



**NOMBRE DE ALUMNO:**  
ANGEL GABRIEL GOMEZ GUILLEN

**CUARTO CUATRIMENTRE**

**PRIMER PARCIAL**

**MATERIA:**  
FUNDAMENTO DE CONSTRUCCION

**CARRERA:**  
ARQUITECTURA

**FECHA:**  
09 DE ABRIL DE 2021

## ENSAYO DE CARACTERISTICA GEOLOGICAS

Definir la vida ha sido una tarea inconclusa y no exenta de ambigüedad, pues sus elementos y procesos son complejos y no del todo conocidos (Benner, 2010)<sup>5</sup>; (Bedau, 2010)<sup>6</sup>; sin embargo, una definición satisfactoria aunque elaborada podría ser la siguiente:

La vida como la conocemos es un fenómeno natural que caracteriza a cualquier objeto material cuya composición química esté basada en el carbón, asociado con los gases reactivos más abundantes del universo (H, O, N), y que esté integrada por moléculas organizadas en estructuras con las siguientes características: a) están confinadas por una membrana, b) pueden autoreplicarse, c) guardan, copian, transcriben y transmiten información, d) pueden sostener de manera continua procesos de transformación química (metabolismo) que toman energía del medio ambiente y e) pueden evolucionar en el sentido darwiniano. La teoría de evolución de la vida "más aceptada" propone un mundo ARN (ácido ribonucleico) anterior al mundo ADN (ácido desoxiribonucleico) actual (p. ej. Orgel, 2004)<sup>7</sup>. El ARN en el mundo primitivo habría funcionado como una molécula autoreplicante hasta que eventualmente se desarrollaron estructuras con funciones catalíticas mínimas confinadas por una membrana de lípidos semi-impermeable (protocélula), donde luego se sintetizó el ADN, molécula precursora e indispensable para el funcionamiento de todos los seres vivos en el mundo celular que conocemos.

La evolución de la vida desde su aparición en la Tierra presenta una prolongada trayectoria de diversificación ramificada con el tiempo en tres dominios a partir de un ancestro común ([Figura 1](#)), cuya estructura y origen son fuertemente debatidos, pero que no será materia de discusión en el trabajo presente.

### Premisas usadas en el trabajo

Afortunadamente existen hechos de índoles diversas y probadas que permiten un análisis sólido sobre las posibles condiciones, mecanismos y tiempos que lograron la formación de la vida en la Tierra, los cuales integran la base en que se sustenta este trabajo:

a) La estructura de la materia viva está compuesta esencialmente por seis elementos químicos: carbón, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre (CHONPS por sus símbolos químicos).

b) Las meteoritas de cierta clase (condritas carbonosas) contienen esos elementos en gran abundancia, incluyendo algunas de las clases C11 (tipo 1 de la meteorita de referencia Ivuna) y CM2 (tipo 2 de la meteorita de referencia Mighei) que contienen compuestos orgánicos "complejos" de importancia prebiológica.

c) Los planetas llamados terrestres o silicatados (Mercurio, Venus, Tierra y Marte) deben su estructura a la acreción de millones de planetesimales de composición esencialmente condrítica, como los que pueblan actualmente el cinturón de asteroides ubicado entre las órbitas de Marte y Júpiter.

d) Dos eventos catastróficos relacionados con la Meteorítica intervinieron e influenciaron fuertemente la evolución química de las capas más superficiales de la Tierra (litósfera, hidrósfera y atmósfera); uno definitivamente opuesto a la formación de la materia viva (la formación de la Luna) y otro (el Gran Bombardeo Tardío, GBT), cuyo carácter destructivo o constructivo de la vida está en debate, así como su existencia misma.

e) La vida fue evidente en la Tierra luego de transcurridos 1,100 Ma desde la condensación, a partir de un núcleo de una nube molecular precursora, de los objetos más antiguos identificados en las meteoritas conocidos como inclusiones ricas en calcio y aluminio (ICAs por sus siglas).

## **Meteoritas**

Las meteoritas son rocas extraterrestres que conservan en su estructura la información necesaria para entender la evolución del Sistema Solar desde su origen o más allá, hasta el origen mismo y evolución de las estrellas. Esta información está guardada en su composición química y mineral, así como en sus texturas y estructuras. Por la escasez de esos materiales en la Tierra, cada hallazgo o caída que se observe se convierte en un acontecimiento importante para la ciencia. Algunas meteoritas como Orgueil (Francia, 1864), Ivuna (Tanzania, 1938), Murray (Estados Unidos, 1950) y Murchison (Australia, 1969), incluso contienen compuestos orgánicos complejos (aminoácidos, azúcares, etc.) precursores de moléculas que tal vez dieron origen a la vida al menos en la Tierra.

Las meteoritas se clasifican en grupos diversos de acuerdo a su contenido mineral, composición química y estructura. Una revisión amplia del tema queda fuera de los propósitos del trabajo y solamente se verán con mayor detalle las del primer grupo, por ser las más primitivas, abundantes en volátiles y con un contenido químico y mineral que incluye en algunas de ellas materiales orgánicos precursores de la vida. Las [Tablas I y II](#) resumen las características distintivas de las meteoritas en función de su mineralogía y química elemental, lo cual proporciona información crucial sobre las condiciones de oxidación-reducción presentes durante su formación.

## **Meteoritas carbonosas**

Las meteoritas carbonosas (2.8 % del total), como su nombre lo indica, tienen un contenido de carbón en forma elemental (diamante, grafito, fullerenos, carbón amorfo) o bien en forma de materia orgánica y que varía entre <1% hasta >20% en peso. Este tipo de meteoritas es muy escaso entre las pétreas, pero constituye el grupo más significativo por cuanto a la información que contiene respecto a los procesos de evolución química prebiótica de la materia orgánica ocurridos durante los inicios de formación del Sistema Solar. La [Tabla III](#) resume las características esenciales de las condritas carbonosas más estudiadas por la ciencia.

En general el carbón extraterrestre aunque está enriquecido en  $^{13}\text{C}$ , tiene una relación semejante de los isótopos de H (deuterio e hidrógeno). Sin embargo, el valor isotópico D/H en los 40 aminoácidos estudiados de las meteoritas Murchison y Murray ( $+300 \times 10^{-6}$  a  $+3600 \times 10^{-6}$ ) está muy por encima del valor estándar de los materiales orgánicos y del agua terrestre, cuyo valor es de  $+150 \times 10^{-6}$ . Estos valores relativamente tan elevados indican su origen en el ambiente frío de la nebulosa presolar, y por tanto una química prebiótica compleja que se dio en el medio interestelar antes de la formación de la Tierra.

Es importante mencionar que de los más de 40 aminoácidos identificados en Murchison y Murray solamente ocho están presentes también en los seres vivos de la Tierra. Algunos aminoácidos de Murchison y Murray (Pizzarello & Cooper, 2001)<sup>9</sup>, que son raros en la biósfera terrestre, presentan cierta quiralidad, propiedad física sin planos de simetría que caracteriza a la materia viva, y que tal vez fue producto de la polarización circular de la luz ultravioleta que se dio en la nube molecular antes de la formación del Sistema Solar, aunque también existe un debate sobre el origen de esta quiralidad.

### **La meteorita Allende: La madre de todas las rocas**

A la 1.05 a.m. de la madrugada del 8 de febrero de 1969, en la región del poblado de Allende (Ranchito de Allende, Chihuahua) centenares de fragmentos y varias toneladas de un material extraterrestre se precipitaron a lo largo de una elipse de aproximadamente 40x8 km en dirección NNE. Apenas unos cuantos días después, su estudio científico había producido el primero (King Jr. *et al.*, 1969)<sup>10</sup> de los millares de artículos que vendrían luego dando a conocer una gama impresionante de información mineralógica, petrológica, química, geocronológica e isotópica, la cual ha dado a la meteorita Allende elementos suficientes para que se le considere sin duda la madre de todas las rocas. La caída de Allende (no me refiero al héroe de nuestra independencia) transformó el conocimiento científico universal al poner a disposición de los estudiosos del tema material abundante para su análisis en prácticamente todos los centros de investigación y laboratorios del mundo. Allende representa, la meteorita carbonosa más grande registrada en la historia de la ciencia, con un peso total de sus fragmentos recuperados superior a las dos toneladas que incluyen algunos de los materiales más antiguos del Sistema Solar (~4,567 Ma). Después de Allende, el conocimiento científico sobre la evolución de nuestro entorno galáctico avanzó de manera notable en los aspectos siguientes:

a) Ahora sabemos la edad exacta del nacimiento (condensación) del Sistema Solar, b) se confirmó el estallido frecuente de supernovas en la historia galáctica como un proceso cósmico fundamental para iniciar el colapso de las nubes moleculares de donde surgen estrellas y planetas como los de nuestro Sistema Solar, c) las escalas del tiempo de condensación y formación planetaria se redujeron considerablemente con el descubrimiento en Allende de elementos radiactivos (generadores de calor) de vida muy corta como el <sup>26</sup>Al, d) la evolución geoquímica de la Tierra se logró estandarizar con mayor rigor a partir del estudio de Allende como una muestra primordial de referencia mundial, e) con el descubrimiento en Allende de los ICAs (inclusiones ricas en calcio y aluminio) se confirmó un estado térmico muy elevado del disco solar hasta distancias de 1.5 UA (UA: unidad astronómica equivalente a 150 millones de kilómetros, que es la distancia media entre el Sol y la Tierra).

### **La formación de la Luna, un evento cósmico que despojó de todo material volátil (gases y algunos metales ligeros) a la Tierra**

Casi al terminar de formarse la Tierra, hace ~4,530 Ma, sufrió el impacto de un último embrión planetario (Theia, [Figura 2](#)) que fue de enormes consecuencias para su evolución química e imposibilitando la formación de la vida durante esa época, pues el evento habría volatizado cualquier océano de agua o atmósfera que habría tenido la Tierra luego de la formación de su núcleo dejando en cambio un océano de magma activo por millones de años, donde la vida tampoco podría desarrollarse. Las simulaciones numéricas del fenómeno muestran como la Tierra (Sleep *et al.*, 2001)<sup>11</sup>, (Canup & Asphaug,

2001)<sup>12</sup> habría secuestrado el núcleo metálico del impactor ([Figura 2](#)), mientras su manto silicatado era evaporado para después condensarse y formar la Luna. El proceso del impacto mismo pudo tomar sólo algunas horas pero la condensación de los escombros tal vez duró muchos miles de años. Otra hipótesis novedosa (Canup, 2012)<sup>13</sup> considera que la colisión se dio, pero entre dos cuerpos de masa similar chocando con una velocidad de apenas 4 km/seg, pero de consecuencias análogas al modelo anterior.

Entre las evidencias más relevantes que se han dado para justificar la hipótesis se cuentan: a) la edad de la Luna es muy joven (4,500 Ma) para ser un embrión planetario capturado por la Tierra, b) la Luna en esencia es anhidra, pues nació devolatizada por la energía asociada al impacto de su formación, c) el potasio en la Luna es deficiente, pues a pesar de ser un metal, también se habría volatizado durante el impacto, d) la relación de masa Luna/Tierra es muy alta (1/81) comparada con otras lunas y sus planetas respectivos en el Sistema Solar, y e) el momento angular Luna-Tierra se explica mejor asumiendo un origen común de ambos cuerpos durante un impacto.

### **El Gran Bombardeo Tardío (GBT)**

Luego de formada la Luna, la Tierra y todos los cuerpos interiores del Sistema Solar 530-480 Ma después probablemente sufrieron el impacto tardío de millares de cuerpos asteroidales (planetesimales) y/o cometas kilométricos, evento que pudo tener consecuencias enormes para originar la vida o provocar su extinción, si es que ya había surgido antes de este evento ([Figura 3](#)). El suceso más importante después de terminada la acreción planetaria con la formación de la Luna, fue la llegada de una lluvia de objetos menores, asteroides y cometas, que bombardearon todos los cuerpos del Sistema Solar interior durante una época más o menos bien determinada entre 4,000 y 3,850 Ma. El hecho de que esta superficie craterizada por los impactos no se manifieste en la Tierra actual (su cráter grande más antiguo es el de Vradefort en África del Sur, con una edad aproximada de 2,020 Ma) se debe a la actividad tectónica continua que ha borrado casi todo el registro de procesos anteriores a los 4,000 Ma. Sin embargo, las edades absolutas y relativas de rocas (*in situ* y meteoritas) y vidrios lunares, así como una meteorita (ALH84001), la presencia de cráteres en todos los cuerpos del Sistema Solar interior, capas gruesas con esférulas de vidrio en el registro Arqueano de la Tierra (>2500 Ma), y el exceso de gases nobles en la hidrósfera y atmósfera terrestres con relación a su manto, constituyen evidencias acumuladas que apuntan en la dirección de la existencia real de ese fenómeno, cuyo pico habría ocurrido hace 3,900 Ma. La intensidad del fenómeno se calcula entre 200 y 1,000 veces el flujo actual de grandes impactores (Chicxulub, por ejemplo), y que habría durado entre 200 y 60 Ma depositando una masa de  $8.4 \times 10^{18}$  kg en la Luna, lo que implica por lo menos una masa añadida de  $1.2 \times 10^{21}$  kg para la Tierra (aproximadamente la seis milésima parte de su masa total). Este material extraterrestre equivale al depósito de 200 ton/m<sup>2</sup> en su superficie terrestre con una energía total asociada de alrededor de  $2.5 \times 10^{29}$  julios ([Figura 4](#)), suficiente para fundir, si toda la energía fuese transferida a la superficie rocosa, una masa mayor a los  $10^{23}$  kilogramos, o bien un volumen equivalente de  $3.3 \times 10^{10}$  km<sup>3</sup>, que es aproximadamente igual al de toda la corteza de la Tierra.

### **Los cráteres más antiguos y más grandes de la Tierra**

Los cráteres más antiguos preservados en el registro geológico de la Tierra son Vredeford, Sudáfrica con 250-300 km de diámetro, una geometría multianillada y una edad de  $2023 \pm 4$  Ma, y el Suavjarvi en Karelia con 16 km de diámetro y 2,400 Ma de edad.

El gran debate que se plantea entre los que postulan el GBT como un evento real en la historia temprana de los planetas incluye las interrogantes siguientes: ¿Fueron los cometas y/o los asteroides (meteoritas *sensu lato*) los objetos que importaron de regreso a la Tierra el material volátil perdido durante la formación de la Luna? O bien, ¿la Tierra se ha desgasificado gradualmente desde el interior a partir del material volátil conservado en los silicatos (olivino, granate y piroxenas) nominalmente anhidros? En este sentido, las estimaciones basadas en la relación D/H (deuterio/hidrógeno) del manto terrestre profundo (400-3,950 km) asignan los posibles porcentajes de procedencia para el agua actual en los mares terrestres ( $D/H \times 10^{-6}$ )=149) siguientes (Dauphas *et al.*, 2000)<sup>15</sup>: desde el interior de la Tierra, 50-90 % ( $D/H \times 10^{-6}$ )=128-153); por los asteroides, 0-50 % ( $D/H \times 10^{-6}$ )=159-181); y por los cometas, 0-10 % ( $D/H \times 10^{-6}$ )=311±13).

Sin embargo, la causa y duración del fenómeno no se han aclarado de manera general, pues prevalecen las escuelas gradualista y la catastrofista ([Figura 5](#)). La primera establece que los grandes impactos sólo representan un segmento de una curva de acreción planetaria que disminuía exponencialmente y de manera continua, mientras que la escuela catastrofista especifica la concentración en un pico definido entre los 4 y 3.85 Ga (giga años), el cual interrumpió la continuidad decreciente de la curva de evolución planetesimal. El peso mayor de la evidencia actualmente favorece a la escuela catastrofista, y esa temporalidad del evento (3.9-3.8 Ga) curiosamente corresponde al mismo periodo en que aparentemente se han encontrado los vestigios químicos más antiguos de vida en el planeta (Mojzsis *et al.*, 1996)<sup>4</sup>.

### **Efectos inmediatos y prolongados sobre el ambiente asociados con los grandes impactos**

Los impactos entre grandes cuerpos celestes desprenden siempre cantidades enormes de energía ( $\geq 10^{27}$  julios) debido a las masas (trillones de toneladas) y velocidades (10-70 km/seg) involucradas. Esta energía, al desprenderse súbitamente en el ambiente, se transforma en calor y deformación, todo lo cual funde, volatiza y remueve las rocas afectadas, cava grandes cráteres, arroja volúmenes considerables de escombros alrededor del impacto y calienta océanos y atmósferas al grado de erosionar o vaporizar parte de esas esferas planetarias esenciales para la vida. Pero también pueden tener efectos benéficos (Cockell, 2006)<sup>17</sup> como la adición de volátiles reductores: el CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, CO, y HCN, considerados como nutrientes prebióticos, y desde luego modificar profundamente las condiciones y velocidad de las reacciones químicas en los sistemas terrestres superficiales (océano, suelo, hidrósfera y atmósfera). Sin embargo, estos efectos pueden en situaciones extremas (energías superiores a los  $10^{27}$  julios) conducir a la extirpación de cualquier paleobiósfera que existiese en el momento del impacto (p. ej. Levy & Miller, 1998)<sup>18</sup> o sólo lograrlo parcialmente si la vida se refugiase en el subsuelo profundo, como proponen otros autores (p. ej. Abramov & Mojzsis, 2009)<sup>16</sup>.

### **La vida bajo condiciones extremas**

La delicada estructura y complejidad química de la materia viva está formada esencialmente por elementos más volátiles como son los gases H, O, y N, y desde luego por el elemento sólido denominado carbón (C), todo lo cual, aunado a la abrumadora cantidad de componentes atómicos y moleculares que tienen los compuestos químicos esenciales para la vida como son las proteínas y los ácidos nucleicos (ARN y ADN), impone límites severos para su estabilidad termodinámica bajo cualquier ambiente dado de la naturaleza. La [Tabla IV](#) ilustra de manera sucinta los límites impuestos por factores ambientales físicos y químicos como son humedad, temperatura, presión, acidez/alcalinidad, salinidad y concentraciones tóxicas de metales, o también la radiación de altas energías (ultravioleta y cósmica). Cualquiera de esos valores límite, o una combinación de ellos, aún si se exceden por tiempos muy cortos, impedirían la formación y el desarrollo de la vida. En este marco termodinámico es posible e importante comparar esas condiciones físicas y químicas con las que pudieron darse durante y después de los eventos catastróficos que acompañaron a los grandes impactos meteoríticos al principio de la vida del planeta Tierra.

Considerando que la variable más importante en relación con el origen de la vida es la temperatura, ya que ésta impone al agua sus límites inferior y superior que le permiten permanecer líquida (-22 °C a presión de 2,100 atmósferas, y 374 °C a la presión crítica de 220 atmósferas), los hábitats para la formación de la vida necesariamente fueron global o regionalmente destruidos durante la mayoría de los impactos cuya energía alcanzó más de  $10^{27}$  julios. Al respecto, las opiniones basadas en estudios teóricos y simulación numérica difieren entre los que consideran que después de la formación de la Luna ( $2 \times 10^{31}$  julios), los impactos más grandes (asteroides o cometas con diámetros hasta de 300 km) no fueron capaces de extirpar la vida por completo si ésta ya existía (p. ej. Abramov & Mojzsis, 2009)<sup>16</sup>, y los que consideran (p. ej. Sleep *et al.*, 1989)<sup>19</sup> que océanos completos eran evaporados y que temperaturas por encima de los 200 °C prevalecieron por miles de años en la superficie del planeta, luego de un gran impacto como los millares que sufrió la Tierra hace unos 3,900 Ma, justo cuando se habría comenzado o regenerado la vida en este planeta.

Las [Figuras 6](#) y [7](#) ilustran gráficamente la evolución de los grandes eventos de los mundos físico, químico y biológico que marcaron el nacimiento del planeta Tierra, la única región del universo conocido donde hay vida.

## Conclusiones