

Origen de la Homoquiralidad Biológica como una Sistema Autoorganizado.

hugo ivan cruz-rosas
quetzal@ciencias.unam.mx

Resumen. La materia organizada permite la emergencia de propiedades que son producto del dinamismo entre los elementos del sistema, determinadas por la estructura interna de dicha organización. Los ejemplos de esto van desde la asociación de átomos para formar moléculas con nuevas propiedades no presentes en los átomos por separado, la aparición de macromoléculas, la progresiva complejización de la materia orgánica hasta las células, tejidos, órganos... Todos estos niveles de organización de la materia permiten la aparición de propiedades emergentes, que dependen de la forma en cómo se arreglan estos elementos y las interacciones que establecen entre ellos. Estas propiedades emergentes, aunque determinadas por la naturaleza material de sus elementos que la sustentan, se manifiestan debido al dinamismo de éstos y no de su simple colección como un conjunto de cosas, pues son los elementos en interacción en un sistema los que evidencian las propiedades emanadas de dicha organización constituida como una red. De este modo, la condición homoquiral de los aminoácidos y de los azúcares presentes en los sistemas biológicos es considerada en este trabajo como la base material para la organización de la materia orgánica capaz de manifestar y soportar una propiedad sumamente peculiar e interesante en la historia de la complejidad de la materia en el Universo: la vida; que es una consecuencia no sólo de la mera colección de elementos biogénicos en un sistema, sino de la organización y del dinamismo en la interacción de dichos elementos que son, en primera instancia, homoquirales. En este contexto, se presenta a continuación un breve panorama de las tres teorías principales que intentan explicar el origen de la actividad óptica en un sistema generando altos excesos enantioméricos, así como un contexto en el cual se asume la condición homoquiral de los elementos biogénicos (en particular, de los aminoácidos) como una condición para la organización de la materia, capaz de sustentar la dinámica de un sistema vivo. De este modo, la vida es presentada como una consecuencia de la complejidad en la organización de la materia y el establecimiento de redes de interacción dinámica. Y citando al profesor Alfonso L. Herrera (1932): “*toda la Ciencia humana avanza velozmente hacia la explicación natural de nuestro origen*”.

Palabras clave: *Quiralidad biológica, sistemas complejos, autoorganización, origen de la vida.*

[uno] Teorías sobre el origen de la homoquiralidad.

La ruptura de la simetría en mezclas racémicas es un fenómeno que ha sido abordado desde las ideas de la autoorganización de la materia y la emergencia de propiedades como consecuencia del establecimiento de dicha organización a lo interno del sistema. En este sentido, dado que hay varios ejemplos de que estas propiedades emergentes nacen con la nueva organización de los elementos del sistema, sin que éstos por sí solos almacenen la información necesaria para determinar dicha propiedad manifestada sólo durante la interacción (por ejemplo: la llamada “pila de arena”, el magnetismo en los cuerpos que lo presentan, e incluso la actividad y función biológica de las enzimas al adquirir su conformación cuaternaria; que no se pueden predecir si se analizan sus elementos por separado), el favorecimiento de una vía sobre otra, producto de la autoorganización, se da de manera abrupta, como lo ha postulado el materialismo

dialéctico permitiendo considerar el cambio (o evolución) de los sistemas por medio de cambios cualitativos, que se dan de manera no gradual¹; por lo cuál, se hace referencia a esta abrupta emergencia de patrones como *ruptura espontánea de la simetría*, y encontrar los factores o la fuerza que permite esta ruptura espontánea de la simetría en mezclas racémicas ha dado varias ideas, como la nucleación heterogénea y enantioselectiva de moléculas quirales sobre la superficie de matrices con quiralidad opuesta (como el cuarzo, kaolita o arcillas, que aunque sus moléculas no son quirales, pueden generar estructuras quirales al agregarse); sin embargo muchas de ellas no definen procesos únicos para moléculas de una quiralidad dada, sino que existe la misma probabilidad de generar ambientes homoquirales de uno u otro enantiómero que, en el contexto del ambiente en general, origina mezclas racémicas.

A pesar de que hay varias ideas por medio de las cuales se puede considerar algún mecanismo para inducir la ruptura espontánea de la simetría en mezclas racémicas, son tres los que han sido postulados principalmente para generar sistemas homoquirales. Uno u otro de estos mecanismos pueden involucrar las ideas diversas que hay. Además, la llamada autocatálisis enantioselectiva ha sido propuesta como un mecanismo que permite la amplificación de una inicial asimetría en la concentración de un enantiómero en una mezcla, por lo que participa, virtualmente, reforzando el efecto inicial provocado por cualquiera de los tres mecanismos generales que se han propuesto.

Variaciones estadísticas.

La hipótesis de que este mecanismo permite la aparición de un sistema homoquiral se basa en el hecho de que una mezcla racémica no es un sistema estático, sino dinámico; es decir, que no en todo momento se encuentra conformada por exactamente un 50% de enantiómeros L o D y un 50% del enantiómero contrario, sino que existen desviaciones estándares entre las concentraciones de cada enantiómero que fluctúan a favor de uno y de otro alternadamente, manteniendo la condición racémica en la mezcla. Según esta idea, una ruptura espontánea de la simetría debida a las fluctuaciones estadísticas que se salgan de estas oscilaciones estándares a favor de un enantiómero, reforzada por la amplificación autocatalítica, puede ser la base para el origen de la homoquiralidad en un sistema.

Corin y Reisse (2005) ejemplifican esta idea citando a Mills en un trabajo de 1932: “nosotros podemos contar, sobre la base de las leyes de la probabilidad, con la existencia de un diminuto favorecimiento inicial hacia un sistema óptico u otro; y esto podría, si los principios que me esfuerzo por explicar son justificados, eventualmente

¹ Marx ya identificaba que las propiedades que dan identidad a un sistema sólo pueden ser entendidas cuando se identifican sus principales componentes y se analizan en sus interacciones dentro del sistema: “Parece correcto empezar por lo real y concreto, con el presupuesto efectivo; y en consecuencia, empezar, por ejemplo, en la economía con la población, que es el fundamento y sujeto de todo acto de producción social. Sin embargo, ante un examen más detenido, esto se manifiesta como falso. La población es una abstracción, si deo, por ejemplo, de lado las clases de las que se compone. Estas clases son una palabra vacía, si no conozco los elementos sobre las que descansan. Por ejemplo, trabajo asalariado, capital, etc. [...] Si comenzara, por lo tanto, con la población, esto sería una representación caótica de la totalidad y mediante una determinación más precisa llegaría analíticamente a conceptos cada vez más simples; de lo concreto representado llegaría a abstracciones cada vez más sutiles, hasta alcanzar las determinaciones más simples. A partir de aquí habría que emprender de nuevo el viaje a la inversa, hasta llegar finalmente de nuevo a la población, pero esta vez no como una representación caótica de un todo, sino como una totalidad rica de múltiples determinaciones y relaciones.” Karl Marx (1857). Líneas fundamentales de la crítica de la economía política (grundrisse).

permitir la completa actividad óptica de los componentes molecularmente asimétricos de toda la materia viva”.

Sin embargo, esta hipótesis del origen homoquiral en un sistema producto de las variaciones estadísticas de las mezclas racémicas, se enfrenta al problema de que no es específico ni preferencial éste favorecimiento inicial hacia un enantiómero particular, teniendo ambos isómeros ópticos la misma probabilidad de obtener un exceso enantiomérico a su favor. Por esto, la presencia de sistemas con un exceso enantiomérico en un isómero en particular se ve contrarrestada por la presencia de otros sistemas con un exceso enantiomérico en el isómero óptico opuesto; dando como consecuencia que el sistema global que los contiene (como el ambiente de la Tierra primigenia) presente una mezcla racémica de éstos sistemas particulares, con las mismas desviaciones en el número de ellos, pero manteniendo la condición racémica global (estadísticamente).

Violación de la Paridad.

La violación de la paridad es un fenómeno que se da a nivel atómico en las fuerzas electrodebiles. Se encuentra relacionada con la quiralidad debido a que si se tienen, por ejemplo, dos electrones de la misma quiralidad, éstos interactuarán con mayor fuerza y lo harán más rápido que si se tienen dos electrones con quiralidad opuesta. La violación de la paridad se refiere precisamente a esto: a la existencia de energías de interacción distintas entre partículas que sólo difieren en su quiralidad, y a la diferencia de energía entre cada enantiómero se le denomina *diferencia de energía en la violación de la paridad*, y es un criterio que ha sido empleado para inferir si dentro de una mezcla racémica, la diferencia de energía en la violación de la paridad es tal que favorezca la interacción entre partículas de la misma quiralidad e induzca así la ruptura espontánea de la simetría hacia un sistema óptimamente activo.

Sin embargo, la violación de la paridad es un fenómeno que se observa en las partículas sólo cuando su interacción es débil (Moshinsky, 2008). Así, la idea de identificar una diferencia de energía en la violación de la paridad que favorezca la interacción para L-aminoácidos, y otras moléculas de sólo una quiralidad presentes en los sistemas vivos, ha dado resultados discutidos, que además dependen de la conformación asumida para las moléculas en cuestión, así como del método particular empleado para el cálculo (Crinin y Reisse, *op. cit.*).

Además, la violación de la paridad, al darse en sistemas cuánticos y sólo en las interacciones débiles, requiere de muy bajas temperaturas, cercanas al cero absoluto, para reducir la energía de las partículas elementales. Chala-Flores (1994) asume que un gradiente de temperatura podría inducir a una mezcla racémica de aminoácidos romper de manera espontánea su simetría en forma de espejo, separándose así las fases quirales debido al condensado de Bose. Debido a esto, y en base a este condensado de Bose-Einstein donde las longitudes de onda de los átomos individuales se suman y éstos se comportan como un “superátomo”; para que la violación de la paridad con un signo particular (+ o -) tenga efecto a nivel macromolecular, las temperaturas a las cuales se da el proceso deben ser muy bajas, restringiendo así la ruptura espontánea de la simetría a ambientes fríos, además de que la controversia en los cálculos para mostrar que la quiralidad de las moléculas biológicas es la “correcta” aún espera por datos que comiencen a mostrar la validez o invalidez de ésta hipótesis; no pudiendo establecer de

manera fehaciente, por el momento, una relación causal entre la violación de la paridad y la homoquiralidad presente en los sistemas biológicos.

Luz polarizada circularmente.

La hipótesis que propone a la fotólisis enantioselectiva como la causante inicial de un exceso enantiomérico se basa en los resultados obtenidos en los diversos laboratorios que han empleado la luz polarizada circularmente para generar destrucción preferencial de un tipo de isómero e inducir de este modo un exceso enantiomérico en el residuo. De los primeros reportes de este tipo de experimentos que se tienen en la literatura es el dado por Kuhn y Braun en 1929, quienes mostraron que es posible una fotólisis parcial de una mezcla racémica al irradiarla con luz ultravioleta polarizada circularmente, originando así un exceso enantiomérico en el residuo de la mezcla irradiada (citado por Cornin y Reisse, *op. cit.*). Por su parte, Balavoine *et al.* (1974) reportan lo obtenido en sus experimentos al irradiar también con luz ultravioleta polarizada circularmente una mezcla racémica de α -azido-N, N-dimetilpropinamida, obteniendo una pureza óptica de $19.9 \pm 2\%$; permitiendo generar un tratamiento teórico para lograr calcular la pureza enantiomérica que puede ser alcanzada según el grado de fotodestrucción de los enantiómeros, mostrando que al permitir que la reacción se desarrolle hasta el 99% se obtiene en el residuo de la mezcla una pureza enantiomérica de 35.5%. Concluyendo que la obtención de una pureza óptica muy alta es posible por esta vía.

En 1977, dos trabajos independientes, uno de Nordén y otro de Flores *et al.*, mostraron que los aminoácidos pueden ser sometidos a fotodestrucción enantioselectiva si se les irradia con luz ultravioleta polarizada circularmente, debido a las diferencias existentes en los coeficientes de extinción entre las formas enantioméricas. Además de la fotólisis enantioselectiva, la luz polarizada circularmente puede también ser empleada para efectuar una síntesis enantioselectiva contando con reactantes aquirales, donde la luz polarizada circularmente es el único elemento quiral, de acuerdo con el principio de asimetría de Curie: “cuando ciertas causas producen ciertos efectos, los elementos de simetría de las causas deben ser encontrados en los efectos del producto. Cuando ciertos efectos revelan una cierta asimetría, esta asimetría deberá ser encontrada en las causas que le dan origen” (citado por Cronin y Reisse *op. cit.*).

De este modo, el exceso enantiomérico hallado en los meteoritos Murchison, Allende y Murray de L-aminoácidos sugieren la existencia de un elemento quiral en el espacio exterior, capaz de inducir el exceso enantiomérico hallado aún cuando los reactantes fuesen aminoácidos aquirales, cosa que no lo son. Por tal motivo se ha propuesto en base a los resultados experimentales que la luz polarizada circularmente proveniente de una supernova o una estrella de neutrones fuese la causante de dicha asimetría y que, por lo tanto, la fotodestrucción quiroselectiva es el proceso más plausible para un exceso enantiomérico inicial en las moléculas orgánicas. Esto sitúa el origen del exceso enantiomérico a las regiones en el espacio exterior donde la luz polarizada circularmente es capaz de incidir sobre las partículas y, más en particular, donde la longitud de onda de esta luz polarizada es del tamaño preciso para que sea absorbida por los aminoácidos (luz ultravioleta). A la superficie terrestre, esta luz ultravioleta polarizada circularmente no llega con la suficiente intensidad para tener un efecto significativo sobre las mezclas racémicas de aminoácidos, por tal motivo el origen cósmico del exceso enantiomérico de las moléculas orgánicas y, en particular, de los L-aminoácidos, se sitúa como una opción plausible. Sin embargo, aún no hay reportes de la presencia de luz ultravioleta polarizada circularmente proveniente de una supernova o

estrella de neutrones, que pueda causar la fotodestrucción preferente, antes mencionada, de los D-aminoácidos.

A pesar de esto, la radiación con luz polarizada circularmente puede generar partículas ionizadas que se mantengan fijas sobre una superficie y que interactúen electrostáticamente con otras partículas a las cuales se les puede poner en movimiento sobre dicha superficie o canal de algún material sólido (como un meteorito, por ejemplo), tal como lo sugiere el modelo matemático desarrollado por Aldana *et al.* (1998, 2003), Martínez-Mekler *et al.* (1999). De este modo, dado que un problema no abordado hasta ahora en este trabajo es la racemización de las mezclas con actividad óptica, es decir, que ante un exceso enantiomérico el sistema adquiere cierto orden que le hace inestable (de acuerdo a las leyes de la termodinámica) y hay una tendencia espontánea a regresar a un estado equilibrado en las concentraciones de los enantiómeros y perder así este orden, es decir, hay una tendencia a producir nuevamente una mezcla racémica. Si la luz polarizada circularmente genera un exceso enantiomérico de L-aminoácidos, éste desequilibrio tendería a desaparecer en tiempos largos. Este problema puede ser resuelto si se considera la idea aún intuitiva de este grupo de trabajo donde, además de actuar sobre los aminoácidos y otras partículas biogénicas, la luz polarizada circularmente puede inducir estructuras quirales que sirvan de soporte a otras; es decir, la presencia de nanotubos de carbono en el medio interestelar y en los meteoritos (como el Allende, Murchison y Murray) da pie a suponer una superficie que pueda estar cubierta por éstos, formando canales como se proponen en el modelo matemático. El descubrimiento de nanotubos de carbono quirales en este medio interestelar refuerza la idea, y su formación y adhesión sobre la superficie de meteoritos permite tomarlos seriamente como candidatos para establecer estos espacios cuasiunidimensionales sobre los que puedan polimerizar aminoácidos con quiralidad opuesta a la del microtubulo quiral; pudiendo estabilizar el exceso enantiomérico de L-aminoácidos, o por lo menos retrasar su racemización, producida por la fotólisis antes descrita. Por esto, la radiación polarizante es la principal candidata no sólo para originar un exceso enantiomérico inicial en los aminoácidos (demostrada esta última ya en los meteoritos Allende, Murchison y Murray), sino además para inducir superficies quirales (como los nanotubos y/o fulerenos) que permitirían la formación de polímeros homoquirales, sobre los cuales puedan ser desarrolladas paralelamente ciertas propiedades dinámicas capaces de soportar una estructura y comportamiento característicos para dar paso a los sistemas biológicos.

Autocatálisis enantioselectiva.

Una vez que se ha logrado un desequilibrio significativo en una mezcla racémica, favoreciendo la preeminencia de uno de los enantiómeros sobre el de quiralidad opuesta, este ligero desequilibrio inicial puede ser amplificado a valores muy altos de pureza óptica gracias a reacciones químicas que sean sensibles a sustratos de una quiralidad específica, dando como producto de la reacción una molécula con la misma quiralidad que la empleada para el inicio de ésta. A esta reacción, o serie de ellas, que emplean una molécula quiral como catalizador de la reacción para originar productos moleculares con la misma quiralidad se le denomina autocatálisis, y dado que sólo genera moléculas de la misma quiralidad que la molécula empleada al inicio, se le llama enantioselectiva, y puede generar valores altos del exceso enantiomérico a partir de valores bajos.

La reacción de autocatálisis que mejor se ha descrito para amplificar el exceso enantiomérico inicial en moléculas orgánicas es la llamada reacción de Soai (figura 1), descrita en 1995, y empleada en los experimentos para determinar la quiralidad del material orgánico insoluble de los meteoritos Murchison, Murray y Allende (Kawasaki *et al.*, 2006). En la reacción se parte de un pirimidil alcohol quiral, con un bajo exceso enantiomérico; el cuál genera un zinc alcoxido intermediario con la misma quiralidad. Este zinc alcoxido cataliza la adición de zinc diisopropil a un aldehído quiral, transfiriéndole la misma quiralidad para generar más zinc alcoxido quiral, el cual, tras sufrir hidrólisis, da como producto final de la reacción pirimidil alcohol con la misma quiralidad que la original, generando un exceso enantiomérico alto.

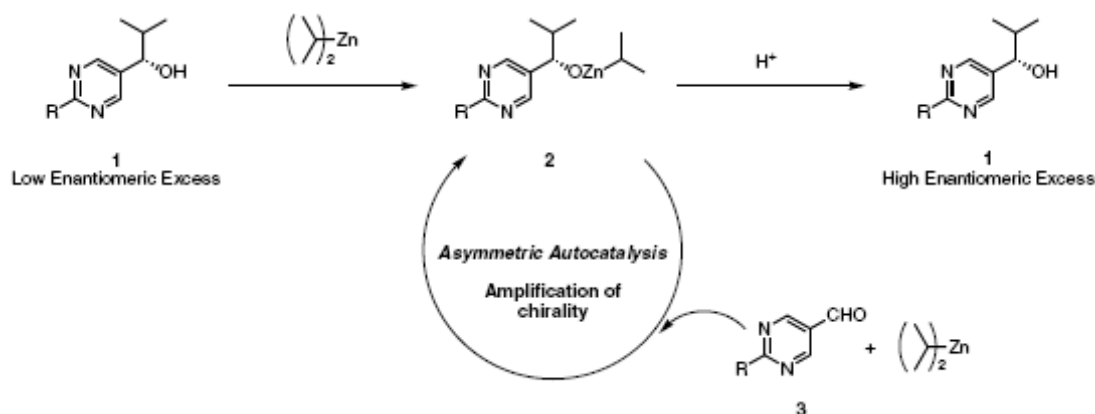


Figura 1. Esquema de la Reacción de Soai. Se muestra la amplificación de un exceso enantiomérico inicialmente bajo, a valores altos por medio de una reacción de autocatálisis asimétrica, donde un intermediario de la reacción es capaz de catalizar y transferir su quiralidad a una molécula. 1, alcohol pirimidil; 2, zinc alcoxido quiral; 3, aldehído quiral. (Tomado de Kawasaki *et al.*, 2006).

De este modo, cuando en el medio existe una mezcla de enantiómeros racémica, o que presenta ligeras variaciones no muy drásticas (no significativas) de uno de ellos; la reacción de autocatálisis emplea sin alguna preferencia ambos enantiómeros, manteniéndose igualmente una mezcla racémica. Por el contrario, cuando en el medio existe un bajo pero significativo exceso enantiomérico, capaz de disparar la catálisis asimétrica, el exceso inicial podrá ser amplificado a valores altos de éste al generarse el intermediario autocatalítico de la misma quiralidad que la molécula inicial de la reacción. De este modo, la reacción de Soai representa un modelo experimental que describe una reacción química capaz de originar un sistema con una pureza óptica muy elevada, partiendo de un inicial exceso enantiomérico bajo.

Pese a esto, el mecanismo por medio del cuál una mezcla racémica, equilibrada y por lo tanto en desorden, puede perder este equilibrio y ordenarse para generar un suficiente exceso enantiomérico para disparar una reacción de amplificación autocatalítica, aún ha de ser teórica y experimentalmente respaldado. Además, a la ruptura de esta simetría le ha de seguir la racemización del sistema; por lo que un mecanismo que mantenga este sistema fuera del equilibrio debe ser igualmente considerado.

[dos] La homoquiralidad biológica como un sistema autoorganizado.

Un problema fundamental en los experimentos actuales sobre el origen de la vida es la incapacidad de crear un sistema fisicoquímico capaz de mantenerse por sí mismo, empleando recursos de su entorno, con la propiedad de autorreproducirse y de

establecer una organización e interacciones en su interior entre los elementos moleculares que lo conforman, y que la información para su estructuración pueda ser heredada y modificada de tal modo que sea capaz de diversificar y permanecer en el tiempo.

Además, dado que todos los sistemas biológicos conocidos (incluyendo a los virus y a los priones) presentan una condición homoquiral en sus bloques de construcción, el problema se hace medular, pues no basta con la simple obtención de los componentes biogénicos por medio de procesos que pudieron haberse dado en la Tierra primitiva sino, además, que estos componentes, siendo quirales, sean obtenidos cada tipo en una sola quiralidad. Es sabido que virtualmente todos los aminoácidos quirales que constituyen las proteínas son de la serie L (L-aminoácidos) y que los azúcares que entran a las rutas metabólicas y aquellas que conforman a los ácidos nucleicos (RNA y DNA) son de la serie D; siendo así un hecho que, dentro de los sistemas biológicos, los elementos que los conforman necesitan presentar una condición homoquiral en los tipos moleculares que constituyen al sistema.

Los primeros investigadores en el área del origen de la vida se enfrentaron al problema de mostrar que los elementos biogénicos, es decir, que las moléculas orgánicas presentes en los sistemas vivos y muchas rutas metabólicas relacionadas con fenómenos biológicos (como la fermentación) pueden originarse por procesos abióticos y tener su origen y desarrollo sin necesidad de que sean involucrados factores bióticos. Dentro de estos esfuerzos se encuentra la teoría de Oparin, que intenta explicar, además, cómo y cuáles fueron estos procesos abióticos capaces de generar moléculas biogénicas; muchas de ellas ya sintetizadas en laboratorios químicos. La prueba más evidente de estos trabajos son los experimentos de Miller, donde son sintetizados aminoácidos y azúcares en un matraz de reacción por la presencia de una mezcla de gases reductores, amonio y una descarga eléctrica a manera de chispa que suministra la energía suficiente al sistema. Las posteriores variaciones de experimentos tipo Miller-Urey han mostrado que la gran mayoría de moléculas esenciales para la vida pueden ser sintetizadas por rutas completamente abióticas (Orgel, 1998).

Sin embargo, a pesar de que pueden ser obtenidas una amplia gama de constituyentes moleculares de los sistemas biológicos por medio de reacciones abióticas en matraces de reacción en los laboratorios, la simple colección de elementos de este tipo no ha logrado originar un sistema que pueda emular las características de un sistema vivo. Problema que ha dado pie a los vitalistas actuales para fundamentar sus críticas aludiendo a este supuesto “fracaso” de la ciencia, argumentando que no se ha podido obtener un sistema vivo obteniendo los elementos biogénicos en experimentos de síntesis química prebiótica. Y a pesar de que es verdad tal señalamiento, se olvida el hecho de que esta misma crítica se hacía ante los primeros intentos de obtener proteínas u otras moléculas biológicas, como productos metabólicos; y a pesar de los iniciales tropiezos, éstas fueron sintetizadas y hoy se sabe que en el medio interestelar, así como en superficies de cometas y meteoritos también son formadas moléculas orgánicas e incluso aminoácidos (Ehrenfreund y Charnley, 2000); mostrando la universalidad de los procesos químicos y físicos que originan las moléculas biogénicas. Las interacciones y organización que puedan ser establecidas por este tipo de moléculas para manifestar la vida como una propiedad emergente de la dinámica de la materia organizada, son la prioridad que actualmente comienza a tener fuerza entre los investigadores.

De este modo, en la actualidad se acepta que las moléculas biogénicas pueden ser obtenidas como una colección de elementos moleculares, y que éstas pueden ser formadas por medio de reacciones comunes a varias de ellas (por lo que no es necesario buscar una ruta química particular para cada componente molecular). Sin embargo, la idea de que al obtener este conjunto de elementos, por si mismos podrán generar un sistema vivo es un punto de vista que comienza ya a ser modificado cada vez de manera más frecuente, y el énfasis que se hace no en la colección de elementos de un sistema (en este caso, moléculas biogénicas), sino en las interacciones que establecen éstos al interior de dicho sistema y entre ellos son formas de abordar el problema que se encuentran definidas en el estudio de los sistemas complejos que, como se ha mencionado ya, se enmarca en la filosofía del materialismo dialéctico.

Esta visión de poner énfasis en las interacciones entre los elementos de un sistema, una vez teniendo identificados los elementos involucrados en la dinámica (no necesariamente todos) y las interacciones que se establecen entre ellos, tuvo ya un notable avance a inicios de 1900 con los trabajos del profesor Alfonso L. Herrera y los plasmogenistas, donde se buscaba obtener un sistema vivo partiendo del obtener procesos y dinámicas entre componentes químicos (como silicatos, aceite, etc.), sin que los elementos empleados estuvieran presentes en los sistemas vivos actuales, pero que emularan procesos dinámicos y de organización en los seres vivos (como las corrientes osmóticas). Los avances fueron notables al mostrar que los patrones de organización de estos componentes abióticos emulaban las formas biológicas, no sólo en su morfología, sino también en sus procesos dinámicos (como movimientos “ameboides” y putativas divisiones “celulares”). Sin embargo, no pudo ser obtenido un sistema capaz de ser considerado vivo, aunque muchos de sus procesos dinámicos y de organización espacial fueron logrados por la plasmogenia. Un estudio refiriendo los trabajos de Leduc (Cronish-Bowden y Cárdenas, 2008) ya hace notar que estos experimentos confirman la universalidad de los fenómenos biogénicos, en este caso, los relacionados con la autoorganización de la materia para generar el sustrato espacial y material que pueda sostener la dinámica de un sistema vivo, permitiendo así mantener la organización interna de la vida que, pese a todo, aún no ha sido lograda como se desea en algún laboratorio. En su libro de 1924, Herrera escribe: *“Estos experimentos confirman la presunción que propusimos desde el principio de nuestros trabajos, diciendo que la vida tuvo su origen en el mundo inorgánico y que no se comprende que pudiera formarse con las materias orgánicas que ella misma sintetiza”*; y precisa, ante una objeción del entomólogo Forel al pedir que las células imitadas por la plasmogenia tengan una historia hereditaria, sobre la evolución de las primeras formas de vida: *“[...] no se trata de fabricar esa clase de celdillas sino las que deben aparecer, sin herencia alguna, en medios inorgánicos primitivos o actuales, bajo la influencia de fuerzas físico-químicas conocidas, lo que hemos llamado Protobios o primeras vidas y corresponden a las imitaciones logradas ya en los laboratorios. La herencia acumulada vendrá lentamente.”*

En este contexto, donde las propiedades dinámicas de los sistemas que se establecen por medio de las interacciones entre sus elementos o componentes les dan propiedades características, a manera de propiedades emergentes originadas por la organización del sistema; la homoquiralidad de las moléculas biológicas se presenta como un modo particular de organización en los sistemas vivos que sustenta la emergencia de nuevas propiedades enmarcadas en tales sistemas. En particular, un par de trabajos aportan evidencia para considerar la homoquiralidad biológica como un modo de organización

de los sistemas que soporta la emergencia de la propiedad en ellos, que es conocida como vida: uno es un modelo matemático, y el otro es un intento por definir qué es la vida.

El modelo matemático ha sido desarrollado entre 1996 y 2003, logrando mostrar que la dinámica de interacción entre polímeros que se desplazan sobre superficies en presencia de partículas ionizadas, establece un desplazamiento no uniforme que se da, en promedio, cada tres monómeros de la cadena. Según predice el modelo de la dinámica de interacción sobre canales en espacios cuasiunidimensionales, los potenciales de interacción entre estas partículas fijas y las cadenas de polímeros definen una regularidad espacial de cada dos monómeros como la distancia más probable en la aparición de mínimos consecutivos de la interacción, pero la distancia de tres monómeros entre ellos es la distancia promedio (figura 2; Martínez-Mekler, et al., 1996; Aldana et al., 1998).

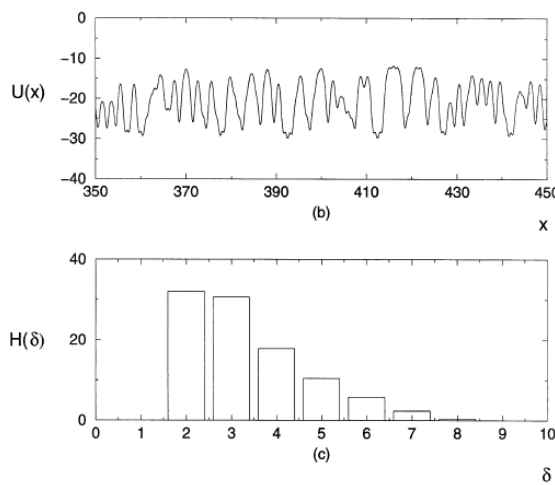
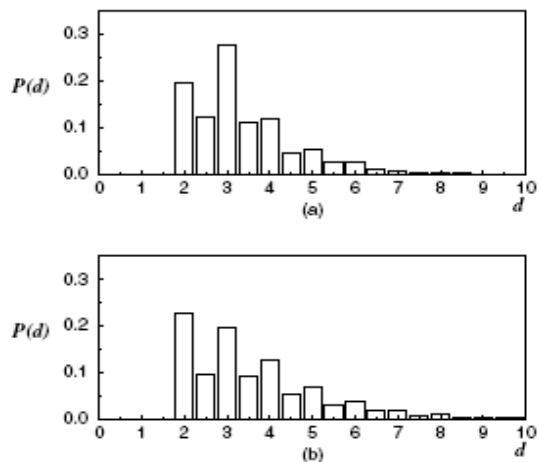


Figura 2. Distribución de mínimos en potenciales de interacción. Se muestra el número de mínimos en un intervalo de 350-450 monómeros de una cadena en interacción con una partícula cargada, haciendo notar que, en promedio, los 31 mínimos registrados establecen una distancia promedio entre ellos de 3.22 (b). Mientras tanto, el valor más probable en la distancia entre mínimos consecutivos mostrado en el histograma, es de 2 (c). (Tomado de Aldana et al., 1998).

Estos resultados son obtenidos si son tomadas secuencias aleatorias de partículas polimerizando; pero si son tomadas secuencias de monómeros en cadenas que transportan información, el resultado es interesante: cuando el modelo es corrido empleando secuencias genómicas de organismos reales, el resultado de una distribución de cada dos monómeros en los mínimos de interacción es repetido nuevamente si son empleadas las secuencias intergénicas de los genomas, que no codifican para proteínas, sin embargo, cuando son tomadas las secuencias codificantes (exones), se obtiene una distribución más probable de cada tres monómeros en la distancia de la aparición de mínimos consecutivos de la interacción (figura 3; Aldana-González et al., 1998, 2003).

Figura 3. Probabilidad en la distancia de mínimos consecutivos. Empleando secuencias codificantes de *Drosophila melanogaster* (a), se presenta que la distancia más probable entre mínimos consecutivos es de 3 monómeros; mientras tanto, al usar las secuencias no codificantes del genoma (b) se obtiene que la distancia más probable entre mínimos consecutivos es de 2. (Tomado de Aldana et al., 2003).



Estos resultados no sólo muestran que las regiones no codificantes se comportan de manera similar que los polímeros con secuencias aleatorias, sino que presentan la evidencia de lo que Chela-Flores (1994) menciona: “[...] las macromoléculas de la vida son regulares pero contienen una propiedad que las separa de las formas más ortodoxas de la materia condensada, llamada información”. Es decir, a pesar de que el modelo es realizado para mostrar que en términos muy generales la dinámica de monómeros polimerizando sobre espacios cuasiunidimensionales interactuando con partículas fijas con carga eléctrica define una regularidad espacial que determina una regularidad en la dinámica de interacción de cada tres monómeros en el polímero, y que esto puede tener implicaciones prebióticas definiendo el origen del codón de tres monómeros del código genético como el resultado de la dinámica intrínseca del sistema, pone de manifiesto que la propiedad de almacenamiento de información específica en los polímeros se alcanza como consecuencia de una propiedad no tan general de los monómeros en interacción, a saber: dado que el modelo empleó secuencias reales de genomas de organismos, y estos genomas presentan una condición homoquiral en sus elementos de construcción (D-desoxiribosa y, en particular, D-ribosa para el RNA que es el que interacciona con el RNA de transferencia estableciendo la dinámica ribosomal de tres en tres monómeros), la homoquiralidad en las moléculas de un polímero se presenta como una condición necesaria en los elementos materiales de soporte de un sistema vivo. Sin embargo, no se está sugiriendo aquí que tan sólo con emplear monómeros de una misma quiralidad en la construcción de un polímero da como consecuencia el almacenamiento de información necesaria para un sistema vivo; sino que se quiere hacer notar que ésta condición homoquiral permite la emergencia de propiedades novedosas: el almacenamiento de información, que es una consecuencia cuando los bloques son ordenados de un modo especial como en los exones homoquirales, que codifican aminoácidos también homoquirales (y con quiralidad opuesta).

El modelo incluso muestra que esta dinámica en la interacción, se ve reforzada si los monómeros son todos de una misma quiralidad (Martínez-Mekler *et al.*, 1996). La definición dada por Carroll (2009) de vida, definiéndola como “*todo aquello que autorreproduzca un ambiente homoquiral*”, se basa precisamente en la teoría de la información, donde la cantidad de ésta que puede ser almacenada por una molécula (como los aminoácidos) tiene implicaciones importantes en cuanto a la cantidad de información espacial que puede ser contenida en moléculas de carbono quirales: al hacer los cálculos en base a la entropía de Shanon, Carroll encuentra que la cantidad de información espacial que puede ser contenida por una molécula, con un centro quiral, de manera individual es de 2 bits binarios; pero para moléculas con más de un centro quiral, la información en el espacio contenida en ellas aumenta en múltiplos de 2. Por su lado, debido a que cada aminoácido en una cadena peptídica tiene tres de sus grupos espaciales sin contribuir a la información, la cantidad de información que aportan es de 1 bit, y la cantidad de información errónea que puede ser transmitida (según el concepto de equivocación) es de 0.53; por lo que la cantidad de información que cada aminoácido quiral puede transmitir es de 0.47 bit, donde para el caso de una mezcla racémica es de cero. Por lo que un conjunto homoquiral de bloques de construcción es la manera más efectiva de transmitir información espacial, y que una reducción en la cantidad de esta información espacial es contrarrestada por un aumento en la cantidad de átomos que constituyan a la molécula aquiral o, en este caso, las moléculas de una mezcla racémica.

Es decir, estos trabajos sugieren que la condición homoquiral de los polímeros biológicos permite el almacenamiento y transmisión efectiva de información, como lo

muestra la dinámica descrita por el modelo que encuentra un comportamiento más robusto de cada tres unidades en las secuencias codificantes del genoma de los organismos vivos. De este modo, teniendo en cuenta que la organización de la materia en los sistemas se da cada vez en organizaciones más complicadas, desde las partículas elementales organizadas en los átomos, éstos en moléculas, macromoléculas, etc.; podemos citar nuevamente el trabajo de Martínez-Mekler *et al.* (1996) donde afirman: “[...] en tal sentido, la vida es más una necesidad que cuestión de suerte”.

[tres] Los sistemas biológicos como un conjunto de componentes en interacción.

La mera colección de elementos en un sistema no explica sus propiedades dinámicas, sino sus interacciones y organización a lo interno de él. En este sentido, la obtención de un conjunto de moléculas biogénicas no definen por sí mismas a un sistema vivo, sino que es la manera en cómo estos elementos se organizan e interaccionan dentro del sistema la que define las características de los sistemas biológicos. Las características dinámicas de un sistema vivo se encuentran definidas por la propiedad de la materia organizada que es conocida como vida, lograda al establecerse ciertas relaciones entre los elementos de dichos sistemas y que puede ser sustentada gracias a la estructura que se genera al organizarse estos elementos en el sistema. “*No hay una materia viva y una materia muerta, porque todo vive en el Universo*”, establece la Ley de la Vida Universal, definida por los trabajos de los plasmogenistas y enunciada por Herrera; y definen además, en la Ley de la Evolución, que “*todo evoluciona y se desarrolla de lo homogéneo a lo heterogéneo*” (Herrera, 1932).

La información contenida en los ácidos nucleicos de los sistemas biológicos tienen, en última instancia, la información necesaria para permitir que sean sintetizados los elementos necesarios para el organismo, es decir, tienen la información para sintetizar los elementos del sistema que permiten establecer la organización e interacción de los elementos moleculares dentro del organismo vivo. Es decir, la autorreproducción de un patrón de estructura interno con todo y su dinámica e interacciones (una red) es lo que permite la emergencia de la vida como una propiedad en este patrón de organización que acepta modificaciones en sus elementos (mutaciones) bajo la condición indispensable de que estas modificaciones permitan que la organización siga soportando la dinámica vital del organismo. Lo anterior bien acepta los fenómenos de epigénesis, donde la herencia de características en elementos del sistema no depende de manera alguna de la información en los ácidos nucleicos, como sucede en el caso de la herencia de priones por la llamada “herencia citoplasmática” que ocurre cuando la célula se divide y el citoplasma, con sus elementos, lo hace también; lo que nos permite suponer con toda validez que lo que se hereda, en última instancia en los sistemas vivos, es la organización del sistema y su dinámica interna; tal como lo postula la teoría de la Autopoyesis. Si bien todo en el universo está vivo, según la ley de la vida universal, no todo manifiesta visiblemente esta propiedad al ser una propiedad emergente de la materia organizada, lograda cuando se establece esta red de elementos en interacción.

Cornish-Bowden y Cárdenas (*op. cit.*) mencionan que “una característica fundamental de los organismos vivos es su habilidad para conservar su integridad en la organización, a pesar de los cambios en su ambiente y a pesar de la duración finita de todos sus componentes”; lo que refuerza la afirmación aquí hecha de que la herencia, en última instancia, es la herencia de la organización e interacciones internas de los sistemas biológicos que, pese a lo complejo que puede ser la vida en la actualidad, no

tiene por qué haber sido así en el principio: “la aplicación repetitiva de reglas muy sencillas puede generar estructuras complejas. La observación de una estructura compleja, por lo tanto, no garantiza un fundamento complejo” (Mandelbrot, 1977; citado por Cornish-Bowden y Cárdenas, *op. cit.*).

En base a lo anteriormente propuesto, un mundo primigenio con formas de vida muy tempranas ya debiera de haber tenido esta organización mínima que le permitiera soportar la vida como un proceso dinámico y, por lo tanto, es lógico suponer que los primeros mecanismos de herencia, al igual que los actuales, se hacían manteniendo esta estructura e interacciones internas, aún cuando los elementos pudiesen sufrir variaciones. Como se ha mencionado, la homoquiralidad de los componentes biológicos es una condición que permite almacenar información espacial con mayor eficiencia y, por lo mismo, es un tipo de organización de los elementos que integran los sistemas biológicos, necesaria para poder soportar la dinámica de los procesos de la vida. Es decir, en el presente trabajo se supone la condición homoquiral como un requisito previo al origen de los sistemas vivos. Suposición que se sustenta en el argumento antes expuesto de la capacidad de transporte y almacenamiento de información por parte de las moléculas quirales y su condición homoquiral en la construcción de polímeros; además de los hallazgos hechos de excesos enantioméricos encontrados en los meteoritos Murchison, Murray y Allende, lo que muestra que la ruptura de la simetría en mezclas racémicas es un fenómeno frecuente en el universo, además de abiótico. Por si fuera poco, el exceso enantiomérico encontrado en estos meteoritos es a favor de los L- α -metil aminoácidos, es decir, la misma quiralidad que la presente en los aminoácidos terrestres.

Dado que uno de los productos frecuentes en los experimentos de tipo Miller-Urey son los aminoácidos (aunque en proporción racémica), puede ser desarrollada la idea de que monómeros de aminoácidos adheridos a nanotubos quirales sobre la superficie de meteoritos, al recibir radiación ultravioleta polarizada circularmente en el espacio interestelar, se causaría la fotólisis preferencial de un enantiómero (en este caso, la fotodestrucción de los D-aminoácidos), causando un exceso enantiomérico inicial que sería estabilizado al pegarse a una superficie quiral y, de ser necesario para generar excesos enantioméricos elevados, amplificado por un mecanismo químico de autocatálisis como la reacción de Soai. Los polímeros generados, por acción de esta radiación ionizante, se “pegarían” a los nanotubos de carbono con quiralidad opuesta (D), estabilizando el exceso enantiomérico y retardando la racemización. Este exceso enantiomérico en cadenas de L-aminoácidos llegaría a la superficie de la Tierra durante el periodo de acreción, aportando los elementos materiales para soportar la organización de algún sistema que pueda desarrollar la dinámica de los procesos vitales en el planeta Tierra.

Las cadenas de L-aminoácidos, es decir, las cadenas homoquirales polipeptídicas podrían inducir la ruptura espontánea de la simetría en otras moléculas orgánicas como en los azúcares, del modo que lo señalan los experimentos de Weber (1997) y Weber y Pizzarello (2006; citados por Pizzarello, 2007) donde se ha inducido la condensación de D-glicolaldehído y otros azúcares de cuatro carbonos de la misma serie quiral D, empleando como agentes catalíticos aminoácidos individuales o dímeros de aminoácidos, todos ellos de la serie L. Esta condición homoquiral, previa al desarrollo de los sistemas vivos, pudo lograr estabilidad al plegarse las cadenas homoquirales de L-aminoácidos logrando una conformación β -amiloide, siendo más estable ante

variaciones térmicas, radiación e hidrólisis, como lo señala Maury (2009) al considerar esta conformación como más estable que cualquiera adoptada por el RNA o algún ácido nucleico; además, la estructura β -amiloide adquiere capacidad catalítica y un sistema de copiado por medio de emparejamiento, similar al de los priones; logrando heredar, de este modo, la organización e interacciones (la red) dentro de un sistema que pueda soportar la dinámica de los seres vivos; permitiendo la variación (mutaciones) entre los elementos estructurales de dicha red, sin necesidad de los ácidos nucleicos.

A la paradoja que establece la síntesis de proteínas a partir de los ácidos nucleicos empleando proteínas para dicha síntesis, cuestionando el ¿cómo sintetizar proteínas a partir de RNA si se necesitan proteínas para ello? (Ricardo y Szostak, 2009), desaparece si se deja de considerar que los ácidos nucleicos son los únicos que pueden almacenar información, y se considera la capacidad informativa espacial contenida en los aminoácidos quirales, como lo hace Carroll (*op. cit.*). Pudiendo suponer la existencia de un “mundo de los péptidos”, anterior al “mundo del RNA” y con independencia de estos ácidos nucleicos para almacenar y transmitir información. Así, un exceso enantiomérico de L-aminoácidos podría interactuar con los ácidos nucleicos en etapas posteriores de la evolución biológica donde estas moléculas puedan ser estabilizadas, induciendo no sólo la quiralidad en ellas (D-ribosa, para el caso inicial del RNA), sino también la dinámica en la interacción de cada tres unidades entre un aminoácido individual y la cadena de RNA, fijando así el codón de tres bases como consecuencia de la dinámica interna del sistema. Transfiriendo la información para heredar la red en los sistemas biológicos a los ácidos nucleicos. Por lo que, en base a esto, es muy probable que las proteínas hayan aparecido primero.

Al poético polvo de estrellas, que sirve como sustrato para la condensación de gases y la formación de diversas moléculas orgánicas en el medio interestelar (Ehrenfreund y Charnley, 2000) le sigue, tras varios procesos de interacciones y organización estocásticas, la nucleación de moléculas biogénicas que son el sustento material para manifestar la vida, una vez que adquieren cierta organización e interacciones dentro de un sistema. Tras originarse diversas variantes de esta red de organización (dadas por la generalidad de los procesos que dan paso a la autoorganización de la materia), esta dinámica interna definida para los procesos biológicos sería la fuerza innovadora de la propiedad vital en estos sistemas, y la selección natural actuaría como el “volante” que da dirección a esa organización, hasta los sistemas que actualmente identificamos como vivos. La asociación de los elementos (sus redes en el sistema) es la fuerza que genera innovaciones y puede inducir cambios abruptos, pues no depende de la aparición o integración al sistema de nuevos elementos, sino del cambio en las relaciones que se establecen entre estos elementos del sistema.

[cuatro] La universalidad de los procesos orgánicos relacionados con los sistemas vivos.

Ley de las Vidas Universales, de la plasmogenia concreta: “*Cuando las condiciones fisicoquímicas de un planeta en vías de enfriamiento son favorables para la producción de soluciones de coloides y cristaloides nitrogenados, inestables, etc., se formarán células en evolución, con todas las transiciones entre el cristal y el organismo*” (Herrera, *op. cit.*).

Ehrenfreund y Charnley (*op. cit.*), hacen una revisión del inventario molecular que ha sido identificado en el espacio exterior por medio de los espectros de longitudes de onda que han sido captados desde la Tierra, y en lo que a la materia orgánica respecta, se ha reportado una gran variedad de moléculas de carbono, desde pequeñas hasta de gran tamaño (cuadro 1) con una diversidad de formas enantioméricas e isómeros estructurales, de donde han sido observadas varias moléculas orgánicas en nubes difusas del medio interestelar; como son los hidrocarburos aromáticos policíclicos, fulerenos, cadenas de carbono, diamantes, carbono amorfo y redes complejas de moléculas aromáticas del tipo del querógeno.

Por su parte, la composición de cometas y meteoritos ha revelado la presencia de moléculas orgánicas, a tal grado que se ha propuesto que la composición de éstos contiene la información para comprender su origen, y que pueden ser usados para localizar los procesos que fueron predominantes en la nébula protosolar (Ehrenfreund y Charnley, *op. cit.*); postulando así, en base al periodo de acreción en la Tierra temprana, que el enriquecimiento de material orgánico extraterrestre pudo haber permitido la emergencia de un salto para el desarrollo de la vida. Las partículas de polvo, presentes en las nubes moleculares frías, funcionan como catalizadores en cuya superficie condensan y reaccionan átomos y moléculas a partir del estado gaseoso. Los granos de polvo que son transportados a regiones protoestelares activas pueden sufrir modificaciones en la composición química de su superficie, siendo un factor importante la irradiación ultravioleta que genera radicales libres y moléculas complejas, en cuyo caso es posible que se generen tanto aquellas que no poseen una barrera energética, como aquellas que sí la poseen al establecerse redes de reacciones estocásticas en el manto de los granos de polvo estelar; confirmando de este modo una serie de pruebas que muestran que los procesos que dan origen a moléculas orgánicas complejas no sólo constituyen procesos abióticos, sino que además éstas vías químicas son frecuentes y diversas en el Universo.

Number of Atoms										
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
H ₂	C ₂	c-C ₂ H	C ₂	C ₂ H	C ₂ H	CH ₂ C ₂ N	CH ₂ C ₂ H	CH ₂ C ₂ N ⁺	HC ₂ N	HC ₂ N
HF	C ₂ H	1-C ₂ H	C ₂ H	1-H ₂ C ₂	CH ₂ CHCN	HCOOCH ₂	CH ₂ CH ₂ CH	(CH ₂) ₂ CO		
AlCl	C ₂ O	C ₂ N	C ₂ H ₂	C ₂ H ₂	CH ₂ C ₂ H	CH ₂ COOH ⁺	(CH ₂) ₂ O	NH ₂ CH ₂ COOH ⁺		
C ₂	C ₂ S	C ₂ O	1-C ₂ H ₂	CH ₂ CN	HC ₂ N	C ₂ H	CH ₂ CH ₂ OH			
CH	CH ₂	C ₂ S	c-C ₂ H ₂	CH ₂ NC	HCOOCH ₂	H ₂ C ₂	HCN			
CH ⁺	HCN	C ₂ H ₂	CH ₂ CN	CH ₂ OH	NH ₂ CH ₂		C ₂ H			
CN	HCO	CH ₂ O ⁺	CH ₂	CH ₂ SH	c-C ₂ H ₂ O					
CO	HC ₂ O ⁺	HCO ₂	HC ₂ N	HC ₂ NH ⁺						
CO ⁺	HC ₂ S ⁺	HCSH ⁺	HC ₂ NC	HC ₂ CHO						
CP	HC ₂ C ⁺	HNCO	HC ₂ OH	NH ₂ CHO						
CS	H ₂ O	HNC ₂	H ₂ CHN	C ₂ N						
HCl	H ₂ S	HCOO ⁺	H ₂ C ₂ O							
HCS	HNC	H ₂ CO	H ₂ NCN							
NH	HNO	H ₂ CN	HNC ₂							
NO	MgCN	H ₂ CS	SiH ₄							
NS	MgNC	H ₂ O ⁺	H ₂ COH ⁺							
NaCl	N ₂ H ⁺	NH ₂								
OH	N ₂ O	SiC ₂								
PN	NaCN									
SO	OC ₂									
SO ⁺	SO ₂									
SN	c-SiC ₂									
SO	CO ₂									
SS	NH ₂									
CS	H ₂ ⁺									
HF										

Note that observations suggest the presence of large PAHs and fullerenes in the interstellar gas (Tielens et al. 1999; Fering & Ehrenfreund 1997).

Cuadro 1. Moléculas orgánicas en el medio circumestelar e interestelar. (Tomado de Ehrenfreund y Charnley, 2000).

La composición química de los cometas, meteoritos y volátiles también presentan una amplia gama de elementos moleculares basados en el carbono; algunos de ellos siendo análogos de los componentes moleculares en sistemas biológicos (como los α -metil-aminoácidos, detectados en las condritas carbonáceas). Nuevamente Ehrenfreund y Charnley (*op. cit.*) aportan información sobre la composición química de las distintas especies de cometas, donde se ha identificado en términos generales la presencia de HCOOH, HNCO y NH₂CHO, así como formaldehído y metanol; siendo consistente con un origen interestelar similar al de los granos de polvo, donde la química de los átomos de C, O y N dominan en las reacciones.

En el caso de los meteoritos, se ha identificado que contienen moléculas basadas en el carbono, que van desde la presencia de aminas y amidas, hasta purinas y pirimidinas; pasando por hidrocarburos alifáticos y aromáticos, aminoácidos, ácidos carboxílicos y material del tipo del querógeno (Pizzarello, *op. cit.*). Un tipo de meteoritos, las condritas carbonáceas, son interesantes debido a la gran cantidad de moléculas orgánicas que se han identificado en este tipo de meteoritos. De los más estudiados son los meteoritos Allende, Murchison y Murray, de donde, en el caso del meteorito Allende, la presencia de “cebollas” de carbono sugieren que fulerenos complejos o nanotubos de carbono pueden estar presentes en los meteoritos, mientras que en el inventario molecular del meteorito Murchison se ha identificado la presencia de ácidos hidrocarboxílicos y aminoácidos, ambos altamente enriquecidos en deuterio confirmando su origen extraterrestre (Ehrenfreund y Charnley, *op. cit.*); mostrando la existencia de procesos interestelares que originan estas moléculas orgánicas estrechamente relacionadas con la vida.

La distribución de moléculas orgánicas reportada en los meteoritos también describe una asimetría en la quiralidad, con excesos enantioméricos. Kawasaki *et al.* (*op. cit.*) reportan estos hallazgos y muestran que la materia orgánica insoluble se encuentra compuesta por una mezcla asimétrica de enantiómeros. A tal grado que Pizzarello (*op. cit.*), da un panorama general de los procesos químicos relacionados con la aparición de moléculas biogénicas en la Tierra, pero que se dan en el espacio estelar, y que llegan a la Tierra conformando los meteoritos del tipo condritas carbonáceas. En este trabajo del año 2007, esta investigadora hace una revisión sobre el amplio isomerismo de las moléculas orgánicas encontrado en las condritas carbonáceas, donde enfatiza la importante desviación de la distribución aleatoria de los isómeros ópticos, los cuales dominan con una homogeneidad quiral en los 2-alkil-2-aminoácidos de 5 a 8 carbonos y en los 2-ácido metilglutámico dicarboxílico, que han sido hallados con un ligero exceso enantiomérico de la configuración L, tanto en el meteorio Murchison como en el Murray (figura 4); haciéndose evidente que la ruptura de la simetría en una mezcla racémica de aminoácidos a favor de un exceso L-enantiomérico (característica que domina en los sistemas vivos terrestres) puede llevarse a cabo en el medio interestelar, tanto en aminoácidos proteinogénicos como en aquellos que no se encuentran formando parte de los organismos vivos.

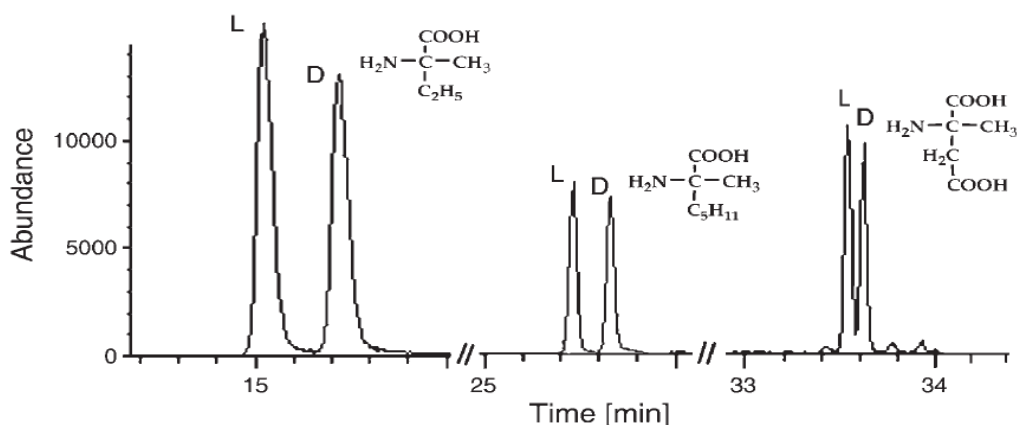


Figura 4. Asimetría quiral encontrada en los meteoritos Murchison y Murray. Se presenta el exceso enantiomérico de la configuración L encontrado para los α -metil aminoácidos isovalina (2-amino-2-ácido metilbutanóico, con 6% de exceso L-enantiomérico), 2-amino-2-ácido metilheptanóico (con 2% de exceso L-enantiomérico) y 2-ácido metilglutámico (con 8% de exceso L-enantiomérico); mostrando así que la ruptura espontánea de la simetría en favor de los L-aminoácidos es un fenómeno que puede originarse en el espacio exterior por procesos completamente abióticos. (tomado de Pizzarello, 2007).

Esta asimetría encontrada en los meteoritos condritas carbonáceas hace necesario postular un elemento de asimetría que dé como consecuencia el exceso L-enantiomérico reportado en los meteoritos Murray, Murchison y Allende, según el principio de asimetría de Curie citado con anterioridad en este escrito (ver “Luz polarizada circularmente” en la primera sección de este escrito), siendo, precisamente la luz ultravioleta polarizada circularmente el principal candidato para generar esta ruptura de la simetría, tal como lo muestran los resultados experimentales reportados por Balavoine *et al.* (1974) al preparar compuestos quirales con una alta pureza óptica a partir de una mezcla racémica de α -azido-N, N-dimetilpropionamida irradiándola con luz polarizada circularmente.

No obstante, lo anterior nos sitúa nuevamente en el problema de la racemización, pues este exceso L-enantiomérico es inestable si las causas de asimetría pierden influjo sobre el sistema; y los meteoritos, viajando largas distancias en el medio interestelar, se alejan de estos focos de luz ultravioleta polarizada circularmente (como las estrellas de protones). Sin embargo, Kawasaki *et al.* (*op. cit.*), al hacer un estudio con las fases orgánica e inorgánica de la matriz de condritas carbonáceas (meteoritos Allende, Murchison y Murray), empleando la reacción de Soai como un sensor de asimetría quiral, encuentran la presencia de una porción asimétrica en el material orgánico insoluble con quiralidad opuesta a la de los aminoácidos, es decir, con una configuración R (correspondiente al D-enantiómero). Aunque ésta porción asimétrica, de configuración R en el material orgánico insoluble de las condritas carbonáceas no ha sido químicamente identificada, es válido suponer que puedan tratarse de nanotubos quirales de carbono, adheridos a la superficie de estos meteoritos, sobre los cuales pueden interaccionar aminoácidos con quiralidad opuesta a la de este sustrato (L-aminoácidos) y estabilizar así el exceso enantiomérico registrado en los meteoritos a favor de los aminoácidos levógiros, y retrasar la racemización, como lo ha comenzado a sugerir ya el profesor Germinal Cocho Gil, del Instituto de Física de la UNAM.

En base a estos resultados, podemos asumir que no sólo la generación de moléculas potencialmente biogénicas pueden ser sintetizadas en el medio interestelar, sino que la asimetría propia de la vida también puede ser generada, faltado aún por evidenciar las

interacciones que pueden establecerse contando con estos componentes materiales, para manifestar la dinámica de los sistemas biológicos en su propiedad emergente denominada vida.

[cinco] La propuesta.

Dado este contexto, donde se han encontrado excesos enantioméricos en aminoácidos meteoríticos a favor de la configuración L, coincidiendo con la de los aminoácidos proteínogénicos en los sistemas vivos; la evidencia de la presencia de nanotubos de carbono quirales en el medio interestelar y la presencia de una porción quiral en la materia orgánica insoluble en la matriz de meteoritos contritas carbonáceas, presente con un exceso anantiomérico de quiralidad opuesta a la de los L-aminoácidos, además de los experimentos de Weber (1997) que muestran que dímeros homoquirales de L-aminoácidos pueden catalizar la condensación del glicolaldehído para producir D-triosa y D-eritrosa con excesos enantioméricos muy elevados (hasta 80% de exceso enantiomérico para D-eritrosa usando dipéptidos de L-valina-L-valina; citado por Pizzarello, *op. cit.*). Esto, además de los trabajos que muestran que el mundo amiloide aporta un contexto teórico donde la estructura β -amiloide es mucho más estable que el RNA ante variaciones térmicas y resistente a la hidrólisis, con capacidad de copiado parecida a la de los priones, polimerizable en superficies de arcilla y con menor número de combinaciones posibles para poder generar, por polimerizaciones aleatorias, una molécula que pueda almacenar y transportar información. Se asume que es posible probar experimentalmente la hipótesis de que aminoácidos quirales puedan ser absorbidos por superficies de quiralidad opuesta, estabilizando el exceso enantiomérico presente en la superficie de meteoritos; siendo éste, en la etapa de acreción de la Tierra, el aporte necesario para generar un sistema con alta pureza óptica y el desarrollo posterior de la homoquiralidad en los sistemas biológicos y su correspondiente dinámica.

Así, la propuesta de desarrollar un protocolo experimental se hace en el sentido de idear un sistema donde pueda inducirse la absorción de L-aminoácidos sobre una superficie de quiralidad opuesta por medio de tratamiento térmico (justificado por el incremento de la temperatura sobre la superficie de meteoritos al entrar en contacto con la atmósfera de un planeta) o por irradiación de luz ultravioleta polarizada circularmente (según la propuesta de Bonner y otros investigadores). Lo anterior demostraría que el proceso de racemización puede ser retardado y el exceso enantiomérico estabilizado, permitiendo posteriormente que se desarrolle una dinámica de polimerización que conduzca a un sistema con elevada pureza óptica con polímeros homoquirales.

[seis] Comentario Final.

La dinámica de un sistema emerge como consecuencia de la interacción entre sus elementos y la organización que ellos mantengan a lo interno del sistema; por lo tanto, la condición homoquiral de un sistema sustenta ciertas propiedades dinámicas que bien pueden favorecer la emergencia de propiedades novedosas y hacer más robustas otras ya presentes. Por ejemplo: el modelo propuesto para el origen del codón de tres nucleótidos, que define la interacción electrostática entre polímeros y partículas cargadas con una regularidad espacial de cada tres monómeros; siendo esta una condición general de la dinámica del sistema pero que se ve reforzada si los bloques (monómeros) de construcción del polímero son de la misma quiralidad. Esta

organización del sistema, una organización homoquiral, bien puede sustentar la emergencia de otras dinámicas y el establecimiento de nuevas organizaciones (redes) entre los elementos del sistema; por lo que la homoquiralidad biológica puede ser considerada como una condición previa para el establecimiento de la dinámica general y la estructura interna de los sistemas vivos.

Bibliografía.

- Aldana M.**, Cázarez-Bush F., Cocho G. y Martínez-Mekler G. 1998. Primordial synthesis machines and the origin of the genetic code. *Physica A* 257: 119-127.
- Aldana-González M.**, Cocho G., Larralde H. y Martínez-Mekler G. 2003. Polymer transport in random potentials and the genetic code: the waltz of life. *Ann. Henri Poincaré* 4, suppl. 1: S459-S474.
- Balavoine G.**, Moradpour A. y Kagan H. 1974. Preparation of chiral compounds with high optical purity by irradiation with circularly polarized light, a model reaction for the prebiotic generation of optical activity. *Jour. Am. Chem. Soc.* 96 (16): 5152-5158.
- Carroll James.** 2009. A new definition of life. *Chirality* 21: 354-358.
- Chela-Flores Julián.** 1994. The origin of chirality in protein amino acids. *Reporte interno del ICTP*: 1-13.
- Cornish-Bowden Athel** y Cárdenas María Luz. 2008. Self-organization at the origin of life. *Jour. Theor. Biol.* 252: 411-418.
- Cronin John** y Reisse Jacques. 2005. Chirality and the origin of the homochirality. *Lectures in astrobiology* vol. I, pp. 473-515.
- Ehrenfreund Pascale** y Charnley Steven. 2000. Organic molecules in the interstellar medium, comets, and meteorites: a voyage from dark clouds to the de early earth. *Annu. Rev. Astron.. Astrophys.* 38: 427-483.
- Flores J.**, Bonner W. Y Massey G. 1977. Asymmetric photolysis of (R, S)-leucine with circularly polarized light. *Jour. Am. Chem. Soc.* 99: 3622-3625.
- Herrera Alfonso Luís.** 1932. La plasmogenia, nueva ciencia del origen de la vida. Cuadernos de cultura LXIX.
- Herrera Alfonso Luís.** 1924. Biología y plasmogenia. Herrero hermanos sucesores. Pp. 296.
- Kawasaki Tsuneomi**, Hatase Kunihiko, Fujii Yusuke, Jo Kazumichi, Soai Kenso y Pizzarello Sandra. 2006. The distribution of chiral asymmetry in meteorites: an investigation using asymmetric autocatalytic chiral sensors. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 70: 5395-5402.
- Martínez-Mekler G.**, Aldana M., Cázarez-Bush F., García-Pelayo R., y Cocho G. 1999. Primitive molecular machine scenario for the origin of the three base codon composition. *Origins of life and evolution of the biosphere* 29: 203-214.
- Moshinsky Marcos.** 2008. Quiralidad en la física y en la matemática. En: Quiralidad en la química, la física y la biología, Juarista E. y Novarro O. (coordinadores). Pp 43-55. Editado por El Colegio Nacional.
- Nordén Both.** 1977. Was photoresolution of amino acids the origin of optical activity in life. *Nature* 266: 567-568.
- Orgel Leslie.** 1998. The origin of life, a review of facts and speculations. *Elsevier Science* 491-495.
- Pizzarello Sandra.** 2007. The chemistry that preceded life's origin: a study guide from meteorites. *Chemistry and Biodiversity* vol. 4: 680-693.
- Ricardo Alonso** y Szostak Lack. 2009. Life on earth. *Scientific American.* 54-63.