

# Revisión sobre las diferentes fuentes de fósforo provenientes del espacio exterior y su importancia en el origen de la vida

## Review of the different sources of phosphorus from outer space and its importance in the origin of life

Andrés Felipe Amarís Álvarez<sup>1,3\*</sup> Miguel Angel Pinilla Ferro<sup>2,3,4</sup>

1. Biólogo Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá D.C

2. Estudiante de Matemáticas Universidad Distrital Francisco José de Caldas

3. Integrante Grupo Estudiantil Astrobiología Universidad Nacional de Colombia (UNASB)

4. Integrante Grupo Estudiantil de Ciencias Planetarias TITAN. Universidad Nacional de Colombia

Aceptado: Diciembre 2014 Publicado en línea Marzo 2015

ISSN: 2256- 3830

---

### Resumen

La importancia del fósforo para que la vida pudiese evolucionar hasta como la conocemos es notable; ya que este elemento químico hace parte de varias biomoléculas. Pero en la Tierra primitiva el fósforo estaba presente en minerales que no eran solubles en agua como la apatita, hidroxiapatita, entre otros. Por lo cual se presume que los primeros sistemas protocelulares no poseían esta molécula. El valor del grupo fosfato radica en que presenta una gran cantidad de energía si se enlaza con otro grupo fosfato como es el caso del ATP. Así dado lo anterior y por la importancia que presenta el fósforo y su derivado el grupo fosfato; se piensa que este elemento, para el origen a los sistemas vivos actuales pudo provenir del espacio. Gracias al bombardeo de cuerpos celestes que sufrió la Tierra entre 4 y 3.8 billones de años atrás, ya que en estos cuerpos se ha detectado la presencia de varios minerales diferentes a la apatita; que al parecer puedan donar el grupo fosfato y volverlo disponible al medio para que lo aprovechen los primeros sistemas protocelulares. Por lo cual estos cuerpos celestes son objeto de estudio para determinar la presencia de fósforo que se pueda solubilizar en agua. Se hace necesario el estudio entonces de meteoritos y asteroides para el análisis de compuestos de fósforo que puedan dar origen a minerales solubles en agua.

**Palabras clave:** Grupo Fosfato, Meteoritos, Astroquímica, Minerales.

### Abstract

The importance of the phosphorus for that life could evolve into as we know it is remarkable; since this chemical element is part of several biomolecules. But early Earth phosphorus was present in minerals that were not water soluble like as apatite, hydroxyapatite, among others. Therefore it is presumed that the first protocells systems did not have this molecule. The value of the phosphate group is that it has a lot of energy if linked with another phosphate group that in the case of the ATP; its think that this element to the source to current living systems could come from space. Thanks to the bombing of celestial bodies that suffered the Earth between 4 and 3.8 billion years ago, since in these bodies have detected the presence of

\*afamarisa@unal.edu.co

several different minerals apatite apparently can donate the phosphate group and re available to exploit it means for the first protocells systems. Therefore these celestial bodies are studied for the presence of phosphorus that can be solubilized in water. Then studying meteorites and asteroids to analyze phosphorus compounds may form water-soluble minerals is necessary.

**Key words:** Phosphate group, Meteorites, Astrochemistry, Minerals

## 1. Introducción

El fósforo quizá sea el elemento más limitante para el origen de la vida, su abundancia esta entre el puesto diecisiete de todos los elementos que constituyen la Tierra; constituye alrededor del 0.04 por ciento de la corteza terrestre [10], por razones que se expondrán a continuación es uno de los elementos químicos fundamentales para que la vida surgiese y se estableciera en el planeta Tierra. El fósforo es un elemento que dentro de los sistemas vivos cumple un rol muy importante puesto que sus derivados químicos funcionan en los papeles bioquímicos más relevantes para los sistemas celulares actuales estos son [10]:

- Participación en reacciones metabólicas
- Ser un componente importante de la membrana celular (fosfolípidos)
- Hacer parte de las moléculas que poseen la información genética (ADN y ARN)

Autores como Westheimer han discutido porque la vida escogió el fósforo y sus derivados para cumplir las funciones anteriormente mencionadas en los sistemas vivos; dicho autor propone que gracias a la ventaja termodinámica que ofrece este elemento, y por su multifuncionalidad los primeros sistemas celulares optaron por este elemento [6], así Westheimer propone que la selección natural operó en estos sistemas favoreciendo este elemento; puesto que se cree que en un principio los ésteres cumplían la misma función del fósforo para la obtención de energía de los primeros sistemas protocelulares [6,10].

De hecho se cree que uno de los puntos débiles que presentan las diversas teorías del origen de la vida como la hipótesis de las arcillas autorreplicantes de Cairns-Smith y el mundo pirita-sulfuro de Wächtershäuser a la presencia de fósforo [10] puesto que necesitan de este elemento para tener un sustento teórico más robusto; se especula también que los primeros sistemas precelulares tenían un material diferente con el cual estaba constituido el esqueleto de las moléculas que portaban la información genética, es decir moléculas análogas a los ácidos nucleicos, este esqueleto es a base de un polipéptido, que puede ser un derivado de un conjunto de poliglicinas, así estas moléculas se les conoce con el nombre de ácidos nucleicos peptídicos o por sus siglas en inglés PNAs [12], que más tarde y en el transcurso de evolución de la vida serian reemplazadas por el esqueleto de un azúcar (ribosa para el ARN y desoxirribosa para el ADN) y fosfato.

Dado esto se han hecho esfuerzos para ver cómo y cuáles son las principales fuentes de fosfatos en la Tierra primitiva, también se ha pensado en posibles fuentes exógenas de este elemento en la Tierra primitiva.

## 2. Fósforo y su origen fuera de la Tierra

El fósforo y sus derivados pueden formarse en el espacio interestelar a través de una serie de procesos químicos que ocurren en las estrellas masivas, por la fusión de átomos de carbono doce que da origen a diversos elementos químicos entre los cuales podemos contar con: magnesio, oxígeno sodio, silicio y entre estos el fósforo produciendo además radiación gamma [2].

Así este elemento y sus correspondientes derivados pueden llegar de tres formas a la Tierra que son [1]:

- Meteoritos
- Partículas de polvo interestelar (IDPs por sus siglas en inglés)
- Grandes impactos

Para el caso de los meteoritos los que presentan una mayor concentración de compuestos derivados de fósforo son los meteoritos de hierro, estos presentan de 0.1-0.6 por ciento de compuestos de fósforo en relación al peso total del meteorito, además tenemos distintos tipos de meteoritos los cuales cuya concentración de compuestos derivados del fósforo se muestran a continuación [2]:

- Condritas carbonaceas ( 0.1 por ciento)
- Acondritas (0.04 por ciento)

Por otro lado tenemos los IDPs cuya concentración puede oscilar alrededor de un 0.3 por ciento de fósforo en su peso total [2].

Uno de los minerales más importantes encontrados en los distintos tipos de meteoritos que se mencionan bastante en la literatura consultada es la escaibersita, cuya composición química es  $(\text{Fe}, \text{Ni})_3\text{P}$ , este mineral presenta una gran solubilidad en agua; por lo cual puede dar a origen a fosfatos que pueden ser usados por cualquier sistema precelular [1,2,5].

Así gracias al bombardeo que sufrió la Tierra primitiva entre 3.9 a 3.8 billones de años se piensa que el flujo total de compuestos químicos en los cuales podemos encontrar el fósforo es de  $2 \cdot 10^{20}$  kilogramos, otros autores proponen que dicho flujo pudo haber sido más considerable; alrededor de  $5 \cdot 10^{22}$  kilogramos [1].

Pero aparte de la escaibersita podemos encontrar otros tres minerales [1] los cuales a su vez pueden formar fosfatos al entrar en contacto con el agua bajo determinadas circunstancias estos son:

- Apatita  $(\text{Ca}_9(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH}))$  composición aproximada
- Whitlockita  $(\text{Ca}_9\text{Mg}(\text{PO}_3\text{OH})(\text{PO}_4)_6)$  composición aproximada
- Monacita. (grupo de cuatro minerales de Ce, La, Nd, Sm que poseen un grupo fosfato)

También se han encontrado compuestos de fósforo con enlaces C-P en algunos meteoritos como el Murchinson, este compuesto es el ácido alquil-fosfónico que es susceptible a hidrólisis y descomposición por luz ultravioleta. Lo cual es bastante interesante puesto que dicho compuesto es muy raro fuera de los sistemas vivos [8].

### 3. Fuentes de fósforo en la Tierra.

Como se ha mencionado anteriormente una de las mayores fuentes de fósforo en la Tierra primitiva es la apatita, otra de las posibles fuentes de fosforo en la Tierra primitiva pueden ser los ortofosfatos (entre los cuales se encuentra también la apatita) y los metafosfatos entre otros minerales [5,9]. Sin embargo la mayoría de estos minerales son insolubles en agua a temperatura ambiente, y la apatita no es la excepción ya que requiera altas temperaturas. Otro mineral importante en la Tierra primitiva es la hidroxapatita que puede dar origen a fosfatos [12].

Figura uno (diferentes fuentes de fosfatos en la Tierra primitiva se incluye el anión fosfato)

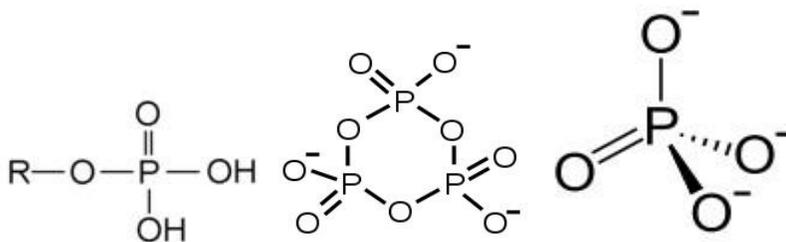


Fig 1 A

Fig 1 B

Fig 1 C

En la figura uno A se muestra la estructura característica de un ortofosfato, en la figura uno B la estructura del trimetafosfato cíclico y en la figura uno C se observa el anión fosfato, (imágenes tomadas de wikipedia)

Se han propuesto varios escenarios en los cuales las altas temperaturas desempeñan un rol importante para solubilizar estos minerales, tenemos el caso de la apatita en el proceso conocido como fosforilación termal, este proceso consiste en calentar a muy altas temperaturas en fosas submarinas termales la apatita, solubilizando su fósforo, lo cual lo pone disponible al medio circundante para ser aprovechada por sistemas protocelulares que se encuentren ahí [11].

Por otro lado se piensa que los compuestos químicos que fueron lanzados por los volcanes en la Tierra primitiva pueden presentar una alta cantidad de compuestos derivados del fósforo, estas deposiciones volcánicas pudieron presentarse entre el hadeano y el arcaico [9], además algunos autores piensan que el pirofosfato pudo haber precedido al ATP en los sistemas primitivos como fuente de energía [4].

Otros minerales presentes en la Tierra primigenia como el  $Al_2O_3$  silicatos pueden ser importantes para la química prebiótica del fósforo se cree por ejemplo que también el cloruro de sodio pudo ser fundamental [9], puesto que según experimentos que se han hecho, se ha visto que estos minerales ayudan a solubilizar en agua distintos tipos de minerales, entre ellos la apatita para dar origen a fosfatos disponible a través de una serie de procesos químicos bastantes elaborados

Aún así con todas estas fuentes de fósforo anteriormente mencionadas se cree que se requirieron aproximadamente más o menos tres billones de años para solubilizar la cantidad de fósforo necesaria para dar origen a los sistemas celulares actuales. Así para alcanzar una concentración

de 0.05 molar se necesitan solubilizar alrededor de  $22.4 \cdot 10^{20}$  gramos de fósforo en  $14 \cdot 10^{20}$  litros [5] de agua lo cual es bastante imposible de realizar puesto que se necesitan cantidades muy grandes de fósforo. Se ha propuesto de esta forma que existió un lugar en la Tierra primitiva donde se alcanzaron las concentraciones óptimas para que la vida se pudiese establecer como la conocemos actualmente.

De Graaf propone que se pueden alcanzar también concentraciones de fósforo aceptables, gracias a la interacción de compuestos químicos tales como el formaldehído, alcoholes primarios, acetona con compuestos que contengan fósforo siempre se estos interactúan con luz ultravioleta, lo cual solubiliza el fósforo presente en el compuesto [3].

Por lo cual actualmente se investiga cuáles pueden ser las posibles fuentes de fósforo y como estas pueden interactuar en la Tierra primitiva con otros compuestos, para formar fosfatos disponibles con rendimientos de reacción que sean aceptables para dar origen a los sistemas vivos actuales [10].

#### **4. Discusión**

En el campo de la química prebiótica del fósforo aún faltan muchos avances y descubrimientos por hacer con respecto a cuáles pueden ser los minerales que pueden solubilizar cantidades aceptables de fósforo y bajo qué condiciones se pueden solubilizar en agua dichos minerales y con que otros compuestos químicos pueden interactuar estos minerales para lograr cantidades aceptables de fósforo disponible.

De esta forma se denota que es bastante loable que una posible solución a este problema sean las fuentes exógenas tales como los meteoritos o las IDPs por presentar compuestos con alta solubilidad en agua como la escaibersita, con respecto a esto también hay diferentes tipos de minerales que encontramos en meteoritos que pueden solubilizarse en agua por lo cual el estudio de estos cuerpos que caen a la Tierra es bastante importante, tal como paso con el meteorito Murchinson [1] cuyo análisis dejó al descubierto una gran cantidad de compuestos orgánicos importantes para el origen de la vida en la Tierra.

## 5. Conclusión

El estudio de fuentes exógenas de fósforo puede arrojar pistas importantes de cómo pudo desarrollarse los sistemas vivos actuales ya que este elemento es quizá el más limitante para el origen de la vida. Se piensa que el gran flujo proveniente del bombardeo tardío que ocurrió en la Tierra primitiva pudo dejar una cantidad de fósforo disponible considerable para la que vida se estableciera como la conocemos actualmente en la Tierra. Se hace necesario el estudio de posibles fuentes exógenas de fósforo.

## Referencias

- [1] Pasek, M.; Dante, *Orig Life Evol Bioesph.*,**2008**, 38, 5-21
- [2] Macía, E.; Hernández, M, *Orig Life Evol Bioesph.*,**1997**, 27, 459-480 [3] Keefe, A.; Miller, S, *Orig Life Evol Bioesph.*,**1995**, 26, 15-25
- [4] Hermes-Lima, M, *J Mol Evol.*,**1990**, 31, 353-358
- [5] Griffith, E.; Ponnampertuma, C.; Gabel, N, *Origin of Life.*,**1977**, 8, 71-85 [6] Westheimer, F, *Science.*,**1987**, 235, 1173-1178
- [7] Schwartz, A, *Phil. Trans. R. Soc, B.*,**2006**, 361, 1743-1749
- [8] Pasek, M, *Proc. Natl Acad. Sci. US.*,**2008**, 105, 853-858 [9] Holm, N, *Geochim Trans.*,**2014**, 15, 8
- [10] Rauchfuss, H. Chemical Evolution and the Origin of Life. Springer, Berlin 2008
- [11] Schwartz, A, *J Theor Biol.*,**1997**, 27 523-527
- [12] Nielsen, P.; Egholm, G, *Current issues molecular biology.*, **1999**, 1, 89-105