante.

MOLÉCULA SIMPLE: dos átomos de Hidrógeno se unen a uno de Oxígeno. **CON**

PROPIEDADES ASOMBROSAS, destaquemos entre ellas:

- Del hecho de que la molécula de agua tenga polaridad (es decir: que la distribución de las cargas + se incrementa donde está el H, y las -, donde se halla el O) se desprende que tiene capacidad para disolver muchas sustancias polares, entre ellas, muchas biomoléculas (todos hemos disuelto en un vaso de agua un terrón de azúcar- un Hidrato de Carbono: $C_{12}H_{22}O_{11}$ -o sal común: $ClNa$).
- Se halla líquida, a presión atmosférica, en un amplio abanico de temperaturas: entre $0^{\circ}C/100^{\circ}C$. Y aún mayor si tiene compuestos disueltos. Por ejemplo, el agua salada se congela a menor temperatura.
- A diferencia de casi todas las demás sustancias, en estado sólido, es menos densa que en el líquido, por lo que el hielo flota sobre el agua líquida. Y eso es fundamental para que a extremas temperaturas se hiele la capa externa que al flotar actúa como escudo térmico sobre el agua interior que sigue manteniendo la vida, como en el Polo Norte o bajo ríos y lagos helados.

- Aunque las moléculas de agua se disocian poco en Cationes H_3O^+ y Aniones
- OH^- sí que lo hacen de manera suficiente como para que el agua reaccione con sustancias ácidas que se disuelven en su seno (lo hace aceptando Aniones y liberando Cationes) y con bases (proceso inverso). Veamos un ejemplo. Cuando una base, como el hidróxido de sodio, se disuelve en agua se descompone en aniones hidróxidos (OH^-) y cationes de sodio: $NaOH \rightarrow Na^+ + OH^-$. De manera similar, el ácido clorhídrico o cloruro de hidrógeno se disuelve en agua formando cationes (H_3O^+) y aniones de cloro: $HCl + H_2O \rightarrow H_3O^+ + Cl^-$

ES ABUNDANTE. El agua abunda en el Universo. Sólo en nuestro Sistema Solar, se ha detectado en forma helada en altas latitudes de Mercurio, la Tierra, la Luna o Marte. También se ha detectado corteza helada que preserva océanos interiores en diversos satélites y planetas enanos. A su vez, en forma de vapor, se halla en numerosas atmósferas de objetos de nuestro sistema estelar o en exoplanetas. Y, además, está presente en rocas, minerales y sales hidratadas, tanto en la Tierra como en entornos extraterrestres.

¿No puede haber disolventes alternativos al agua?

Sí. Se ha experimentado con Amoníaco (NH_3), Nitrógeno (N_2) líquido o Ácido Sulfúrico (SO_4H_2), así como con algunos compuestos orgánicos: Metano (CH_4) o Etano (CH_3-CH_3). Pero ninguno es tan abundante ni tiene la versatilidad y capacidad de disolución que posee el agua.

Por tanto, la detección de agua se ha considerado como una condición necesaria, aunque no suficiente, para que la química pueda dar lugar a la biología. Algo así como el primer requisito para la Habitabilidad.

Otros requisitos para la Habitabilidad

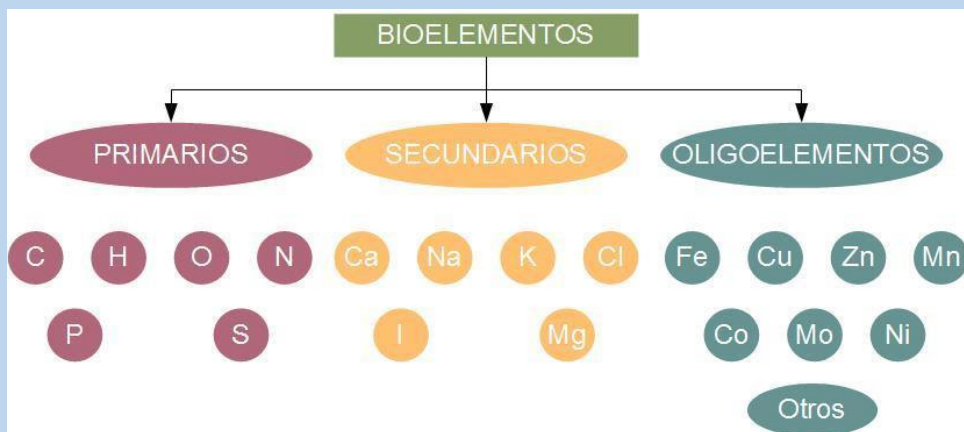
Y junto al agua, debemos averiguar cuáles han sido en nuestro planeta los otros elementos químicos y moléculas más habituales para la vida. Y ha resultado que el 99% de la materia viva terrestre está compuesta únicamente de 6 elementos, cuyos símbolos químicos generan el acrónimo CHONPS:

- Oxígeno (O): en un 65,9 %.
- Carbono (C): en un 18,3 %.
- Hidrógeno (H): en un 10,2 %.
- Nitrógeno (N): en un 3,2 %.
- Fósforo (P): en un 1,1 %.
- Azufre (S): en un 0,3 %.

El 1% restante es imprescindible para la biología. Destacando 9 elementos más: Sodio (Na), Potasio (K), Magnesio (Mg), Calcio (Ca), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Cloro (Cl) y Yodo (I). Estos 15 elementos, junto a trazas de 10 más, dentro del grupo de los oligoelementos, conforman la familia de los ladrillos químicos de la vida.

Los elementos del grupo CHONPS son muy comunes, abundantes y tienen una alta capacidad reactiva entre ellos y con los otros 19. Entre todos, destaca el Carbono. Es el más ligero del grupo después del Hidrógeno, con el que reacciona fácilmente formando una sencilla molécula orgánica: el Metano/CH₄. Su capacidad reactiva es excepcional, se conocen más de 15 millones de compuestos de carbono orgánicos diferentes, hecho que resalta la versatilidad del mismo y, por tanto, las posibilidades aleatorias, muy superiores a las de cualquier otro elemento, para generar un repertorio molecular que haya sido apto para la prebiótica y su posterior evolución biológica.

La ciencia ficción ha especulado con la posibilidad de vida basada en el Silicio (Si). La elevada afinidad de este elemento con el Oxígeno ha generado el rico mundo geológico de los Silicatos (SiO₄⁻⁴). De hecho, los Silicatos son los granos de polvo más abundantes en las nebulosas y están presentes en el 95% de la masa terrestre. Pero, aunque sea el rey de la Geología, el Si carece de la capacidad reactiva del Carbono para generar moléculas complejas. Se han planteado otras posibles químicas biológicas, basadas en el Fósforo o el Nitrógeno, que han puesto en evidencia las mismas limitaciones. No obstante, aunque se las considere altísimamente incapaces de generar una química para la vida, jamás se pueden descartar para otras condiciones ambientales, aunque seamos incapaces de imaginarlas.



Los ladrillos de la vida

Y aun centrándonos simplemente en la rica química del Carbono, hemos puesto de manifiesto hasta 15 millones de moléculas orgánicas conocidas. Y eso significa que de sus posibilidades combinatorias también podría surgir otra química orgánica completamente diferente a la que conocemos.

En resumen, comprendemos la química de la vida terrestre y consideramos que, por su versatilidad, los elementos CHONPS, los otros 19, la molécula de agua y una serie de moléculas orgánicas son los ladrillos elementales de la biología. Por tanto, eso debe ser lo que hay que buscar fuera de nuestro planeta como indicadores de la posible existencia de marcadores vitales. Y eso nos lleva al concepto de Biomarcador o Biofirma.

Biomarcadores

Un Biomarcador o Biofirma ha sido definido en el campo de la Astrobiología como una señal o proceso que resulta claramente detectable y cuantificable y cuyo origen es inequívocamente biológico. Por tanto, detectar un Biomarcador fuera de la Tierra supondría haber descubierto vida en ese lugar. Y para afirmar esto, habrá que descartar cualquier posible origen no biológico.

Se han planteado diversos tipos de Biomarcadores. Los más importantes son:

- El más evidente sería identificar visualmente seres vivos o sus restos. Pero hay que ser muy cautos, no sea que confundamos elementos minerales confósiles microbianos (algo que ya ha ocurrido en la década de los 90 con el meteorito marciano encontrado en la Antártida ALH84001, en cuya publicidad se vio involucrada hasta la Casa Blanca).
- Ciertos minerales cuya composición nos pudieran indicar que en su origen intervinieran microorganismos.
- Encontrar desequilibrios isotópicos en ciertos elementos, Hierro y CHONPS, sobre todo. La actividad biológica tiende a consumir los isótopos más ligeros.
- La detección en una atmósfera de un gas cuya cantidad se desequilibra con el paso del tiempo.
- Recibir una señal electromagnética con características inequívocamente artificiales.
- Detectar compuestos moleculares que sólo pudieran ser producidos por el metabolismo de seres vivos y no por las condiciones químicas del lugar.
- También serían biomarcadores importantes todas las moléculas orgánicas complejas que se detectaran, como: ribosas, azúcares, aminoácidos...

Pero, repitiendo lo anterior, habría que estar totalmente seguros de que cualquiera de los *posibles* biomarcadores lo son efectivamente.

Por último, debe evitarse a toda costa en futuras exploraciones espaciales que no sean ellas mismas las portadoras de cierta contaminación biológica microbiana que nos pudiera confundir.

Con estos mimbres, la búsqueda de la vida fuera de la Tierra, pasa por detectar agua, encontrar elementos CHONPS y los otros 19, detectar moléculas orgánicas sencillas y así hasta detectar biomarcadores. Por tanto, debemos comenzar- y de hecho ya se ha hecho y se hace- explorando en nuestros planetas vecinos, en planetas enanos, en satélites, en cometas, en asteroides o en meteoritos. Pero ahora nos centraremos en los satélites galileanos de Júpiter y en las sondas de exploración en 2030 se espera que lleguen a los mismos.

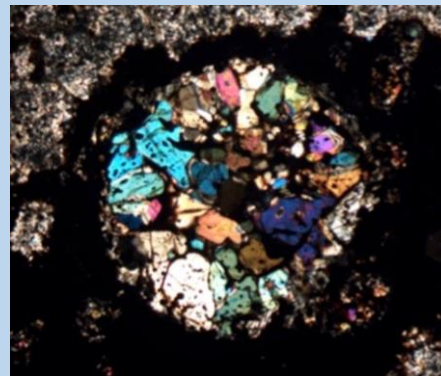
GEOLOGIA PLANETARIA – LA TIERRA

Por **Juan José Pueyo Mur**

Para tratar de *Geología planetaria* refiriéndonos a los planetas del Sistema Solar lo mejor es hablar de los planetas que muestran características geológicas superficiales identificables. En el Sistema Solar serán los planetas que tienen superficies sólidas, o sea, los situados entre el Sol y el Cinturón de Asteroides (incluyendo aquellos que se consideran protoplanetas - Vesta- o planetas enanos - Ceres-), y los cuerpos planetarios de superficie sólida situados más allá del Cinturón de Asteroides.

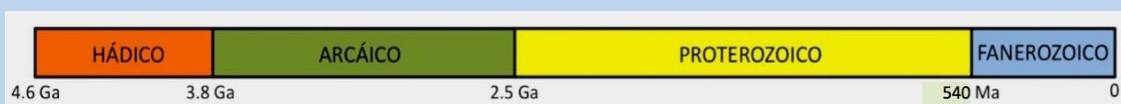
Entre estos últimos, los grandes satélites de los planetas gaseosos y Plutón con su satélite Caronte, ya en el límite del Sistema Solar más interior (30 unidades astronómicas) con el Cinturón de Kuiper. Una diferencia importante entre ambos grupos de cuerpos planetarios estriba en que en el grupo más interior dominan los silicatos, el metal (hierro) y el sulfuro de hierro debido a que proceden principalmente de la acreción de *material condritico*.

En cambio, más allá del cinturón de asteroides son predominantes los *hielos*. Recordemos que los productos finales de la condensación de las nebulosas son los óxidos (incluyendo los silicatos) con un 0,5% y los diversos tipos de hielo (de H₂O, de CO₂, de NH₃ de CH₄ de CO, y sus clatratos) con un 1,3%, quedando el resto (el 98,2%) como gas no condensado formado principalmente por hidrógeno (H₂), helio y algo de neón.



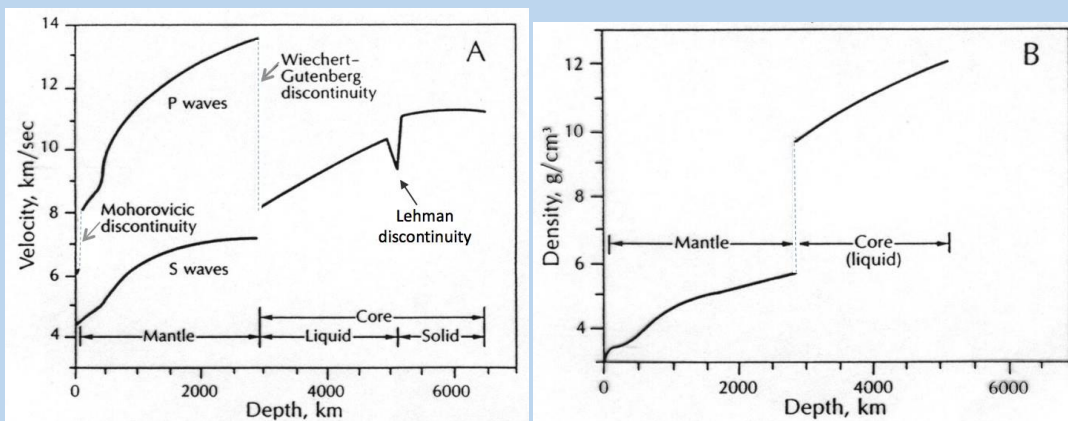
Izquierda. Meteorito NWA 869 (Tindouf, Argelia). Es un condrito ordinario con abundantes cóndrulos. (*Meteoritical Bulletin Database. 2023*). **Derecha.** Detalle de un cóndrulo. Originalmente (en general hace más de 4 Ga) los cóndrulos fueron gotas esféricas de vidrio (silicato fundido por impacto) que posteriormente desvitrificaron formando minerales estructuralmente mas estables

La historia de la Tierra se subdivide en 4 grandes periodos: el *Hádico* (4.6 a 4.0 Ga), el *Arcaico* (4.0 a 2.5 Ga), el *Proterozoico* (2.5 Ga a 540 Ma) y el *Fanerozoico* (540 Ma a tiempo presente).



El Hádico incluye las fases más violentas de acreción con la formación de los planetas terrestres a partir de la unión de protoplanetas y planetesimales. Durante el Arcaico empieza a haber ya evidencias indirectas de vida registradas en forma de indicadores (bio)geoquímicos.

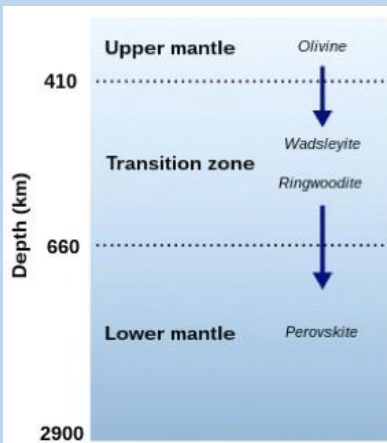
El tránsito al Proterozoico se caracteriza por el cambio de una atmosfera reductora, basada fundamentalmente en CO₂, a una atmósfera oxidante con un porcentaje de O₂ libre. Durante el Proterozoico hay ya marcas fósiles, estructuras de origen biológico, y algunos restos de caparazones o esqueletos, especialmente hacia su final (en el periodo Ediacariense). El Fanerozoico se caracteriza por un desarrollo muy importante de los seres vivos.



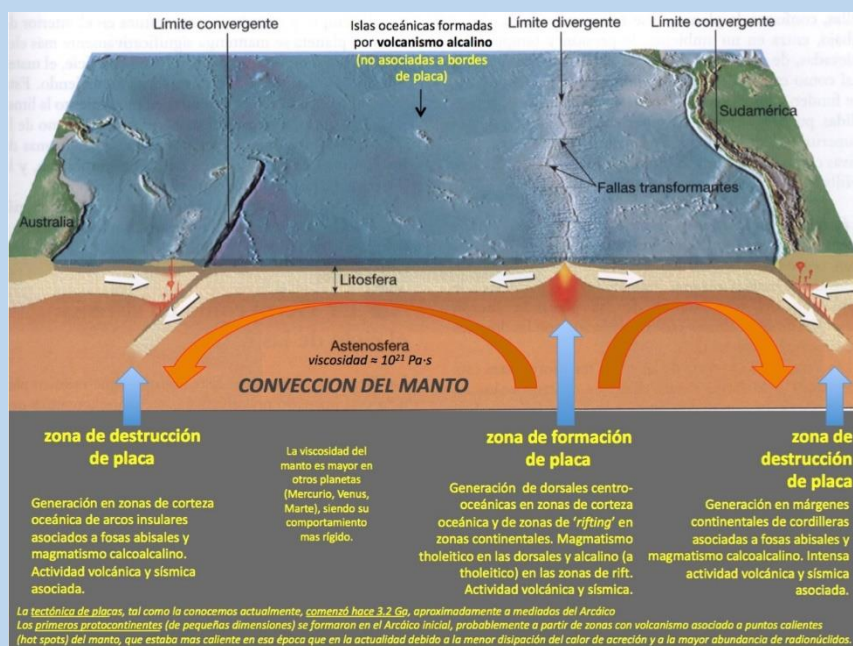
Izquierda. Velocidades de propagación de las ondas P y S en el interior de la Tierra. **Derecha.** La discontinuidad de Wiechert-Gutemberg implica una enorme variación de densidad entre el manto de silicatos al núcleo metálico. Otras importantes discontinuidades son la de Mohorovicic (corteza-manto) y la de Lehman (núcleo externo líquido – núcleo interno sólido).

Si bien la Tierra en su conjunto tiene una composición condritica, ya en el Hádico sufrió un proceso de diferenciación (sobre los 4.5 Ga) en el que se separaron la fase silicatada (formando el **manto**) de las fases metálica y sulfurada (que formaron el **núcleo** terrestre). Esta estructura concéntrica se confirma por los datos sísmicos y por el estudio de los meteoritos que llegan a la Tierra, la mayor parte de los cuales (un 87%) son condriticos, mientras que un 8,5% son acondriticos (solo formados por silicato) y un 4,5% tienen un alto contenido en hierro.

Tanto los acondriticos como los metálicos procederían de cuerpos ya diferenciados, tipo protoplaneta, fragmentados o totalmente destruidos durante las primeras fases de acreción (Hádico terrestre). En el caso de los datos sísmicos las velocidades de propagación de las ondas longitudinales (ondas P) revelan una enorme anomalía a 2900 km de profundidad (la discontinuidad de Wiechert- Gutemberg) interpretada como el tránsito manto-núcleo. Las ondas transversales (ondas S) no se propagan por el núcleo y se detienen en la mencionada discontinuidad, por lo que se sabe que el núcleo externo terrestre es líquido.



El manto terrestre si bien es considerado como casi homogéneo desde el punto de vista de su composición química, no lo es desde el punto de vista de su composición mineralógica. El manto superior, hasta los 410 km de profundidad contiene el silicato de magnesio (con algo de hierro divalente) *olivino*. Entre los 410 y los 660 km las formas estables son dos polimorfos mas densos, la *wadsleyita* y la *ringwoodita*, ambos con estructura tipo espinela, y entre los 660 y los 2900 km, el polimorfo estable es la *bridgmanita*, con estructura tipo perowskita.



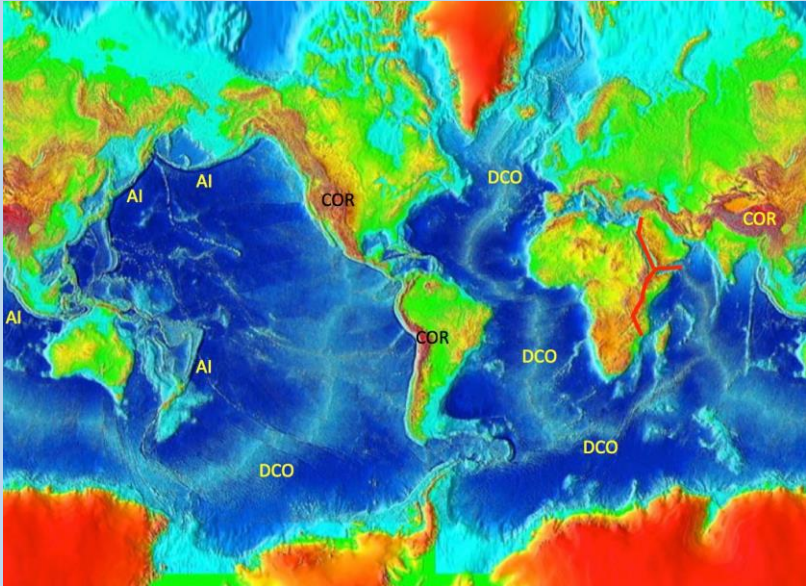
La baja viscosidad del manto terrestre hace que, en las condiciones de P y T existentes, se desarrolle convección al estado sólido. En la parte superior, o astenosfera, es del orden de 10^{21} pascals-s, mientras que en el manto mas profundo aumenta a $2 \cdot 10^{21}$ pascals-s. En las zonas de convergencia de placas, se producen orogenias (formación de cordilleras y arcos insulares). Cuando hay subducción de litosfera oceánica bajo litosfera continental se generan fosas oceánicas en la zona de flexura, siguiendo el borde continental.

Desde el punto de vista de las propiedades elásticas la parte más externa de la Tierra (los primeros 100 km, aproximadamente) se comporta rígidamente y se denomina **litosfera**. Por debajo de la litosfera el comportamiento es plástico, y esa parte se denomina **astenosfera**.

La litosfera contiene la corteza (≈ 6 km bajo los océanos – hasta más de 60 km bajo los continentes) y la parte más externa del manto, y es arrastrada por las corrientes convectivas de este último (se trata de convección al estado sólido) por lo que se fragmenta en *placas* que se desplazan por la superficie del planeta.

Hay zonas en que las placas se separan o divergen (zonas de rift, dorsales centro oceánicas) y, dado que la superficie terrestre es constante, hay zonas donde las placas litosféricas se destruyen o convergen (zonas de subducción, zonas de colisión). En las zonas de convergencia hay choque o tensión entre las placas lo que causa las orogenias (formación de cordilleras, arcos de islas).

En los bordes de placa, tanto convergentes como divergentes es donde se concentra la sismicidad y el magmatismo terrestre. La Tierra, si la comparamos con el resto de los planetas terrestres, es el único que tiene una *tectónica de placas litosféricas* bien desarrollada debido a la presencia de pequeñas cantidades de agua en el manto, lo que le confiere una viscosidad en la astenosfera de $\approx 10^{21}$ Pascal-s, inferior a la de los demás planetas terrestres (Mercurio, Venus o Marte).



DCO : dorsal centro oceánica (zona de divergencia y formación de placa litosférica). Las dorsales muestran desplazamientos laterales de continuidad causados por *fallas transformantes* (las fallas transformantes son rupturas con desplazamiento de la litosfera y su profundidad alcanza los 100 km).

RIFT : Equivalente a las DCO, pero en áreas continentales. Un ejemplo es el Valle del Rift, que se prolonga desde Kenia hasta Etiopia, y posteriormente por el Mar Rojo, Sinai, y Mar Muerto (*línea roja en el mapa*).

AI : Arco insular (zona de convergencia de placas en zonas de litosfera oceánica (Aleutianas, Japon, Indonesia)

COR: Cordilleras (convergencia de placas en zonas continentales (Rocosas, Andes, Himalayas).