

## Vida y evolución fuera de la Tierra

Néstor Toledo

La posibilidad de vida fuera de la Tierra es una idea que preocupa al ser humano desde hace mucho tiempo y que tiene implicancias no sólo científicas sino filosóficas y religiosas. Dentro del ámbito de la literatura, ha sido explorada desde Luciano de Samosata (siglo II AD) por numerosos escritores, y luego se ha afianzado en el siglo XX como uno de los tópicos preferidos del relato de ciencia ficción, el comic y el cine. Ahora bien, dentro del ámbito científico la propuesta de hipótesis choca con el inconveniente de que es difícil generar conjeturas plausibles que no estén sesgadas de una forma u otra por el conocimiento de la vida y su evolución en la Tierra. Formas de vida alternativas apenas serían especulación pura. Sin embargo y afortunadamente, el conocimiento de la vida en la Tierra está lejos de ser completo, y todo el tiempo hay descubrimientos que indican que la vida tal como la conocemos es más diversa, más amplia y más resistente que lo que nuestros modelos asumen. Esto es así al grado tal de que no existe consenso completo sobre una definición precisa de lo que llamamos vida.

### Definición de vida

Aunque actualmente aún en discusión, la vida tal como la conocemos en la Tierra es definida no como objetos sino como un fenómeno natural que combina ciertas características:

- 1- Un **metabolismo**, es decir transformaciones físico-químicas que operan separadamente del ambiente, y que son reguladas para asegurar su continuidad, es decir tienen **homeostasis**. No implica estancamiento en un estado único, sino un equilibrio dinámico **autoorganizado**.
- 2- **Respuesta** a los estímulos, es decir cambios metabólicos activos y específicos frente a eventos puntuales ocurridos en el medio ambiente. Si hay un cambio sostenido en respuesta a un cambio de mayor envergadura del medio, se dice que hay **aclimatación**.
- 3- **Crecimiento**, es decir un aumento en masa y estructura que trasciende el mero mantenimiento producido por la homeostasis (autopoiesis).
- 4- Producción de nuevos individuos a partir de energía y materia del ambiente, es decir **reproducción** (también es autopoiesis).

Esta definición es útil en el sentido de que ofrece una serie de criterios claros y bien definidos que permiten orientar la investigación de vida extraterrestre. Sin embargo, existen seres vivos que desafían algunos de estos supuestos (por ej. los virus, viroides y priones), y se discute si son realmente seres vivos en sentido estricto o algún otro tipo de proceso natural autoorganizado. Proveniente de la física se ha propuesto una definición de vida alternativa, que postula que:

- 1- Es un proceso natural caracterizado por la utilización activa de energía y materia del ambiente para lograr un desequilibrio termodinámico que produce **entropía local negativa** (es decir una fuerte inversión puntual de la degradación entrópica global). De acuerdo a Ilya Prigogine, los seres vivos serían un tipo de “estructura disipativa”.

Esta segunda definición es más abarcativa y permitiría ampliar el espectro de formas de vida posibles, incluso abarcando fenómenos naturales tradicionalmente no aceptados como vida. Pero por el mismo hecho de su amplitud, presenta el inconveniente de no ofrecer muchos criterios claros a la hora de guiar la investigación.

### **Elementos capaces de formar biomoléculas**

Los procesos físico-químicos que definen la vida poseen ciertas características particulares que sólo han sido reconocidas en determinados tipos de sustancias. Al menos en la Tierra no cualquier elemento químico o tipo de molécula es capaz de sostener la aparición de estas características. Desde el punto de vista químico, los elementos más compatibles con este tipo de procesos deben presentar una gran afinidad química con otros elementos, ser estables en diversos medios (los llamaremos solventes), y poder generar estructuras moleculares de gran complejidad (de muchísima mayor complejidad que las moléculas del mundo “inerte”). Dentro del panorama de elementos químicos conocidos, no hay demasiados que se conozcan que cumplan estas características.

El más promisorio es el **carbono**. Su afinidad química con otros elementos es muy elevada y su capacidad para formar estructuras moleculares complejas es elevadísima, superando por lejos a los demás elementos conocidos. En la vida terrestre forma moléculas complejísimas (ácidos nucleicos, aminoácidos y proteínas, azúcares, lípidos) uniéndose con hidrógeno, nitrógeno y una amplia gama de metales y no-metales. En el cosmos, empero, es poco abundante en los planetas de tipo “terrestre” y se lo suele encontrar en forma gaseosa o de hielo como metano y dióxido de carbono. Carl Sagan ha señalado el riesgo de caer en un razonamiento circular al proponer que la única molécula capaz de participar de la vida es precisamente la única que conocemos en la Tierra, llamando a este razonamiento “chauvinismo del carbono”.

El siguiente es el **silicio**. Es capaz de formar cadenas, aunque de menor complejidad y estabilidad que el carbono, y posee una menor afinidad química. En los planetas de tipo terrestre es sumamente abundante y estable geológicamente. Muchos seres vivos de la Tierra incorporan el silicio en sus procesos vitales, a menudo bajo la forma de caparazones y otros elementos esqueléticos (diatomeas, radiolarios, amebas, fitolitos de plantas, esponjas, etc.). Otros elementos que pueden formar cadenas o estructuras moleculares complejas bajo condiciones físico-químicas muy diferentes a las que soporta la vida terrestre y que son geológicamente abundantes en los planetas de tipo terrestre son algunos **metales** como el tungsteno, el vanadio y el molibdeno. Existen hipótesis que vinculan el origen de la vida terrestre con la interacción entre moléculas orgánicas prebióticas y sustratos minerales complejos formados por silicatos y metales.

No menos importante que los elementos químicos que forman las moléculas vitales son los solventes o medios en los cuales estas moléculas existen y desarrollan sus reacciones. Dentro del sistema solar, tres solventes son los más abundantes y prometedores: agua, amoníaco y metano. El **agua**, solvente de la vida por excelencia en la Tierra, posee características únicas que la hacen especialmente apta: es sumamente abundante; posee un amplio rango térmico y capacidad calorífica, es decir que el agua existe en estado líquido en una diversidad de temperaturas y presiones, y que es capaz de absorber y almacenar grandes cantidades de energía; un enorme afinidad química con otros elementos y moléculas; y es capaz de ceder y aceptar átomos de hidrógeno; y muy importante, es menos densa en estado sólido (una característica única). Esta última cualidad es de vital importancia, ya que implica que un cuerpo de agua líquida comienza a solidificarse (congelarse) siempre desde la superficie. La capa de hielo resultante aísla al resto de la masa de agua, lo que permite que el fondo del cuerpo acuoso permanezca líquido. Sin embargo, el agua es una molécula químicamente muy reactiva y agresiva que tiende a degradar otras moléculas. Dentro del Sistema Solar la presencia de agua líquida como sitio de evolución de la vida se investiga en el pasado geológico de Marte (el cual parece indudable que albergó cuerpos de agua dinámicos) y en las cortezas de lunas como Europa, Encelado y Ganimedes. El **amoníaco** posee características generales similares al agua, pero su rango térmico en estado líquido es menor, y su densidad como sólido es mayor, lo que implica que un cuerpo de amoníaco líquido se congela desde el fondo hacia la superficie, sin que haya ningún impedimento para que solidifique por completo. Por último, el metano, con una menor amplitud térmica en estado líquido y el mismo problema de mayor densidad en estado sólido, es sin embargo abundante y, más importante, menos agresivo químicamente y totalmente compatible con compuestos orgánicos. La luna saturnina Titán, con su compleja

atmósfera de nitrógeno y sus lagos de hidrocarburos líquidos, es un ambiente tentador para la búsqueda de vida basada en el metano.

Más allá del llamado a la cautela epistemológica de Sagan, es innegable que el carbono es el elemento conocido más propicio para la formación de moléculas complejas en combinación con otros elementos. En consonancia con las hipótesis de Oparin y los experimentos pioneros de Miller-Urey, que indicaban que compuestos orgánicos complejos podían formarse espontáneamente bajo ciertas condiciones (radiación ionizante u otra fuente de energía actuando sobre agua, dióxido de carbono y nitrógeno gaseosos o líquidos), monómeros de moléculas biológicas han sido encontradas en cuerpos extraterrestres como cometas, asteroides y polvo cósmico. Esto indica que la formación espontánea de moléculas orgánicas complejas podría ser un fenómeno habitual incluso en el despiadado medio interestelar, lo que abre la puerta a especular sobre su posible abundancia en el cosmos. La presencia de superficies minerales catalíticas podría favorecer aún más el desarrollo de biomoléculas complejas.

### **Evolución fuera de la Tierra**

Más allá de las hipótesis y conjeturas con menor o mayor grado de especulación acerca de la parte molecular y bioquímica de la potencial vida extraterrestre, también es un tema de discusión la evolución de la vida a nivel orgánico y ecológico en otros cuerpos celestes. Uno de los tópicos más interesantes implica discutir si el mecanismo de evolución por selección natural podría aplicarse a biotas extraterrestres. Nuevamente, el chauvinismo terrestre fuerza la especulación a girar alrededor de las características conocidas de la vida, proponiendo en el mejor de los casos extrapolaciones más o menos abstractas de la vida terrestre conocida. Para que la vida en otros mundos evolucionara siguiendo un mecanismo homólogo a la selección natural, deberían darse al menos ciertas similitudes con la vida terrestre, por ej. la aparición más o menos continua de **variabilidad** (anatómica, fisiológica, conductual) y un sistema biológico de información **hereditaria** en el cual la variabilidad pasara a las siguientes generaciones. En el caso de darse estas dos condiciones, por más estable y homogéneo que fuera el ambiente en el cual aparezca la vida se produciría evolución por selección natural. Sin embargo, sistemas hereditarios diferentes (por ej. como la transmisión horizontal genética presente hoy en virus y bacterias) podrían dar lugar a procesos evolutivos radicalmente distintos.

Entre las especulaciones favoritas de la ciencia ficción figura la anatomía, comportamiento y ecología de los hipotéticos organismos extraterrestres. En general y por economía de recursos se asume que la vida en otros mundos seguiría ciertos patrones macroevolutivos básicos que

se reconocen en la vida terrestre (aunque veremos que no es tan así y existen abundantes excepciones): aumento de la **complejidad** en todos los niveles (anatomía, comportamiento, ecología); presencia de **simetría bilateral** en el caso de organismos con movilidad propia (aunque en la Tierra hay un filo entero de animales complejos y exitosos con simetría radial, las estrellas y erizos de mar), o de **modularidad** en el caso de organismos inmóviles; desarrollo de un sistema nervioso con órganos de los sentidos concentrados en la parte anterior del cuerpo (**cefalización**); desarrollo de apéndice o miembros; etc., etc. Estas extrapolaciones adolecen de ser patrones muy generales que sólo aplican para los linajes de organismos (especialmente animales) mejor estudiados y más populares. Es probable que no sean operativos en absoluto en la evolución de una biota diferente. Autores como S.J. Gould y J. Monod han invocado la importancia del azar y las contingencias históricas a la hora de especular sobre la evolución orgánica, previniendo contra todo tipo de razonamiento finalista, por más tentador que sea pretender que la vida terrestre es el patrón básico general.