

Las moléculas de agua de su balneario son más antiguas que la Tierra

Francisco ARMIJO⁽¹⁻²⁾

⁽¹⁾Escuela Profesional de Hidrología Médica, Facultad de Medicina,
Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España

⁽²⁾Departamento de Radiología, Rehabilitación y Fisioterapia, Facultad de Medicina,
Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España
farmijoc@med.ucm.es

Recibido: 13-05-19

Aceptado: 30-05-19

Resumen

Este trabajo presenta una breve visión cronológica de la formación del Universo, el Sistema Solar y la Tierra; así como de las reacciones químicas que han llevado a la formación de hidrógeno, oxígeno y agua en el Universo. Así mismo repasamos las teorías sobre la llegada del agua a nuestro planeta y su posterior mineralización hasta convertirse en aguas minero-medicinales y minerales naturales, poniendo de manifiesto la antigüedad de las moléculas de agua que las forman.

Palabras claves: formación agua, formación oxígeno, formación hidrógeno, formación Universo, formación Tierra

The water molecules from your spa are older than Earth

Abstract

This work presents a brief chronological view of the formation of the Universe, the Solar System and the Earth; as well as the chemical reactions that have led to the formation of hydrogen, oxygen and water in the Universe. We also review the theories on the arrival of water to our planet and its subsequent mineralization to mineral-medicinal waters and natural minerals, revealing the antiquity of the water molecules that form them

Key words: water formation, oxygen formation, hydrogen formation, Universe formation, Earth formation

REFERENCIA NORMALIZADA

Armijo F. Las moléculas de agua de su balneario son más antiguas que la Tierra. *Bol Soc Esp Hidrol Med*, 2019; 34(2): 113-127. DOI: 10.23853/bsehm.2019.0958

INTRODUCCIÓN

No hay ninguna duda que el agua mineromedicinal de un balneario es su elemento primordial, sin ella no podrían existir estos centros terapéuticos. Desde un punto de vista fisicoquímico cualquier tipo de agua la podemos definir como un sistema heterogéneo formado por una suspensión de fases sólidas, de naturaleza orgánica e inorgánica, en una fase líquida formada, por una solución de solutos moleculares o iónicos de naturaleza orgánica o inorgánica cuyo solvente es la sustancia llamada agua.

De todos los fluidos puros, el agua o la "sustancia agua ordinaria", como se la llama, o simplemente H₂O, es sin duda la sustancia más importante que existe en nuestro Universo¹.

La sustancia agua es fundamental para la vida y ha resultado indispensable para su desarrollo en la Tierra².

Las aguas mineromedicinales son un tipo de agua, de origen profundo, resultado de muchos años de interacción de la sustancia agua con los materiales rocosos de los acuíferos en los que se encuentra contenida, el pH el potencial de óxido reducción, la solubilidad y el tiempo de contacto condicionan la disolución de los minerales que dan lugar a su contenido iónico, a los gases y a los materiales suspendidos que deben permanecer constantes³.

El tiempo medio de permanencia del agua en un acuífero es de 100 a, aunque existen acuíferos que se llenaron con agua hace unos cinco mil millones de años y su conservación está relacionada con la solidez geológica de un área tan vasta como la que se ha desarrollado bajo el desierto del Sáhara⁴.

La importancia de esta sustancia fue siempre intuida por el hombre y pueden valernos como muestra las enseñanzas del filósofo griego Tales de Mileto (623-540 a.C.) convencido que el principio de todas las cosas era el agua, ya que la vida está ligada a la humedad y esta proviene del agua⁵.

A pesar de conocerse la importancia de esta sustancia, habrían de trascurrir más de dos mil años para que Antoine Lavoisier, en 1783, anunciara a la Academia Francesa que el agua era el producto de la combinación de hidrógeno "aire inflamable" con el oxígeno. En su Memoria, relataba un experimento realizado ante el rey Luis XVI en el que aplicó una descarga eléctrica a una mezcla de hidrógeno y oxígeno que generó varias gotas de agua. Posteriormente continuó su explicación en otro trabajo titulado "*Memoria donde se prueba, por la descomposición del agua, que este fluido no es en absoluto una sustancia simple, y que existen numerosos medios de obtener el aire inflamable que forma parte de ella como principio constituyente*"⁶⁻⁷.

El objetivo de este trabajo es relacionar el agua mineromedicinal de los balnearios con la sustancia agua, buscando los orígenes de sus componentes, cuándo, dónde y cómo se formó, cómo y cuando llegó a la Tierra y cómo contribuyó a la formación de la vida y más recientemente de aguas de todo tipo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se ha utilizado el método heurístico, buscando bibliografía sobre el tema y ordenándola para poder dar una visión sencilla, en orden cronológico, de lo que sucedió desde el origen de los tiempos hasta que el agua surgió en los manantiales. Para facilitar la lectura daremos las fechas desde el origen en millones de años.

LA NADA

Para los humanos es difícil interpretar la nada, la ausencia total de cualquier cosa, ya sea materia o energía. El vacío no existe, incluso si en una región del espacio consiguiéramos que no existiera ni una única sola partícula seguiría habiendo allí una serie de fluctuaciones, diminutas ondas de naturaleza cuántica que, apareciendo y desapareciendo continuamente, harían que en ese espacio existiera energía⁸.

Pues en el principio no había nada, ni espacio, ni tiempo, ni luz.

EL ORIGEN DEL UNIVERSO

En esa nada y de esa nada nació el Universo en el llamado Big Bang, como un punto caliente y denso con un tamaño nulo, en el que la densidad y la curvatura espacio y tiempo llegaron ser infinitas hace unos $13800 \cdot 10^6$ a ($13,8 \text{ Ga}$)⁹⁻¹⁰⁻¹¹.

Para poder medir la mayoría de las cosas, es necesario establecer un punto de partida, en este caso el origen se corresponde con el momento en el que nació el Universo y a partir del cual se puede contar el tiempo. George Gamow, en 1948, propuso que el Universo se creó a partir del Big Bang, adelantando que su explosión había dado lugar a una radiación de fondo que fue recogida en 1965 por Arno Penzias y Robert Wilson de los Laboratorios Bell, con un detector de microondas extremadamente sensible¹².

Lo que vieron con su antena era la luz más antigua del Universo, los primeros fotones creados tan sólo 380.000 años después del Big Bang (Hace $13799,62 \cdot 10^6$ a) cuando el joven Universo se expandió hasta permitir que se desacoplaran la materia y la radiación y ésta pudo circular libremente por primera vez.

Aproximadamente, al mismo tiempo que este descubrimiento, Bob Dicke y Jim Peebles estudiaban cómo el Universo en sus primeros instantes debería haber sido muy caliente y denso, para acabar blanco incandescente, pero la expansión del Universo y el paso del tiempo implicarían que su luz debería estar tan desplazada hacia el rojo que nos llegaría como radiación de microondas, que fue la que la antena de Penzias y Wilson fue capaz de captar, como había predicho Gamow¹³.

Esta radiación cósmica de fondo tiene dos características, es casi igual en todas las direcciones, como George F. Smoot y su equipo descubrieron en 1992, y su

espectro se parece al de un objeto a 2726 K, temperatura inferior a la del Universo en el momento de su nacimiento, pero ya se conocía que la temperatura del fondo cósmico disminuiría por la propia expansión del Universo¹⁴⁻¹⁵.

Además de la radiación de microondas otro tipo de ondas se habían formado en las primeras fracciones de segundo de vida de nuestro Universo, las ondas Gravitacionales.

Según la teoría inflacionaria, el cosmos habría experimentado una fase de rápido crecimiento exponencial durante la primera fracción de segundo de su existencia. Gracias a un radiotelescopio situado en el Polo Sur se hallaron los primeros indicios de ondas gravitacionales primigenias, perturbaciones en el espaciotiempo generadas durante el periodo inflacionario, una predicción clave pero muy escurridiza de la teoría de la relatividad general de Einstein.

El 16 de marzo de 2014 los científicos a cargo del experimento Bicep2, un telescopio especial colocado en la Antártida, anunciaron la detección de ondas gravitacionales primordiales originadas en las primeras fracciones de segundo después del origen del Universo¹⁶.

Por la detección de ondas gravitacionales Rainer Weiss, Barry Barish y Kip Thorne ganaron el Nobel de Física en 2017 por su trabajo en LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) el detector de ondas gravitacionales.

El 14 de septiembre de 2015, los dos detectores de LIGO captaron simultáneamente la primera señal de una onda gravitacional, tras un trabajo que había comenzado cinco décadas antes. La produjo el choque de dos agujeros negros decenas de veces más masivos que el Sol. Su onda expansiva había viajado por el Universo durante 1.300 millones de años hasta ser captada¹⁷.

Un segundo después del Big Bang, la temperatura del Universo había descendido alrededor de diez mil millones de grados, y era un caliente y agitado plasma, una densa nube que contenía fotones, electrones, neutrinos y sus antipartículas, junto con protones y neutrones, una neblina espesa de brillo deslumbrante.

Cien segundos después, la temperatura habría descendido a mil millones de grados y protones y neutrones habrían comenzado a combinarse para producir núcleos de átomos de deuterio, helio, hidrógeno y también pequeñas cantidades de litio y berilio¹⁸.

FORMACIÓN DE HIDRÓGENO

Cuando el Universo se había expandido hasta un 0,1 % de su tamaño actual y la temperatura había disminuido a unos 3000 K los iones y los electrones se pudieron combinar para crear hidrógeno y helio neutros.

Esta situación ocurría 380000 años después del Big Bang, momento que ya hemos citado, correspondiente al periodo llamado recombinación en el que el Universo se volvió oscuridad.

Al llegar el Universo a un quinto de su tamaño actual, debido a la expansión, la materia se había congregado en nubes de gas de tal tamaño que se podían considerar galaxias jóvenes¹⁹.

A medida que el tiempo transcurría, los gases hidrógeno y helio de las galaxias se disgregaron en nubes más pequeñas cuyos átomos al colisionar unos con otros aumentaron la temperatura hasta iniciar reacciones de fusión nuclear.

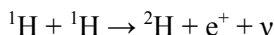
Las primeras estrellas del Universo formadas alrededor de 100 millones de años después del Big Bang (hace $13.700 \cdot 10^6$ a) eran más luminosas en la longitud de onda ultravioleta del espectro, pero esta radiación era absorbida por el hidrógeno, al final la energía lumínica acabaría por romper los átomos de hidrógeno; comenzaba la era de la reionización²⁰.

El cúmulo globular NGC 6397 que contiene alrededor de 400.000 estrellas está ubicado a unos 7800 años luz de distancia y es uno de los más cercanos a la Tierra. Se estima, que su edad es de $13600 \cdot 10^6$ a, probablemente uno de los primeros objetos de la Galaxia formado solo unos 200 millones de años después del Big Bang²¹.

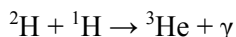
FORMACIÓN DE OXÍGENO

Los elementos más pesados como el carbono y el oxígeno fueron formándose en las estrellas, acumulándose en el Universo con el tiempo. El oxígeno se formó por fusión nuclear de hidrógeno y helio en la parte central de las estrellas masivas. Cuando estas estrellas consumen su combustible nuclear desarrollan un viento o explotan como una supernova enriqueciendo el espacio con los elementos más pesados²².

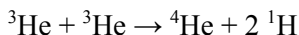
La formación de oxígeno se produjo cuando dos protones se fusionaron para formar deuterio, liberando un positrón y un neutrino



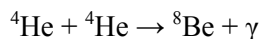
El deuterio resultante se fusionaría a su vez con otro protón para crear un isótopo de helio, helio-3, liberando un fotón.



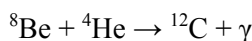
Dos núcleos de helio-3 se fusionan para producir helio-4 y dos protones.



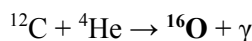
Dos núcleos de helio-4 se fusionan para formar berilio-8.



Un núcleo de helio se une al ${}^8\text{Be}$, dando lugar a un núcleo de carbono-12 liberando un fotón.



La fusión de un núcleo de carbono-12 con otro núcleo de helio-4 da ${}^{16}\text{O}$ estable, con liberación de energía en forma de fotón gamma.



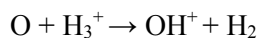
¿Cuándo se constató la presencia de oxígeno en el Universo? En 2016 el Atacama Large Millimeter/submillimeter Array mostró una línea de emisión de oxígeno, a una longitud de onda de 88 micrómetros, en una galaxia de aproximadamente 700 millones de años después del Big Bang (Hace 13100 10^6 a). La abundancia de oxígeno de esta galaxia se estima en alrededor de una décima parte de la del Sol²³.

¿CÓMO SE FORMÓ EL AGUA EN EL UNIVERSO?

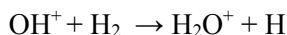
Recogidas de diferentes autores, indicamos tres rutas sintéticas distintas: La primera en fase gaseosa a baja temperatura ($\lesssim 100$ K) a partir de iones y moléculas neutras, la segunda en fase gaseosa a alta temperatura mediante reacciones entre moléculas neutras, y la tercera en la superficie de granos materiales.

La primera ruta es la dominante en las nubes interestelares frías, donde las bajas temperaturas limitan las reacciones importantes solo a las que son rápidas, exotérmicas y sin barreras de energía de activación. La reacción ion-molécula iniciada por los rayos cósmicos o rayos X ionizantes genera bajas concentraciones de agua, un 10^{-7} con respecto a la concentración de hidrógeno.

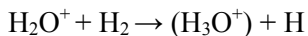
La reacción del oxígeno atómico con el ion triatómico H_3^+ conduce al ion transitorio OH^+



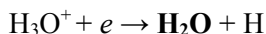
El ion hidroxilo reacciona rápidamente con H_2 para formar el ion agua



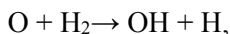
El ion agua reacciona con más hidrógeno para formar el ion hidronio saturado (H_3O^+)



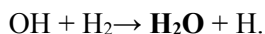
El ion hidronio es destruido por recombinación por electrones



La segunda ruta que ocurre a altas temperaturas, como las que se producen en los choques, las barreras de reacción de O y OH con H_2 pueden superarse y el H_2O se forma rápidamente a temperaturas ≥ 300 K, directamente a través de las reacciones entre moléculas neutras.



seguidas de

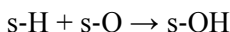


Esta ruta de formación es particularmente importante en choques cuando el gas se calienta a altas temperaturas y puede convertir la mayor parte del oxígeno en H_2O ²⁴⁻²⁵.

Finalmente, en las nubes densas y frías, la formación de hielo de agua es muy eficiente y bloquea la mayor parte del oxígeno. El hielo puede convertirse en agua en fase gaseosa por desorción térmica a altas temperaturas y por foto desorción provocada por la radiación UV en nubes frías.

Existen diversos mecanismos:

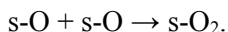
Mecanismo 1. Partiendo de oxígeno atómico y de hidrógeno atómico que se acumulan sobre un grano de polvo y difunden uno hacia el otro formando el radical OH.



Un segundo átomo de H incide en el grano de polvo y difunde hasta el OH para formar agua:



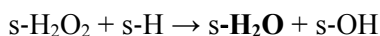
Mecanismo 2. A partir de O_2 , este mecanismo comienza con la formación por difusión de oxígeno molecular



El oxígeno molecular puede agregar entonces átomos de hidrógeno para formar el radical s-HO₂ y luego s-H₂O₂:



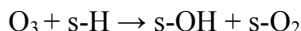
Con más s-H se forma agua:



Mecanismo 3, a partir de O₃: Una vez que se produce s-O₂, la adición de otro átomo de oxígeno sobre la superficie de un grano de polvo o hielo puede producir ozono.



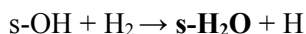
El ozono puede reaccionar con s-H para formar s-OH + s-O₂



Posteriormente la reacción de s-OH con s-H forma agua



Mecanismo 4 Utilizando H₂: La reacción entre s-OH y el hidrógeno molecular para formar agua e H es muy controvertida.



La reacción puede ocurrir a través de túneles, pero esta reacción necesite una energía de activación considerable en la fase gaseosa²².

¿CUÁNDO SE FORMÓ EL AGUA?

El vapor de agua interestelar fue descubierto en 1969 en la nebulosa de Orión por el grupo de Charles Townes. Esta detección fue algo accidental, ya que se encontró que el agua puede emitir una radiación anómalamente fuerte a 22 GHz (1,4 cm) a través del proceso maser²⁶.

El agua, en estado de vapor, se descubrió en el quásar MG J0414+0534, a una distancia en el tiempo, de 11.100 millones de años, una época en la que el Universo sólo tenía una quinta parte de la edad que tiene hoy.

El descubrimiento de agua en MG J0414+0534 constituye la primera vez que algún gas de esa densidad se ha observado en un pasado tan remoto del Universo, y esto muestra que las condiciones necesarias para la formación y subsistencia de las moléculas de agua ya existían 2.500 millones años después del Big Bang (hace $11300 \cdot 10^6$ a)²⁷.

El hielo de agua fue detectado en 1973 en el espectro infrarrojo de protoestrellas que se forman en el interior de nubes moleculares y ahora se encuentra en densas nubes interestelares en todas nuestras galaxias.

Recientemente, un modelo teórico predice que se podrían formar cantidades significativas de vapor de agua en las nubes moleculares de las galaxias jóvenes, aunque estas nubes transportan miles de veces menos oxígeno que la de nuestra propia galaxia actual.

Los reservorios de agua podrían haberse formado mucho antes, menos de mil millones de años después del Big Bang, cuando el Universo tenía solamente el 5% de su edad, es decir unos 700 millones de años hace $13.100 \cdot 10^6$ a²⁸.

EL SISTEMA SOLAR

La Unión Astronómica Internacional incluye actualmente en el Sistema Solar ocho planetas, los planetas enanos, satélites, asteroides, objetos del Cinturón de Kuiper y cometas de la nube de Oort²⁹.

Este sistema comenzó a formarse hace unos 4650 millones de años ($9150 \cdot 10^6$ a después del Big Bang), por el colapso gravitacional de una nube de polvo y gas. Posiblemente una supernova explotó dando lugar a que la nube molecular empezara a girar rápidamente y los átomos en su interior comenzaran a colisionar liberando calor.

Unos 100 millones de años después, hace $4568 \cdot 10^6$ a, ($9232 \cdot 10^6$ a después del Big Bang) el polvo en órbita alrededor de la protoestrella central, el Sol, formó los planetas³⁰.

EL PLANETA TIERRA

Se considera que la Tierra se formó hace $4540 \cdot 10^6$ a, a partir del disco de gas y polvo que giraba alrededor del Sol primigenio. Nació por agregación de planetesimales, algunos secos procedentes de las regiones espaciales más cercanas al Sol y

otros, los llegados de más allá de la línea de nieve, que aportaron cierto volumen de agua.

En aquel entonces parece que el planeta aún se encontraba en estado fundido, pero mantenía cierta humedad en su manto exterior. Su tamaño aumentaba por la agregación de más planetesimales y la mayor parte del agua del manto se encontraba como minerales hidratados.

Durante muchos años se ha creído que la Tierra mantuvo estas condiciones abrasadoras hasta unos $700 \cdot 10^6$ a después de su formación, pero ahora por unos cristales de circón que indicaban un ambiente más benigno se piensa que nuestro planeta se enfrió mucho antes quizás hace $4400 \cdot 10^6$ a³¹.

Hasta hace unos años se pensaba que la Tierra y sus planetas vecinos crecieron de forma gradual, en un proceso lento y constante que se prolongó durante más de 500 millones de años. Sin embargo, los datos recientes indican que fueron sus colisiones mutuas y varios procesos de alta energía los que dieron origen a los planetas. Nuevas pruebas obtenidas a partir del análisis de meteoritos han revelado que los precursores de los planetas incluida la Tierra se formaron solo en apenas 3 millones de años³².

Unos $9320 \cdot 10^6$ a después del Big Bang un objeto del tamaño de Marte impactó con la Tierra, desestabilizando su manto exterior y expulsando gran parte del agua al espacio, formándose nuestra Luna por agregación de los residuos proyectados³⁰.

En el año 1971 los astronautas del Apolo 14 Alan Shepard y Edgar Mitchell trajeron a la Tierra una pequeña colección de rocas lunares, entre ellas había una auténtica sorpresa: un pedazo del planeta Tierra.

Dicho pedazo pudo ser expulsado de la Tierra como consecuencia del impacto, una de las rocas contenía un pequeño fragmento de apenas dos gramos de peso hecho de cuarzo, feldespato y circón, materiales muy raros en la Luna, pero extraordinariamente comunes en la Tierra. Un análisis de esta *moon rock*, reveló que se formó a temperaturas y en un entorno similar a la Tierra, cristalizando cuando ésta era todavía joven³³.

¿CÓMO LLEGO EL AGUA A LA TIERRA?

Tenemos una maltrecha Tierra, un planeta seco y volcánico en el que una nueva agua procedente del material caído y de los gases volcánicos forma los primeros nuevos mares sobre una superficie en constante enfriamiento.

Cuando habían transcurrido unos $9800 \cdot 10^6$ a después del Big Bang, hace unos $4000 \cdot 10^6$ a alcanzó a la Tierra una aportación de agua a bordo de asteroides y cometas llegados de las regiones externas del sistema solar.

Desde la década de los años cincuenta del siglo pasado, se sabe que los cometas se componen sobre todo de hielo y que llegan al sistema solar procedentes de las enormes reservas del cinturón de Kuiper y la nube de Oort situada mucho más lejos.

En los últimos años se ha comprobado que algunos cometas del cinturón de Kuiper presentan una proporción deuterio/hidrógeno similar a la de los océanos terrestres³⁴.

Las mediciones efectuadas por la sonda Rosetta en el cometa 67P Churyumov Gerasimenko mostraron una relación deuterio/hidrógeno tres veces mayor que la de nuestros océanos, sugiriendo que los cometas no constituirían la fuente dominante de agua³⁵.

Un grupo de investigadores de la Universidad Estatal de Arizona ha encontrado agua en muestras de la superficie del asteroide Itokawa, que fueron recolectadas por la sonda espacial japonesa Hayabusa. Itokawa es un asteroide con forma de cacahuete de aproximadamente 550 metros de largo y unos 300 de ancho que orbita en torno al Sol cada 18 meses.

Los investigadores utilizaron un espectrómetro de masas de iones secundarios a escala nanométrica (NanoSIMS), que puede medir concentraciones muy pequeñas con gran sensibilidad.

Los minerales del asteroide Itokawa tienen contenidos de agua de 698 a 988 mg/kg. Este hallazgo sugiere que los impactos de asteroides en la Tierra podrían haber generado hasta la mitad del agua de los océanos de nuestro planeta.³⁷.

Muy recientemente, en mayo de 2019, en un trabajo publicado en la revista *Nature Astronomy*, los planetólogos de la Universidad de Münster plantearon otra hipótesis diferente; el cuerpo del tamaño de Marte llamado Theia que se estrelló brutalmente con la proto-Tierra formando la Luna, estaba cargado de agua, que provenía del exterior del sistema solar y aportó la mayoría del agua de nuestro planeta³⁷.

El hielo ha tenido gran importancia cuando consideramos la manera de llegar agua a la Tierra, pero sabemos que pueden existir hasta doce fases de hielo y que a temperaturas muy bajas se forma hielo amorfo de alta densidad carente de ordenación cristalina³⁸⁻³⁹.

Este tipo de hielo expuesto a la radiación interestelar puede fluir como el agua líquida, aun cuando su temperatura apenas supere el cero absoluto, facilitando la formación de moléculas orgánicas en su interior⁴⁰.

Llegase como llegase, el agua ha estado presente en todas y cada una de las etapas de creación y desarrollo de las moléculas necesarias para la vida.

AGUA EN LA TIERRA

Entre el 30 y el 50 por ciento del agua que existe en la Tierra provino de la nube molecular, esto significa que esa agua es aproximadamente un millón de años más

antigua que el sistema solar. Los cometas y los océanos de la Tierra contienen proporciones particulares de agua pesada, con mayor contenido en deuterio que las del agua que contiene el Sol.

La Tierra recibió una contribución de agua de alguna fuente que era muy fría, apenas decenas de grados por encima del cero absoluto, en tanto que el Sol, sustancialmente más caliente, ha eliminado este rasgo de deuterio, o agua pesada⁴¹.

Un equipo de la Universidad de Ottawa dirigido por Jonathan O'Neil sostiene que las rocas de Nuvvuagittuq en la bahía de Quebec se formaron hace 4400 10^6 a, de ser así, se trataría de las rocas más antiguas halladas sobre la Tierra; las rocas sedimentarias lo hicieron después hace 3900 10^6 a, esto indica que, entre estas dos fechas, nuestro planeta recogió el agua que hoy tenemos⁴².

En la Tabla 1 resumimos cronológicamente las fechas de formación de los elementos necesarios para la síntesis del agua, del nacimiento del Sistema Solar y de la Tierra y de la llegada de agua a nuestro planeta.

Tabla 1 - Cronología de eventos universales

	Ocurrió hace x 10^6 años	Tiempo transcurrido años
Big Bang	0	13800
Hidrógeno	380000	13799
Estrellas	100000000	13700
NGC 6397	200000000	13600
Oxígeno	700000000	13100
Agua	1000000000	12800
Sistema Solar	9232000000	4568
Tierra	9260000000	4540
Choque con Theia	9320000000	4480
Tierra fría	9400000000	4400
Rocas más antiguas	9400000000	4400
Asteroides con agua	9800000000	4000
Rocas sedimentarias	9700000000	3900
Hoy	13800000000	0

Pero, no solo encontramos agua en nuestro planeta, Venus tuvo agua en su superficie que llegó al planeta por los mismos procedimientos que a la Tierra, pero la conservó menos tiempo, hasta hace unos 1200 10^6 a, aunque existen razones para pensar que alcanzó las condiciones necesarias para albergar vida antes que la Tierra y las mantuvo durante más de mil millones de años⁴³.

Toda esa agua que se había formado muchos millones de años antes llegó a la Tierra por los diferentes procedimientos explicados, iniciando su acción sobre

nuestro, planeta tanto en superficie como subterráneamente, siguiendo el llamado ciclo del agua.

Los manantiales de los balnearios son una parte de dicho ciclo y la sustancia agua, con sus peculiares características, ha sido la encargada de dotarlos de los componentes disueltos y suspendidos que les proporcionan sus propiedades terapéuticas.

CONCLUSIONES

La sustancia agua ha recorrido por el espacio un largo camino de $9100 \cdot 10^6$ a desde sus orígenes hasta su llegada a la Tierra, salvando los obstáculos de un Universo en continua expansión.

Las moléculas de agua que forman parte de las aguas mineromedicinales de los balnearios, o de las aguas minerales que guardamos en los frigoríficos, o del agua de red que sale por los grifos, formadas mucho antes que el Sistema Solar; son verdaderas reliquias, testigos de nuestro más lejano pasado.

BIBLIOGRAFIA

1. Dorsey NE. Properties of ordinary water-substance. New York: Hafner Publishing Company; 1968.
2. Kasting J. How to find a habitable planet. Princeton, N.J.: Princeton University Press; 2012.
3. Maraver F, Armijo F. Vademécum II de aguas mineromedicinales españolas. Madrid: Editorial Complutense; 2010.
4. MacDonald A, Bonsor H, Dochartaigh B, Taylor R. Quantitative maps of groundwater resources in Africa. Environmental Research Letters. 2012;7(2):024009.
5. Britannica. Boston: Encyclopaedia Britannica; 2009.
6. Armijo F. Cien años de análisis de las aguas mineromedicinales. Madrid: Universidad Complutense de Madrid; 2012
7. Pellón González I. Un químico ilustrado. Madrid: Nivola Libros Ediciones; 2002.
8. Benea-Chelmus I, Settembrini F, Sculari G, Faist J. Electric field correlation measurements on the electromagnetic vacuum state. Nature. 2019;568(7751):202-206.
9. Gamow G. The creation of the universe. New York: Viking Press; 1952.
10. Hawking S. A brief history of time. From the Big Bang to black holes. NY: Bantam Books; 1988
11. Hawking S, Mlodinow L. A brief history of time. New York: Bantam Books; 2005.
12. Penzias A, Wilson R. Measurement of the Flux Density of CAS a at 4080 Mc/s. The Astrophysical Journal. 1965;142:1149.
13. Dicke R, Peebles P, Roll P, Wilkinson D. Cosmic Black-Body Radiation. The Astrophysical Journal. 1965;142:414.

14. Smoot G, Bennett C, Kogut A, Wright E, Aymon J, Boggess N et al. Structure in the COBE differential microwave radiometer first-year maps. *The Astrophysical Journal*. 1992;396:L1.
15. Peebles P, Schramm D, Turner E, Kron R. The Evolution of the Universe. *Scientific American*. 1994;271(4):52-57.
16. Cowen R. Telescope captures view of gravitational waves. *Nature*. 2014;507(7492):281-283.
17. Abbott B. P. et al. Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. *Phys. Rev. Lett*. 2016;116(6):061102 (16)
18. Alpher R, Bethe H, Gamow G. The Origin of Chemical Elements. *Physical Review*. 1948;73(7):803-804.
19. James P, Peebles E. Making Sense of Modern Cosmology. *Scientific American*. 2001;284(1):54-55.
20. Lemonick M. The First Starlight. *Scientific American*. 2014;310(4):38-45.
21. Pasquini L, Bonifacio P, Randich S, Galli D, Gratton R. Beryllium in turnoff stars of NGC 6397: Early Galaxy spallation, cosmochronology and cluster formation. *Astronomy & Astrophysics*. 2004;426(2):651-657.
22. van Dishoeck E, Herbst E, Neufeld D. Interstellar Water Chemistry: From Laboratory to Observations. *Chemical Reviews*. 2013;113(12):9043-9085.
23. Inoue A, Tamura Y, Matsuo H, Mawatari K, Shimizu I, Shibuya T et al. Detection of an oxygen emission line from a high-redshift galaxy in the reionization epoch. *Science*. 2016;352(6293):1559-1562.
24. Draine B, Roberge W, Dalgarno A. Magnetohydrodynamic shock waves in molecular clouds. *The Astrophysical Journal*. 1983;264:485.
25. Kaufman M, Neufeld D. Water Maser Emission from Magnetohydrodynamic Shock Waves. *The Astrophysical Journal*. 1996;456:250.
26. Cheung A, Rank D, Townes C, Thornton D, Welch W. Detection of Water in Interstellar Regions by its Microwave Radiation. *Nature*. 1969;221(5181):626-628.
27. Impellizzeri C, McKean J, Castangia P, Roy A, Henkel C, Brunthaler A et al. A gravitationally lensed water maser in the early Universe. *Nature*. 2008;456(7224):927-929.
28. Bialy S, Sternberg A, Loeb A. Water formation during the epoch of first metal enrichment. *The Astrophysical Journal*. 2015;804(2):L29.
29. Arias D. *El universo sin fin*. Barcelona: Planeta De Agostini; 2011.
30. Tyson N, Goldsmith D. *Origins*. New York: W.W. Norton & Co.; 2004
31. Valley J. A Cool Early Earth?. *Scientific American*. 2005;293(4):58-65
32. Elkins-Tanton L. Solar System Smashup. *Scientific American*. 2016;315(6):42-49.
33. Bellucci J, Nemchin A, Grange M, Robinson K, Collins G, Whitehouse M et al. Terrestrial-like zircon in a clast from an Apollo 14 breccia. *Earth and Planetary Science Letters*. 2019;510:173-185
34. Jewitt D, Young E. Oceans from the Skies. *Scientific American*. 2015;312(3):36-43.
35. Altwegg K, Balsiger H, Bar-Nun A, Berthelier J, Bieler A, Bochsler P et al. 67P/Churyumov-Gerasimenko, a Jupiter family comet with a high D/H ratio. *Science*. 2014;347(6220):1261952-1261952.
36. Jin Z, Bose M. New clues to ancient water on Itokawa. *Science Advances*. 2019;5(5):eaav8106.

37. Budde G, Burkhardt C, Kleine T. Molybdenum isotopic evidence for the late accretion of outer Solar System material to Earth. *Nature Astronomy*. 20 May 2019. doi: 10.1038/s41550-019-0779-y
38. Bridgman P. Verhalten des Wassers als Flüssigkeit und in fünf festen Formen unter Druck. *Zeitschrift für anorganische Chemie*. 1912;77(1):377-455.
39. Burton E. F, Oliver W.F. The crystal structure of ice at low temperatures. *Proceedings of the Royal Society of London Series A*. 1935;153(878):166-172.
40. Blake D, Jenniskens P. The Ice of Life. *Scientific American*. 2001;285(2):44-51
41. Cleeves L, Bergin E, Alexander C, Du F, Graninger D, Oberg K et al. The ancient heritage of water ice in the solar system. *Science*. 2014;345(6204):1590-1593.
42. Zimmer C. The Oldest Rocks on Earth. *Scientific American*. 2014;310(3):58-63.
43. Dyar M. D., Smrekar S. E. and Kane S R. How Visiting Venus Will Help Us Find Life on Distant Planets. *Scientific American*. 2019;320(2):58-63