

LA VISIÓN MARXISTA DEL SURGIMIENTO DE LA VIDA: LA TRANSICIÓN DEL MUNDO INORGÁNICO AL MUNDO ORGÁNICO Y EL SURGIMIENTO DE LA VIDA DESDE LA TEORÍA OPARIN-HALDANE

ISADORE NABI

I. PRÓLOGO	5
II. EL SURGIMIENTO DE LA VIDA DESDE LA TEORÍA OPARIN-HALDANE	
16	
II.I. Introducción	16
II.II. Primera Etapa: Origen primigenio de las substancias orgánicas más simples (hidrocarburos y sus derivados)	17
II.III. Segunda Etapa: Formación de las sustancias proteínicas	27
II.IV. Tercera Etapa: Origen de las primitivas formaciones coloidales	32
II.V. Cuarta Etapa: Organización del protoplasma vivo	37
II.VI. Quinta Etapa: Origen de los organismos primitivos	46
II.VII. Verificaciones Experimentales Clásica: Experimento Miller-Urey (1952) y afines	61
II.VIII. Nueva Verificación Experimental: Análisis de sistemas prebióticos proliferantes (2021)	71
III. ANEXOS	78
III.I. GLOSARIO DE TÉRMINOS	78
III.I. I. Capas Electrónicas y Orbitales Atómicos	78
III.I. II. Números Cuánticos	83
III.I. II. I. Introducción y Notación	83
III.I. II. II. Número Cuántico Principal n	87
III.I. II. III. Número Cuántico del Momento Angular l	87
III.I. II. IV. Número Cuántico Magnético ml	88
III.I. II. Número Cuántico de Espín Magnético	88
III.I. III. Configuración Electrónica de Estado Fundamental	89

III.I. IV. Electrones de Valencia y Núcleo	94
III.I. V. Enlace Químico	94
III.I. VI. Valencias	96
III.I. VII. Enlace Químico Covalente	96
III.I. VIII. Estructuras de Lewis	97
III.I. IX. Polaridad y No-Polaridad	101
III.I. X. Átomo Central	105
III.I. XI. Quiralidad Molecular y Organismos Espejo	107
III.I. XII. Bacteriófagos	115
III.I. XIII. Protocélulas	121
III.I. XIV. Tioésteres de Aminoácidos	132
III.I. XV. Suavizamiento de las Cadenas de Nucleótidos	135
III.I. XVI. El ADN y Algunos Elementos Sobre su Dialéctica Materialista	137
III.II. SOBRE EL CAOS Y LA ALEATORIEDAD EN LAS CIENCIAS	142
III.II. I. Introducción	142
III.II. II. Determinismo en los Sistemas Probabilísticos	143
III.II. III. Determinismo en los Sistemas Caóticos	146
III.III. UNA HIPÓTESIS SOBRE LA PARADOJA DEL VALOR C	153
III.III. I. Generalidades Conceptuales	153
III.III. I.I. Sobre la Composición Química del ADN	153
III.III. I.II. Sobre el Ciclo Celular	157
III.III. I.III. Sobre la Transcripción de ADN	159
III.III. I.IV. Sobre las Unidades de Medida de las cadenas de ADN	160
III.III. I.V. Material Complementario	162
III.III. I.VI. Sobre las Funciones Sigma-Aditivas	165
III.III. II. Sobre la Paradoja del Valor C	169
III.III. III. Esbozando una Hipótesis Sobre la Paradoja del Valor C	181
III.IV. SOBRE LOS GENES NEGATIVOS (GENES “EGOÍSTAS”)	185
III.IV. I. Introducción	185
III.IV. II. Sobre las Implicaciones Gnoseológicas del “Egoísmo” en los Genes	187
III.IV. III. Sobre los Genes Negativos	200
III.V. ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL PAPEL DE LA IDEOLOGÍA EN LA CIENCIA	212

III.V. I. Introducción: Algunos Conceptos Fundamentales del Materialismo Dialéctico	212
III.V. I. I. Ontología	212
III.V. I. II. Lógica	213
III.V. I. III. Teoría del Conocimiento	219
III.V. I. Las Ideas Científicas como Forma de la Conciencia Social	247
III.V. II. El Papel de las Ideas Filosóficas en la Producción Científica	255
III.V. II. I. El Papel de la Filosofía en la Física Teórica Moderna	255
III.V. II. II. El Papel de la Filosofía en la Estadística, la Economía Política y la Biología Evolutiva	262
IV. REFERENCIAS	268

A mi madre y a mi padre, quienes me regalaron mi biología.

A José, quien me acercó por vez primera al mundo de la Biología.

A David, quien me acercó por vez primera al mundo de la Bioquímica.

A Friedrich Engels, Oparin, J.B.S. Haldane, Richard Levins, Richard Lewontin y Stephen Jay Gould, por ver y ayudar a ver en tiempos de obscuridad obligatoria.

I. PRÓLOGO

La teoría marxista, en su forma más general, es la filosofía científica de la totalidad. Sin embargo, este abordaje de la totalidad tiene características fundamentales que la diferencian, distinguen y elevan por encima de las demás escuelas del pensamiento filosófico. Estas características son que es materialista, dialéctica, objetiva, monista¹, no-lineal, no-mecanicista (aunque no por ello no hace un estudio riguroso del mecanismo), no-reduccionista, orientada a la práctica² e histórica³.

La caracterización anterior es posible únicamente debido a que el materialismo dialéctico concibe a la existencia en general⁴ fundamentada por su esencia⁵, que sintéticamente puede definirse como el conjunto de relaciones fundamentales del fenómeno analizado, conjunto de relaciones que posee inherentemente una teleología⁶.

Aristóteles estableció que existían cuatro causas de los fenómenos de la existencia, la causa material (su composición material), la causa formal (su forma), la causa eficiente (causa mecánica) y la causa final (su fin práctico). El estagirita planteó que, a su juicio, la causa fundamental era la causa formal y, con congruencia con

¹ Lo que un matemático denominaría *de una sola pieza* o *conjunto conexo*, en cualquiera de las variantes de esta clase de conjuntos. Este monismo es un monismo orgánico, en el sentido de que las partes constituyentes forman una totalidad coherente.

² Y con ello se logra una comunión orgánica entre la teoría y la práctica, denominada *praxis*.

³ Esto tiene fundamentalmente dos implicaciones. Por un lado, implica una cantidad “lo suficientemente grande de información” (lo que a su vez implica, por ejemplo, evaluación asintótica de operadores relacionales en el campo de las ciencias formales) y, por otro lado, también implica basar la investigación en las características concretas y acumuladas que el proceso estudiado ha tenido desde su génesis hasta el momento en que se estudia. Esta historicidad, a su vez, debe ser concebida en términos de las otras características especificadas, es decir, que la historicidad debe ser materialista, dialéctica, objetiva, monista, no-lineal, no-mecanicista, no-reduccionista y orientada a la práctica. La misma correspondencia puede establecerse entre cada característica y las $n - 1$ características restantes. Por supuesto, tal correspondencia no es uniforme, sin embargo, la especificidad jerárquica de tal conjunto de correspondencias será abordada en una investigación posterior.

⁴ Lo que es, lo que no es, lo que será, lo que no será, lo probable, lo posible y lo lógico.

⁵ La concepción del materialismo dialéctico sobre la esencia es especificada en (Nabi, Sobre la Teoría Marxista del Conocimiento y la Esencia (Borradores), 2022).

⁶ Una causa final o causa práctica.

ello, fundó la lógica formal y bajo tal lógica⁷ fundó a su vez muchas de las ciencias más importantes hasta nuestros días.

Muchos siglos después, Kant establecería que la esencia de las cosas no residía en su causa formal, sino en su causa final o práctica, la cual, a su juicio, no era inteligible por el intelecto humano. Sintéticamente, la lógica del planteamiento de Kant residía en el hecho de que una causa final, a su entender, implicaba la existencia de un intelecto y, al nivel máximo de generalidad (el que busca la filosofía), una teleología implicaba un intelecto por encima del mundo objetivo y material, implicaba, planteándolo en términos de la ideología religiosa judeocristiana que domina occidente y la periferia⁸, conocer el pensamiento de Dios, lo que implicó una renuncia de la filosofía de entonces a la metafísica u *ontología*, a la doctrina del Ser. Por ello, Kant consideró que la causa que la segunda causa más importante, la eficiente o mecánica, debía ser aquella en la que el intelecto se enfocara, dando así nacimiento a una visión instrumental del conocimiento, es decir, concibiendo la validez gnoseológica del conocimiento en términos de los instrumentos de medición desarrollados por la humanidad, especialmente los instrumentos matemáticos. Por ello, Kant es, sin lugar a duda, el más brillante representante, hasta la fecha, del idealismo subjetivo.

Fue entonces que apareció la figura de Hegel. Este formidable pensador demostró que la existencia de una teleología objetiva y material podía y era independiente de tal o cual voluntad. Sin embargo, el abordaje de Hegel fue desde una perspectiva

⁷ O, para ser más precisos, bajo tal espíritu filosófico.

⁸ Occidente no es solamente una noción geográfica, sino y, ante todo, una noción civilizacional. Son occidentales aquellas sociedades cuya visión del mundo emana directamente de la Antigua Grecia; tales sociedades son Estados Unidos, Canadá, Nueva Zelanda, Australia y Europa. Nosotros, los habitantes de América Latina, concepto geopolítico originado de la sangrienta, vandálica y expoliadora invasión europea de estas tierras. Evidentemente en Estados Unidos y Canadá esto no ocurrió porque los invasores no se mezclaron con los indígenas dueños de tales territorios, sino que simplemente, en general, los eliminaron, dejando únicamente residuos de tales civilizaciones exhibidos como trofeo del conquistador y pieza viviente de museo en los pequeños territorios conocidos como *reservas indígenas*. Nosotros, las víctimas históricas de tal invasión, somos la periferia.

idealista porque, aunque su sistema es objetivo y parte de la materia, define al Ser como “el concepto solamente en sí” (Hegel G. W., 2006, pág. 99), es decir, define a la materia como idea que se autodesarrolla (que se desarrolla en sí). Hegel es, sin lugar a duda, el más brillante representante, hasta la fecha, del idealismo objetivo.

Fue después de Hegel que el universal concreto, la trayectoria de la historia universal produciría a Karl Heinrich Marx. Fue el Prometeo de Tréveris, el más grande pensador de la historia universal hasta nuestros días, quien realizó el trabajo de ingeniería inversa (desde la perspectiva materialista) sobre el sistema hegeliano con la finalidad de emplearlo en el análisis de los fenómenos sociales, específicamente en el análisis de las formas en que las sociedades humanas se organizan con miras a la producción y los tipos de relaciones que se corresponden y fundamentan tales formas. Este estudio es precisamente la ciencia conocida como Economía Política, cuyas trazas fundamentales pueden encontrarse en el prólogo de su obra *Contribución a la Crítica de la Economía Política*. Fue Marx quien estableció que la teleología de las sociedades humanas es la sociedad comunista, como un retorno dialéctico (retorno que supera su punto de partida) a la sociedad de la que la humanidad, en su prehistoria⁹, partió.

⁹ Para Marx la prehistoria de la humanidad finaliza con el comienzo de la sociedad comunista. La precariedad tecnológica del comunismo primitivo, y las luchas cruentas que debido a ello la humanidad debía librarse contra la Naturaleza, lo coloca inexorablemente en la categoría de prehistórico, sin embargo, no sólo es prehistórico el comunismo primitivo. En la concepción de Marx, las sociedades de clases surgen como resultado de una necesidad histórica de la humanidad, la de resistir y dominar a la Naturaleza. Progresivamente, el desarrollo tecnológico permite que las contradicciones de la humanidad frente a la Naturaleza transiten poco a poco de ser contradicciones antagónicas a contradicciones no-antagónicas, aunque, por supuesto, este proceso no sea lineal y en ocasiones existan ciertos retrocesos que pueden presentarse incluso a manera de saltos (es decir, que no sean tan graduales como normalmente lo son). Sin embargo, la disminución en intensidad de las contradicciones del ser humano (que Hegel llama *Ser Para Sí*) frente a la Naturaleza (a la que Hegel llama *Ser En Sí* y del cual es parte el *Ser Para Sí*) se logra a costa del aumento en intensidad y profundización de las contradicciones del ser humano entre sí (que en la comunidad primitiva se manifestaban como contradicciones entre gens, que aunque eran antagónicas, tenían como base la necesidad de subsistencia, no el enriquecimiento progresivo de unos a costa del empobrecimiento progresivo de otros), dando origen a las clases sociales y a los antagonismos de clase. Cuando exista un desarrollo tecnológico lo suficientemente profundo para eliminar las clases sociales (entre otras cosas, a través de la automatización de todos los trabajos que son en lo fundamental no-intelectuales, fundamentalmente manuales, así como la culturización

Sin embargo, es ampliamente conocido que la persecución política que la burguesía europea orquestó contra él, así como la pobreza resultante de ella y la complejidad de estudiar con máximo rigor el modo de producción capitalista, impidieron al pensador judeo-alemán desarrollar su filosofía de la Historia, así como también las mismas causas le impidieron desarrollar un sistema filosófico general, tal como lo hizo Hegel.

Fue la escuela de filosofía marxista de la Unión Soviética (que empieza con Lenin) quien expandió los desarrollos filosóficos de Marx e interpretó con ellos los desarrollos científicos a ciencias diferentes de la Economía Política, fundamentalmente a la Física y la Química¹⁰, en menor medida a la Estadística, y mínimamente al campo a la Matemática Pura, la Cibernética y otras ciencias. Sin embargo, además de la enorme incompletitud de tal expansión, la misma fue filosóficamente limitada por cuanto la escuela marxista soviética negó la capacidad de la filosofía de Marx de explicar la teleología del mundo inorgánico¹¹ y, por consiguiente, de explicar la teleología de la existencia en general.

La limitación filosófica antes descrita se debió a que, por un lado, debido a la relevancia que la carrera espacial y armamentista tuvo para la Unión Soviética, los desarrollos científicos de la Unión Soviética se orientaron fundamentalmente a la Física, cuyos planteamientos y practicantes se veían mundialmente, en última instancia, a la luz de la causa mecánica o causa eficiente, lo que a su vez se explica no sólo por los orígenes históricos de la Física como ciencia¹², sino también por la influencia de Hume, Kant y Comte en el pensamiento científico, especialmente en

masiva, profunda y de calidad de todos los miembros de la sociedad), la sociedad comunista se materializará como necesidad histórica específica y, con ello, se dará inicio a la verdadera historia de la humanidad.

¹⁰ Sobre su aplicación al campo de la Bioquímica se hablará en la sección III.V de esta investigación.

¹¹ De hecho, incluso negaron la existencia de una teleología del mundo inorgánico.

¹² La Física fue fundada como Mecánica Clásica, es decir, la concepción de los sistemas físicos a la luz de su mecanismo. Para Kant la existencia en general era mecánica, precisamente debido a la influencia de la Física en su pensamiento, que era para entonces el máximo descubrimiento científico alcanzado por la humanidad.

las ciencias formales y la física¹³. Por ello, la escuela marxista soviética no terminó de despojarse de la visión instrumental del conocimiento.

Sin embargo, esta limitación filosófica no sólo se debió al motivo antes esgrimido, sino también a motivos ideológicos. El culto a la personalidad implementado durante la tiránica era de Stalin al mando de la Unión Soviética, así como los residuos de su sombra tras su muerte, que requería entre otras cosas de concepciones equivocadas del mundo como que el capitalismo de Estado soviético era socialismo¹⁴ o que la sociedad comunista en la Unión Soviética estaba “a la vuelta de la esquina” (entre otras), limitó la expansión verdaderamente científica (crítica) del marxismo en el territorio de las Ciencias Sociales.

Adicionalmente, una comprensión mecánica de la lucha de clases (y del Marxismo en general) condujo a Stalin a pensar que la genética mendeliana era pseudociencia burguesa que pretendía justificar desde un punto de vista biológico la heredabilidad de los medios de producción, por cuanto las leyes de Mendel (y todo el sistema teórico derivado de ellas) demuestran que las características fundamentales de un individuo son heredadas a través de los genes. Ello condujo a la negación de las leyes de Mendel como verdadera ciencia y, por consiguiente, a la negación como ciencia de todos los desarrollados derivados de tales leyes. Así, las leyes de Mendel fueron sustituidas por la pseudociencia de Lysenko hasta la

¹³ El conocimiento instrumental de Kant es una versión sofisticada del conocimiento empirista de Hume, mientras que el conocimiento positivista de Comte es una versión vulgar del conocimiento instrumental de Kant, aunque quizás un poco superior al conocimiento empirista de Hume. Sobre esta relación entre los pensamientos filosóficos antes abordados, en el contexto de la Economía Política, se profundiza en (Nabi, III. La Definición Subjetiva del Valor como Principio Pseudocientífico (Borrador), 2022, págs. 1-54).

¹⁴ El capitalismo se caracteriza por tres elementos fundamentales: propiedad privada, mercado y salario. Los últimos dos elementos existían tal como en el capitalismo occidental (más allá de las diferencias de mecanismo, puesto que los salarios los fijaba el gobierno soviético y no la “libre” concurrencia de la oferta y la demanda, así como también el gobierno soviético controlaba la oferta de mercado), mientras que el primer existía en forma de propiedad estatal, pero seguía siendo propiedad privada por cuanto, en términos comparativos, la calidad de vida (y oportunidades para mejorar la calidad de vida) entre miembros del partido comunista de la Unión Soviética y los que no eran miembros, e incluso entre miembros del partido de diferente o distinta jerarquía, era cualitativamente diferente.

muerte de Stalin. Este hecho retrasó enormemente el desarrollo científico soviético en el campo de la biología (especialmente, por supuesto, en el de la genética) y, por consiguiente, también retrasó los desarrollos filosóficos de la escuela marxista soviética relativos a la biología y la genética.

Antes de la caída de la Unión Soviética y sobre todo después de ella, los marxistas occidentales, irónicamente de manera más pronunciada aquellos radicados en el campo de la economía política, han olvidado que la finalidad del marxismo es, en última instancia, ser un instrumento ideológico que fundamente científicamente la lucha de clases¹⁵. El célebre documento *Manifiesto del Partido Comunista*, que es la base de partida de la visión marxista de la sociedad y de la existencia misma, es precisamente la primera piedra de edificio construido con tal objetivo. Sin embargo, también es una prueba que evidencia la finalidad política del Marxismo (lo cual no le resta un ápice de valor científico) que Marx y Engels fueron fundadores del Partido Comunista, así como sus primeros intelectuales.

Debido al idealismo¹⁶, instrumentalidad y ahistoricidad que reina subconscientemente en la mayor parte de marxistas hasta la actualidad¹⁷, parecería existir una creencia, también subconsciente, de que Marx perdió su patrimonio familiar heredado, el que heredó su esposa y, en general, sometió a su familia a una serie de vejaciones (como fueron el hambre, la muerte por hambre de uno de sus hijos, la inestabilidad emocional, etc.) por mero amor al conocimiento y no fundamentalmente por convicciones de justicia, dignidad y verdad histórica de clase. No superan, como solía decir el mismo Marx, su propio horizonte pequeño burgués (o, en su defecto, de clase media), que es el horizonte correspondiente a la

¹⁵ Este olvido se ha debido a múltiples razones, que serán abordadas en la sección III.V de esta investigación.

¹⁶ Idealismo vulgar, ni siquiera hegeliano.

¹⁷ Por supuesto, estas no son características exclusivas de la mayor parte de marxistas, sino de la comunidad científica en general.

posición de clase a la que pertenecen preponderantemente los marxistas en la actualidad¹⁸.

Considero que no existe mayor irrespeto posible a la memoria de la dignificante lucha de la familia Marx, así como tampoco mayor falacia filosófica y científica, que la ingenuidad (o malicia) expresada en el artificial despojo de las ciencias de su carácter clasista, no sólo porque las ciencias no sirven uniformemente a las clases sociales¹⁹, no porque los recursos para financiar las investigaciones científicas que favorecen fundamentalmente a una clase provengan de la clase a la que menos favorecen tales investigaciones²⁰, ni tampoco únicamente al hecho de que en no pocas ocasiones las ciencias se vuelven un instrumento de clase en diferentes sentidos²¹, sino además porque los planteamientos científicos son también, como la misma definición de superestructura dada por Marx en el prólogo de la obra referida²² lo implica claramente, ideología. Puesto que la ideología siempre expresa los intereses objetivos y materiales de tal o cual clase social (reñidas recíprocamente de manera antagónica a causa de antagonismos entre sus intereses

¹⁸ Por supuesto, también esa era la posición de clase de Marx, sin embargo, el maestro fundador pudo ir más allá de ese horizonte y así sus planteamientos teóricos no se vieron limitados por dicho horizonte.

¹⁹ En la actualidad, por ejemplo, las ciencias están bastante más ocupadas en facilitar a las grandes empresas sus carreras espaciales privadas o en desarrollos biotecnológicos de precios accesibles para muy pocos, que en, por ejemplo, volver más eficientes y menos costosos los servicios brindados en la salud pública, disminuir los costos de producción agropecuarios para los campesinos (por ejemplo, facilitando el uso de modelos estadísticos para predecir alguna externalidad negativa para los cultivos) o facilitar el uso de la tecnología para las masas (más allá de la creciente simplificación operativa de los sistemas operativos de los teléfonos móviles).

²⁰ Es ampliamente sabido que el aporte económico público (compuesto fundamentalmente por el dinero recolectado de los ingresos de la clase proletaria, puesto que la clase capitalista evade y/o elude impuestos) es lo que fundamentalmente permite financiar inversión en I+D+i, que es aprovechada fundamentalmente por la clase capitalista.

²¹ Existe una amplia variedad de investigaciones dedicadas a justificar ideológicamente al capitalismo. En el terreno de la biología, Richard Levins y Richard Lewontin lo demuestran en su magistral obra *El Biólogo Dialéctico*, mientras que en el terreno de la economía política basta ver el fundamento ideológico de la teoría económica neoclásica, las consecuencias políticas derivadas de sus planteamientos teóricos, así como también las instituciones que patrocinan tales investigaciones. Ya Marx describía en el prólogo de *El Capital* las barreras políticas e ideológicas a las que se enfrentan quienes buscan hacer investigación verdaderamente científica en el campo de la economía política.

²² *Contribución a la Crítica de la Economía Política*.

materiales), toda expresión ideológica es también ideología política. Así, parafraseando al gran politólogo Karl von Clausewitz, la ciencia es la continuación de la política por otros medios.

Por consiguiente, la misión fundamental del Marxismo es demostrar científicamente la razón histórica de las clases dominadas y a la sociedad comunista como la teleología de la prehistoria de la humanidad.

Para ello, a la luz de una teleología social, una teleología del mundo orgánico y una teleología del mundo inorgánico debe construirse una teleología general de la existencia, que debe ser materialista, dialéctica, monista, no-mecanicista, no-reducciónista, orientada a la práctica²³ e histórica, permitiendo así demostrar científicamente las cuestiones políticas antes referidas.

La presente investigación constituye una generalización del esfuerzo de Oparin y Haldane por demostrar el carácter materialista de las ciencias naturales, así como también del esfuerzo de Oparin por mostrar la teleología dialéctica-materialista del mundo bioquímico. Sin embargo, también es una construcción teórica elaborada con la finalidad de servir como insumo a la construcción de una teleología de la existencia en general, la cual será la continuación de lo expuesto en esta investigación, así como también su generalización, puesto que para construirla se deberá elaborar una teleología del mundo inorgánico, cuya forma de manifestación más general son los sistemas físicos. Además, es un esfuerzo por demostrar que las ciencias pueden verse rigurosamente a la luz del Materialismo Dialéctico, *i.e.*, del Marxismo. La demostración de una teleología de la existencia en general y del Marxismo como verdad filosófica de las ciencias es, por consiguiente, la teleología de esta investigación.

A causa de lo antes expuesto, el abordaje de los planteamientos de Oparin y Haldane se lleva a cabo a la luz de los últimos avances de la ciencia en las áreas

²³ Por definición la teleología es práctica, sin embargo, a fin de evitar confusiones o interpretaciones, se especifica de tal forma.

pertinentes a los planteamientos de ambos autores, lo cual es un esfuerzo tanto de actualización como de revalidación de tales planteamientos. Además, se abordan (en los anexos) aspectos relevantes para la consistencia científica del sistema marxista (específicamente, la aleatoriedad, el caos y el aparente “egoísmo” de algunos genes²⁴), así como también se elabora una explicación tentativa²⁵ sobre una importante paradoja bioquímica (la paradoja del valor C) relativa a un principio de incremento de complejidad que es muy usual en otra clase de sistemas.

Lamentablemente, y pido con antelación disculpas al lector por ello, esta investigación muy probablemente no será de fácil asimilación, especialmente para aquellos lectores que no sean versados en Química y Filosofía de la Ciencia²⁶, aunque estar versado en tales áreas no necesariamente lo hará inmune a la situación descrita. Ello es así no sólo por la diversidad de materias tratadas y la manera en que se tratan, sino también porque la exposición de los resultados de la investigación no ha sido diseñada para tales fines, lo cual obedece a un espíritu de máximo rigor científico y de no-reduccionismo, así como también al deseo de que el documento de investigación presentado sea autocontenido²⁷ y a mis propias

²⁴ Concebir “egoísmo” en los genes puede dar pie a justificar hechos suscitados en la realidad económica (como lo hiciese Adam Smith en *Teoría de los Sentimientos Morales* desde una perspectiva rigurosamente filosófica -la genética como ciencia no existía para aquel entonces-). Esto no sería la primera vez que ocurre, puesto que, como señalan Levins y Lewontin en *El Biólogo Dialéctico*, un papel equivalente desempeñó la Sociobiología, pseudociencia basada en experimentos fraudulentos, como los autores referidos demuestran en el lugar mencionado.

²⁵ Especulativa, aunque considero que es una especulación legítima, utilizando las palabras de Haldane.

²⁶ Por ello se pone a disposición del lector un glosario de términos, así como otras secciones localizadas en los anexos. Los anexos tienen como finalidad la clarificación de aquellos conceptos complejos y profundos que no puedan clarificarse tras una búsqueda rápida por Internet, así como la libre profundización, sin que distraiga al lector de la lectura central, de ciertos conceptos cuya comprensión general es fundamental para asimilar la materia tratada en el cuerpo principal de la investigación. Una función similar, aunque a menor escala, tienen aquí las notas al pie, con dos matices con relación a los anexos: por un lado, lo que se aborda en ellas se hace de manera menos profunda que en los anexos (al menos como regla general) y, por otro lado, que en ellas se hacen apreciaciones filosóficas puntuales, a la luz del materialismo dialéctico, sobre el conocimiento científico-técnico planteado.

²⁷ Los conceptos básicos establecidos y empleados en esta investigación se toman de diversas entradas de *Wikipedia* en inglés (salvo que se indique explícitamente otra fuente), enciclopedia la cual, según la investigación de (Jiles, 2005, pág. 900) publicada en la revista *Nature*, es

limitantes intelectuales. Por consiguiente, no puedo hacer más que recordarle al lector que, como señaló Marx, “En la ciencia no hay calzadas reales²⁸, y quien aspire a remontar sus luminosas cumbres, tiene que estar dispuesto a escalar la montaña por senderos escabrosos”.

Hasta la victoria siempre.

Isadore Nabi

aproximadamente tan precisa como la *Encyclopedia Britannica*. La investigación antes citada fue publicada en 2005 y Wikipedia ha recorrido un largo camino desde entonces, mejorando notablemente sus mecanismos de control de la calidad científica de sus artículos. Por ejemplo, (Thompson & Hanley, *Science is Shaped by Wikipedia: Evidence From a Randomized Control Trial*, 2017, pág. 1) señalan que “Como la enciclopedia más grande del mundo, no sorprende que Wikipedia refleje el estado del conocimiento científico. Sin embargo, Wikipedia es también uno de los sitios web más visitados del mundo, incluso por científicos, lo que sugiere que también tiene el potencial de dar forma a la ciencia.”, afirmando conclusivamente “Mostramos que Wikipedia tiene una amplia influencia en la forma en que los científicos discuten y contextualizan su propio trabajo. Además, mostramos que actúa como un organizador del conocimiento científico, dirigiendo a los investigadores a la literatura subyacente de una manera similar a un artículo de revisión en ese campo. Debido al enorme alcance de Wikipedia, es casi seguro que esto significa que es una de las fuentes de artículos de revisión científica más importantes del mundo. Este documento muestra que la contribución de Wikipedia a la ciencia es sustancial.”; esta investigación, como se verifica en (Thompson & Leiserson, *Determining Wikipedia's Influence on Science*, 2020), obtuvo el premio DRUID Best Paper Award 2018. En tiempos más recientes, señala (Matheson, 2020) que los sistemas automatizados pueden reescribir oraciones obsoletas en artículos de Wikipedia. La herramienta de generación de texto señala y reemplaza información específica en oraciones mientras conserva la gramática y el estilo humanos. Así, queda perfectamente justificado a nivel técnico su uso para conceptos básicos. A pesar de ello, únicamente se hace referencia formal a Wikipedia en tres ocasiones. Ello obedece a la búsqueda por aligerar considerablemente la extensión de la bibliografía, lo cual es razonable por tres motivos, el primero por la vasta cantidad de conceptos tomados de la enciclopedia virtual, el segundo debido a la poca información que de cada entrada se toma (un par de renglones y en muy pocas ocasiones, a lo sumo, un párrafo) y el tercero porque para casi cualquier concepto en casi cualquier área Wikipedia es el primer o de los primeros resultados de búsqueda en un navegador web (por ejemplo, Google, aunque con otros ocurre algo similar), por lo que el lector no tendrá ningún problema en rastrar los conceptos sin referencia formal hasta la enciclopedia en cuestión. Las excepciones realizadas se deben dos de ellas a la originalidad de los artículos (se hace referencia aquí a las entradas “Evolutionary history of plants” y “Theories of Surplus Value”), otra vinculada a la vulnerabilidad política del programa científico de Richard Levins en Harvard (contenida en la *talk page* vinculada a la entrada “Richard Levins”), mientras que la otra se debe la necesidad de probar cuán difundida se encuentra en la literatura científica una falacia teórica que sobre la cual se hará una crítica contundente (se hace referencia aquí a la entrada “Selfish Genetic Element”). Por supuesto, es la honestidad intelectual mínima para con el valioso esfuerzo de los articulistas que trabajan en Wikipedia lo que hizo necesaria esta precisión.

²⁸ Marx se refiere aquí a “royal roads”, es decir, caminos hechos a la medida, suntuosos, de fácil acceso. Véase la versión inglesa de *El Capital*.

La Paz, Bolivia

21 de junio de 2022

II. EL SURGIMIENTO DE LA VIDA DESDE LA TEORÍA OPARIN-HALDANE

“Ninguna aventura de la imaginación tiene más valor literario que el más insignificante episodio de la vida cotidiana.”

Gabriel García Márquez

Historia de un Deicidio

II.I. Introducción

Como señala (Haldane, *The Origin of Life*, 2022, pág. 1), hasta 1779 era ampliamente aceptado que la vida surgía sistemáticamente de la materia muerta. Sin embargo, esto evidentemente conducía a un problema lógico: si toda vida surge de la muerte, ¿cómo surgió la primera vida que fue posteriormente la primera materia muerta que generó las vidas posteriores?²⁹ La respuesta a esto se volvió una cuestión exclusiva de la Filosofía, específicamente del Idealismo, negándose la posibilidad de aprehender la esencia objetiva y material subyacente al proceso del salto de la materia inorgánica a la materia orgánica y de esta última a la materia viviente. Fue hasta la aparición de la obra de los filósofos y biólogos marxistas Aleksandr Oparin (1923) y de John Burdon Sanderson Haldane (1929) que se dio una respuesta dialéctico-materialista, *i.e.*, científica, al problema antes planteado.

Indudablemente, a pesar de que ambas investigaciones tienen un valor ontológico, lógico y gnoseológico difícilmente calculable, no es menos verdadero que el documento de investigación de Oparin es más filosófico, menos técnico, mejor organizado³⁰ y con mayores detalles con relación al mecanismo suscitado en el proceso de surgimiento de la vida. Por otro lado, el documento de Haldane es más

²⁹ En Lógica se le conoce a esto como *círculo en la demostración*, que consiste en implicar en la base de partida la premisa que se desea demostrar.

³⁰ En términos de la estructura de exposición diseñada.

técnico y emplea conceptos vinculados mediata o inmediatamente a la genética³¹; sobre las razones de ello se profundizará en la sección III.V de esta investigación.

La presente investigación, fundamentalmente de naturaleza filosófica y bibliográfica, pretende realizar una síntesis orgánica de la obra de ambos intelectuales³² y, posteriormente, a la luz de la síntesis en cuestión, exponer los resultados del experimento Miller-Urey (que fue la primera confirmación de que la teoría de ambos marxistas era correcta) y experimentos afines, así como también de la investigación realizada por los investigadores Muneyuki Matsuo (Universidad de Tokio) y Kensuke Kurihara (Universidad de Osaka), titulada *Proliferating coacervate droplets as the missing link between chemistry and biology in the origins of life*, publicada en la revista Nature el 24 de septiembre de 2021, la cual representa, por los motivos que en la sección dedicada a tal investigación se argüirán, un salto cualitativo a nivel de verificación experimental de la teoría Oparin-Haldane.

A causa de lo antes expuesto, la presente investigación posee una estructura fundamentalmente basada en el trabajo de Oparin y sobre tal estructura se introducen los planteamientos realizados por J. B. S. Haldane sobre el proceso de surgimiento de la vida.

II.II. Primera Etapa: Origen primigenio de las substancias orgánicas más simples (hidrocarburos y sus derivados)

Como señala (Oparin, 2021, pág. 3), las primeras formas de vida en la Tierra no fueron el resultado de un evento improvisto, sino de uno cuya repetición, a un nivel cualitativo concreto de la materia, era parte integral del desarrollo general de

³¹ Específicamente, a la teoría genética de Mendel, que fue el mismo Haldane quien la compatibilizó matemáticamente con la teoría evolutiva darwiniana (explicando la última en términos de consecuencias, matemáticamente fundamentadas, la primera). Con ello (y los trabajos de Sewall Green Wright sobre endogamia, apareamiento y deriva genética) se culminó el proceso, que inició con Theodosius Dobzhansky, que condujo al restablecimiento de la teoría evolutiva de Darwin como la explicación fundamental del cambio evolutivo en las especies. El resultado de dicho proceso se denomina *síntesis evolutiva moderna*.

³² Que implica considerar y compatibilizar la totalidad de aspectos técnicos relativos a los planteamientos de ambos autores.

la materia, de la existencia en general³³. La vida, dirá (Oparin, 2021, págs. 6-12), no es más que la estructuración de una forma especial de existencia de la materia, que lo mismo se origina que se destruye, siempre de acuerdo con determinadas leyes³⁴. La práctica, la experiencia objetiva y la observación de la naturaleza viva señalan el camino seguro que conduce al conocimiento de la vida. Lo vivo no puede originarse al margen de las condiciones en que se desarrolla la naturaleza, pues existe un lazo de unidad entre la naturaleza viva y la naturaleza inanimada. La vida es una consecuencia del desarrollo, una transmutación³⁵ cualitativa de la materia, condicionada en el período anterior a la aparición de la vida por una cadena de cambios graduales sucedidos en la naturaleza y condicionados por el desarrollo histórico de la materia.

Como señala (Haldane, The Origin of Life, 2022, págs. 1-6), hasta 1779 existía la creencia generalizada de que la vida surgía espontáneamente de la materia muerta, por ejemplo, los gusanos surgían de la carne en descomposición. En 1668 Redi mostró que lo anterior no ocurría, exceptuando cuidadosamente a los insectos. Pasteur en 1860 amplió el alcance de las conclusiones de Redi, mostrando que la causa de esta putrefacción eran las bacterias. Así parecía claro todos los organismos vivos se originaban de otros organismos vivos; lo planteado por Darwin avivó el interés por este problema y reforzó las conclusiones de Pasteur, pareciendo poco importante para entonces que algunos gusanos pudieran originarse del lodo. Pero si el ser humano descendía de los gusanos³⁶, tal generación espontánea adquiría un nuevo significado. El origen de la vida en la

³³ Entiéndase por existencia, como señalan (Rosental & Iudin, 1971, pág. 163), lo que es, lo que no es, lo que será, lo que no será, lo probable, lo posible y lo lógico. Esta definición captura la noción hegeliana, aunque de forma materialista, que lo que existe (y por consiguiente puede ser localizado) no sólo es el Ser en cuanto tal, sino también su potencia. Esto está fundamentado en la teleología de la lógica dialéctica y del sistema dialéctico en general (sea idealista o materialista), sin embargo, ahondar en esos detalles escapa del alcance de esta investigación.

³⁴ Lo cual denota el determinismo causal, materialista y objetivo, de Oparin y del Marxismo.

³⁵ Convertir algo en otra cosa.

³⁶ Aquí Haldane se refiere a vínculos evolutivos más mediatos que los existentes entre el mono y el ser humano.

Tierra habría sido un asunto tan casual como la evolución de los monos al ser humano.

Era posible suponer que la vida había sido creada sobrenaturalmente en la Tierra hace algunos millones de años, o que había sido traída a la Tierra por un meteorito o por microorganismos que flotaban en el espacio interestelar.

Sin embargo, a pesar de los hallazgos de Pasteur, un gran número de biólogos, quizás la mayoría, consideraba que en algún momento retomó del pasado la vida se había originado en la Tierra partiendo de la materia muerta como resultado de un proceso natural. Así, “Los materialistas más ardientes intentaron completar los detalles de este proceso, pero sin éxito total. Curiosamente, los pocos científicos que profesaban el idealismo estaban de acuerdo con ellos. Porque si uno puede encontrar evidencias de la mente (en terminología religiosa, el dedo de Dios) en los eventos más ordinarios, incluso aquellos que suceden en el laboratorio químico, uno puede creer sin mucha dificultad en el origen de la vida a partir de tales procesos. Por lo tanto, el trabajo de Pasteur atrajo más fuertemente a aquellos que deseaban enfatizar el contraste entre la mente y la materia.” (p. 2).

Lo anterior marcó el inicio de una búsqueda por comprender el proceso de transición que había generado la vida en la Tierra. La relevancia de los procesos de transición en la comprensión de los fenómenos naturales (y de los fenómenos en general) se manifiesta, por ejemplo, con el hecho de que cuando Darwin dedujo el origen animal del ser humano, se inició la búsqueda de un “eslabón perdido” entre nosotros y los simios. Cuando Eugène Dubois encontró los huesos de Pithecántropos³⁷, algunos anatomistas comparativos proclamaron de inmediato que

³⁷ Haldane se refiere aquí al descubrimiento de Dubois conocido actualmente como *hombre de Java*, que es el espécimen tipo del homo erectus. Un espécimen tipo es un espécimen particular (o en algunos casos un grupo de especímenes) de un organismo al que se adjunta formalmente el nombre científico de ese organismo. Lo anterior significa que un espécimen tipo es un ejemplo que sirve para anclar o centralizar las características definitorias de ese taxón (grupo de una o más poblaciones de un organismo u organismos que taxonómicamente forman una unidad) en

eran de origen animal, mientras que otros estaban igualmente convencidos de que eran partes de un esqueleto humano. Ahora se reconoce generalmente que cualquiera de las partes tenía razón, de acuerdo con la definición de humanidad adoptada. Pithecántropos era una criatura que podía describirse legítimamente como hombre o mono, y su existencia mostraba que la distinción entre los dos no era absoluta.

Así, señala Haldane, es fundamental para comprender el origen de la vida, concebir tal origen como una transición. Por tanto, el vínculo entre la materia viva y la materia muerta se encuentra en algún lugar entre la célula y el átomo.

Para la época (1929), existían dos visiones respecto al gen. La primera lo consideraba como un organismo diminuto que puede dividirse en el entorno proporcionado por el resto de la célula; la segunda como una pieza de maquinaria que la célula “viva” copia en cada división. A juicio de Haldane, la verdad probablemente se encontraba en algún lugar entre las dos visiones³⁸.

Como señala (Oparin, 2021, págs. 13-14), el materialismo dialéctico enseña que la vida es de naturaleza material. Sin embargo, la vida no es, en realidad, una propiedad inseparable de toda la materia en general. La vida es una manifestación especial del movimiento de la materia, pero esta manifestación o forma especial no

particular. En un uso más antiguo (anterior a 1900 en Botánica), un tipo era un taxón en lugar de un espécimen.

³⁸ En términos filosóficos, la teleología [la causa final del mundo orgánico, que, como se verá más adelante, no es otra que la búsqueda de la estabilización a través de la complejización, está expresada particularmente en el hecho de la división del gen en el entorno proporcionado por el resto de la célula; esto es así por cuanto ello posibilita la reproducción de las especies (en conjunto con otros factores), reproducción que (también en conjunto con otros factores) posibilita la heredabilidad de caracteres y demás aspectos relacionados, lo que es parte del proceso de búsqueda de estabilización a través de la complejización existente en el mundo orgánico (y también en el inorgánico, pero eso se abordará en un documento de trabajo, que se publicará posteriormente a este, que generalice las conclusiones que de la presente investigación puedan obtenerse)] y el mecanismo no son mutuamente excluyentes, sino aspectos necesarios para la existencia del otro, estando el mecanismo supeditado (como se mostrará posteriormente) a la teleología del sistema. En la actualidad, como se verá más adelante, se sabe que los sistemas químicos no son mecánicos (es decir, no pueden ser descritos en su totalidad ni en lo fundamental por el mecanismo), sin embargo, un sistema, aunque en lo fundamental no sea mecánico, contará siempre con un mecanismo.

ha existido eternamente ni está desunida de la materia inorgánica por un abismo insalvable, sino que, por el contrario, surgió de esa misma materia en el curso del desarrollo del mundo, como una nueva cualidad³⁹.

Como plantea el materialismo dialéctico, la materia nunca está en reposo, sino que se encuentra en perpetuo movimiento, se desarrolla, y en su expansión se eleva a planos cada vez más altos, tomando formas de movimiento cada vez más complejas y perfectas⁴⁰.

Al leverse de un plano interior a otro superior, la materia va adquiriendo nuevas cualidades que antes no tenía, lo cual significa que la vida es, por tanto, una nueva cualidad, que aflora como una etapa determinada, como determinado escalón del desarrollo histórico de la materia. Por lo expuesto se descubre claramente que el camino principal que conduce con seguridad y acierto a la solución del problema del origen de la vida es, sin duda alguna, el estudio del desarrollo histórico de la materia, es decir, de ese desarrollo que en otros tiempos condujo a la aparición de una nueva cualidad: a la aparición de la vida. Por tanto, el salto de lo inorgánico a lo orgánico debe ser explicado bioquímicamente, como una complejización cada vez mayor de una serie de compuestos carbonados de nitrógeno.

³⁹ Salto de lo cuantitativo a lo cualitativo.

⁴⁰ Esto se corresponde con el principio ontológico, gnoseológico y metodológico dialéctico-materialista que establece que el conocimiento va de lo simple a lo complejo, como el reflejo del mundo material que realiza el mismo tránsito. Esto es posible verificarlo para el caso de los sistemas físicos, específicamente para la evolución histórica de los sistemas cuánticos complejos (Haferkamp, Faist, Eisert, & Yunger Halpern, 2022, pág. 530). En tal investigación se muestra cómo La complejidad cuántica de un sistema de muchas partículas en su estado inicial crece linealmente durante tiempos astronómicamente largos y luego, incluso durante más tiempo, permanece en un estado de máxima complejidad o, en palabras de los autores, “la complejidad cuántica de un circuito aleatorio local crece linealmente en el número de puertas hasta alcanzar un valor exponencial en el tamaño del sistema”. Por supuesto, no es una solución global (aunque sí analítica), pero no es posible esperar soluciones analíticas (formales, apriorísticas) para sistemas complejos a nivel global. Lo anterior lo prueba la incapacidad de formalizar los sistemas complejos y la incapacidad misma de la matemática de ser un sistema lógico autocontenido, es decir, completo (en el que pueden probarse afirmaciones verdaderas), consistente (libre de contradicciones lógicas) y decidible (existe un algoritmo que pueda siempre determinar si una afirmación se desprende de axiomas), a pesar que sus fundamentos (al menos los relativos a la teoría de conjuntos Zermelo-Fraenkel con axioma de elección y de la teoría de conjuntos de Cantor que permitió la formalización primigenia del conocimiento matemático existente) son lineales.

Señala (Oparin, 2021, págs. 16-18) que la primera etapa del origen de la vida tuvo que ser la formación de las sustancias orgánicas (puesto que animales, plantas y microbios están compuestos por esta sustancia, es su invariante), el cual después habría de servir para la formación de todos los seres vivos. Lo primero que diferencia a lo orgánico de lo inorgánico es que el carbono es su elemento fundamental.

Todo el mundo actual de los seres vivos se sostiene por dos hechos análogos, concretamente la fotosíntesis y la quimiosíntesis⁴¹. En el curso de la evolución solar, el carbono ya ha pasado de una forma de existencia a otra; también la atmósfera de Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno tiene al carbón como elemento principal⁴²⁴³.

Como señala (Oparin, 2021, pág. 21), mediante investigaciones geológicas directas, ya para la época en que el autor citado escribió su investigación (1923), se había logrado demostrar que en los lugares donde surgen las cogenitas, cierta cantidad de substancias orgánicas se produce por vía inorgánica en la superficie de la Tierra, en condiciones naturales, por reacción producida entre los carburos y el agua. Para aquella época, se habían verificado además ciertos procesos de formación abiogenética de los hidrocarburos por las reacciones entre los carburos y el agua. Tal surgimiento de sustancias orgánicas al margen de la vida tuvo efecto en el pasado, cuando la reacción entre los carburos y el agua tenía lugar en cantidades

⁴¹ Síntesis de la materia orgánica a partir de materia inorgánica realizada exclusivamente por organismos procariotas, específicamente bacterias.

⁴² Aquí queda de manifiesto el principio fundamental de la dialéctica de que para conocer la verdad de lo relativo hay que conocer la verdad de lo absoluto y esto sólo es posible extrayendo los principios lógicos fundamentales que rigen el funcionamiento de los sistemas mecánicos y no-mecánicos que conforman la existencia, para luego contrastarlos con lo relativo que se estudia. Estos principios lógicos fundamentales son, precisamente, las leyes del materialismo dialéctico.

⁴³ El lector debe recordar que Oparin, al igual que Haldane y la actualidad Biología Evolutiva del Desarrollo, fundada por los biólogos marxistas Stephen Jay Gould, Richard Lewontin y Richard Levis, así como también el autor de esta investigación, es partidario de la abiogénesis, es decir, en la concepción de que la vida emerge de un proceso natural de la materia no-viviente como compuestos orgánicos simples. Esto está íntimamente ligado a la adhesión al planteamiento de que los sistemas biológicos poseen una teleología (una causa final), planteamiento compartido por todos los autores antes mencionados.

mucho mayores que en la actualidad. Por tanto, esta reacción pudo ser, únicamente ella, una fuente que dio principio a la formación primaria en masa de sustancias orgánicas, en una época en que todavía no existía la vida en la Tierra, antes de la manifestación de los seres vivientes de estructura molecular más sencilla.

Merece la pena detenerse en esta exposición a analizar una cuestión importante. Como se señaló anteriormente, el origen de la vida responde a un proceso evolutivo general de la materia, por lo que el rigor científico mínimo exige que una teoría del origen de la vida establezca cómo se generaron las nubes de polvo estelar y gas a partir de las cuales se formaron los planetas, con interés especial en la formación del planeta Tierra. Tanto en (Oparin, 2021, pág. 22) como en (Haldane, Radioactivity and the Origin of Life in Milne's Cosmology, 1944, pág. 555), parten de algún modelo cosmológico relativo a la formación del sistema solar; incluso, Haldane llega a valorar otras hipótesis, como la hipótesis de contracción Kelvin-Helmholtz. En el caso de Oparin, parte de la hipótesis de formación de planetas de Otto Schmidt, mientras que Haldane construye, en cierto sentido, su propia hipótesis partiendo del modelo cosmológico de Milne.

Sin embargo, en la actualidad el modelo cosmológico de Milne ha mostrado no corresponderse de forma realista con las mediciones empíricas del universo, mientras que la hipótesis de formación del sistema solar de Kelvin-Helmholtz y de Otto Schmidt no son las más aceptadas entre los cosmólogos, sino la hipótesis nebulosa de Kant-Laplace. ¿Por qué es verdadera la teoría Oparin-Haldane (al menos es lo que indica la evidencia experimental y la lógica) a pesar de su aparentemente deficiente elección de modelo cosmológico para explicar la formación de los planetas del sistema solar? La respuesta está en que la teoría en cuestión sólo requiere para su construcción partir de la existencia del polvo estelar y del gas que conformó los planetas (y, por supuesto, de sus propiedades fisicoquímicas), aunque con ello no se pueda consolidar aún una explicación que armonice orgánicamente la materia inorgánica en general con el surgimiento de la

materia orgánica y posteriormente de la vida, que es una tarea pendiente de las ciencias naturales.

Precisamente (Oparin, 2021, pág. 22) señalará que es el estudio de la composición química de la materia gaseo-pulverulenta llevado a cabo poco antes de 1923, denota la presencia en ella de hidrógeno, metano (y, tal vez, de hidrocarburos más complejos⁴⁴), amoníaco⁴⁵ y agua, esta última en forma de pequeñísimos cristales de hielo. De esta manera, en el origen mismo de la Tierra coinciden en su composición a partir de la materia gaseo-pulverulenta, los hidrocarburos más sencillos; el agua y el amoníaco; es decir, todo lo precisamente necesario para formar las sustancias orgánicas y primitivas. Por tanto, cualquiera que haya sido el proceso que dio origen a la Tierra, señalará Oparin en el lugar citado, al irse formando, forzosamente debieron aflorar en su superficie sustancias orgánicas.

Señala (Oparin, 2021, pág. 23) que Alekséi Favorski probó que los hidrocarburos tienen la particularidad de hidratarse con suma facilidad⁴⁶. No hay lugar a dudas, dirá Oparin, que los hidrocarburos que se formaron primitivamente en la superficie de la Tierra también se combinan, en su masa fundamental, con el agua. Mediante esto, en la atmósfera primitiva de la Tierra se formaron nuevas sustancias por medio de la oxidación de los hidrocarburos por el oxígeno del agua. De esta manera surgen diversos alcoholes⁴⁷, aldehídos⁴⁸, cetonas⁴⁹, ácidos⁵⁰ y otras

⁴⁴ En la actualidad se sabe que los elementos que más abundan en las nebulosas (nombre con el que ahora se conocen las nubes gaseo-pulverulentas de las que habla Oparin) son el hidrógeno y el helio, este último surge al interior de las estrellas cuando moléculas de hidrógeno se fusionan (por ejemplo, en nuestro sol, lo que implica que altas temperaturas son condición sine qua non para su surgimiento); esto último es relevante, puesto que algunas nebulosas provienen del gas y polvo expulsado por la explosión de estrellas moribundas (como una supernova).

⁴⁵ Compuesto químico de nitrógeno con fórmula química NH₃.

⁴⁶ Que incorporan fácilmente una molécula de agua a su estructura molecular.

⁴⁷ Los alcoholes son compuestos orgánicos formados a partir de los hidrocarburos mediante la sustitución de uno o más grupos (en química, un grupo es una columna de elementos en la tabla periódica) hidroxilo (grupo funcional formado por un átomo de oxígeno y otro de hidrógeno) por un número igual de átomos de hidrógeno.

⁴⁸ Los aldehídos son compuestos orgánicos que tienen por fórmula general RCHO. R representa una cadena alifática (un compuesto alifático es uno de un grupo de compuestos orgánicos de carbono (C) e hidrógeno (H) en el que los átomos de carbono tienen cadena lineal, ramificada (abierta) o

sustancias orgánicas muy simples, en cuyas moléculas se encuentran mezclados los elementos carbono, hidrógeno y oxígeno. Este último se integra como elemento constituyente de la molécula de agua. Con frecuencia, a estos tres elementos se agrega otro: el nitrógeno, que como amoniaco⁵¹ llegó a ser un elemento constitutivo de la Tierra en formación.

Señala (Haldane, *The Origin of Life*, 2022, págs. 7-8) que unos pocos miles de años desde el origen de la Tierra, probablemente el planeta se enfrió al punto de poder desarrollar una corteza sólida bastante permanente. Durante mucho tiempo esta corteza debe haber estado por encima del punto de ebullición del agua, que se condensó sólo gradualmente.

La atmósfera primitiva contenía poco o nada de oxígeno, ya que el suministro actual de la Tierra de ese gas es suficiente para quemar todo el carbón y otros restos orgánicos que se encuentran debajo y en la superficie de la Tierra. Por otro lado, casi todo el carbono de estas sustancias orgánicas, y gran parte del carbono

ambos tipos de estructura) o aromática [compuestos orgánicos cíclicos (compuesto en el que una serie de átomos de carbono están conectados para formar un lazo o anillo) caracterizados por tener un núcleo común, conocido como benceno (hidrocarburo aromático de fórmula molecular C₆H₆); C al carbono; O al oxígeno y H al hidrógeno.

⁴⁹ Una cetona es un compuesto orgánico que tiene un grupo funcional (átomo o conjunto de átomos unido a una cadena carbonada) carbonilo (grupo funcional que consiste en un átomo de carbono con un doble enlace a un átomo de oxígeno) unido a dos átomos de carbono, a diferencia de un aldehído, en el que el grupo carbonilo se une a al menos un átomo de hidrógeno.

⁵⁰ Sustancia química que emite iones de hidrógeno en el agua y forma sales cuando se combina con ciertos metales o, en otros términos, es cualquier compuesto químico que al disolverse en agua produce una solución con una actividad de catión [ion (partícula cargada eléctricamente constituida por un átomo o molécula que no es eléctricamente neutro) con carga eléctrica (propiedad física intrínseca de algunas partículas subatómicas que se manifiesta mediante fuerzas de atracción y repulsión entre ellas a través de campos electromagnéticos; la materia cargada eléctricamente es influída por los campos electromagnéticos, siendo, a su vez, generadora de ellos) positiva] hidronio [el ion hidronio es un catión que se forma en el agua cuando éste se encuentra en presencia de cationes H⁺ (hidrógeno); en lugar de catión hidronio, la nomenclatura aprobada por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada es oxidonio] mayor que el agua pura, esto es, un pH menor que 7 (medida del grado de acidez o alcalinidad de una sustancia o una solución; el pH se mide en una escala de 0 a 14 y, en esta escala, un valor pH de 7 es neutro, lo que significa que la sustancia o solución no es ácida ni alcalina).

⁵¹ Aquí Oparin se refiere al nitrógeno en su forma de amoniaco, conocido como nitrógeno amoniacal.

ahora combinado en creta, caliza y dolomita⁵², estaban en la atmósfera como dióxido de carbono. Probablemente una buena parte del nitrógeno que hay ahora en el aire se combinó con metales en forma de nitruro en la corteza terrestre, de modo que el amoníaco se formaba constantemente, por acción del agua.

El sol era quizás un poco más brillante de lo que es ahora, y como no había oxígeno en la atmósfera, los rayos ultravioleta químicamente activos del sol no eran, como lo son ahora, principalmente detenidos por el ozono (que es una forma modificada de oxígeno) en la atmósfera superior y el oxígeno mismo en la parte más baja de la atmósfera. Así, estos rayos penetraron hasta la superficie de la Tierra y el mar, o al menos hasta las nubes.

Ahora bien, cuando la luz ultravioleta actúa sobre una mezcla de agua, dióxido de carbono y amoníaco, se produce una gran variedad de sustancias orgánicas, incluidos los azúcares y, al parecer, algunos de los materiales a partir de los cuales se construyen proteínas. En este mundo actual, tales sustancias, si se dejan, se descomponen, es decir, son destruidas por microorganismos. Pero antes del origen de la vida debieron acumularse hasta que los océanos primitivos alcanzaran la consistencia de una sopa diluida caliente. Hoy un organismo debe confiar en la suerte⁵³, la habilidad o la fuerza para obtener su alimento. Los primeros precursores de la vida encontraron alimento disponible en cantidades considerables y no tuvieron competidores en la lucha por la existencia.

Señala (Oparin, 2021, pág. 23) que, como resultado de las reacciones de los hidrocarburos y sus derivados oxigenados más simples con el amoniaco, surgieron cuerpos cuyas moléculas contenían diferentes combinaciones de átomos de

⁵² Son tipos de rocas sedimentarias, es decir, rocas que se forman por acumulación de sedimentos. El sedimento es un material sólido acumulado sobre la superficie terrestre (litósfera) derivado de las acciones de fenómenos y procesos que actúan en la atmósfera, en la hidrosfera y en la biosfera (vientos, variaciones de temperatura, precipitaciones meteorológicas, circulación de aguas superficiales o subterráneas, desplazamiento de masas de agua en ambiente marino o lacustre, acciones de agentes químicos, acciones de organismos vivos).

⁵³ Entendida esta como todas las condiciones que el ente orgánico no determina por sí mismo y que, sin buscarlo, lo pueden perjudicar o beneficiar.

carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Así se formaron las sales amoniacales, las amidas, las aminas, etc. Por ello, en el mismo momento en que se formó en la superficie terrestre la hidrósfera, en las aguas del océano primitivo debieron formarse las diversas sustancias que se derivaron del carbono y a las que con todo fundamento es posible nombrar como “sustancias orgánicas primitivas”⁵⁴, aun cuando su aparición es muy anterior a la de los primeros seres vivientes. ¿Por qué estas sustancias deben ser consideradas como la primera materia orgánica a pesar de que son muy anteriores a los primeros organismos vivos? Oparin responderá que la razón estriba en el hecho que estas sustancias expresaban una estructura molecular cualitativamente nueva en relación con la estructura molecular preexistente en la Naturaleza.

Así, las características de estos sencillos cuerpos orgánicos primitivos y su destino posterior en el proceso evolutivo quedaron determinados por nuevas leyes provenientes de su formación elemental y de la distribución de los átomos en sus moléculas. Como señala (Oparin, 2021, págs. 23-24), esta primera etapa marca el traslado de los átomos dispersos de las ardientes atmósferas estelares a las sustancias orgánicas más simples, disueltas en la primitiva capa acuosa de la Tierra⁵⁵.

II.III. Segunda Etapa: Formación de las sustancias proteínicas

Como señala (Oparin, 2021, pág. 26), a pesar de la enorme cantidad de sustancias que integran los organismos vivos, no cabe duda de que la totalidad de ellas se formaron por medio de reacciones químicas relativamente simples y muy parecidas⁵⁶. Las transformaciones químicas que sufrieron las sustancias orgánicas en la célula viva tienen por base fundamental tres tipos de reacciones:

⁵⁴ Como se verá más adelante, en la terminología moderna estas sustancias se conocen como *sistemas prebióticos proliferantes*.

⁵⁵ Es precisamente esta capa acuosa la que es conocida como “caldo primitivo” o “sopa de la vida”.

⁵⁶ Esta relativa homogeneidad y simpleza es congruente con lo expuesto por (Gribbin, 1976, pág. 46), quien señala que, si el universo partiera de condiciones inicialmente perfectamente homogéneas e isotrópicas, las galaxias no podrían haberse formado en el tiempo transcurrido desde

1. Condensación o alargamiento de la cadena de átomos de carbono y el proceso inverso, la ruptura de los enlaces entre dos átomos de carbono.
2. Polimerización o combinación de dos moléculas orgánicas por medio de un puente de oxígeno o nitrógeno y, por otra parte, el proceso inverso o hidrólisis.
3. Oxidación y, ligada a ella, la reducción (reacciones de óxido-reducción).

Además, en la célula viva son bastante frecuentes las reacciones, mediante las cuales el ácido fosfórico, el nitrógeno amínico, el metilo y otros grupos químicos se trasladan de una molécula a otra.

Sucede entonces que la complejidad y la diversidad de las sustancias que se forman en los organismos vivos dependen exclusivamente de la complejidad y diversidad con que se combinan las reacciones simples de los tipos expuestos anteriormente⁵⁷.

Ahora bien, si se observa acuciosamente estas reacciones, se notará que muchas de ellas poseen una particularidad común, un rasgo característico común, lo cual se produce con la participación inmediata⁵⁸ de los elementos del agua.

Estos elementos se combinan con los átomos de carbono de la molécula de la sustancia orgánica, o bien se desprenden, separándose de ella⁵⁹. Esta reacción entre los elementos del agua y los cuerpos orgánicos constituye la base fundamental de

el Big Bang hasta la actualidad. Es congruente en cuanto la simpleza y la homogeneidad es relativa, no absoluta (perfecta).

⁵⁷ Aquí se evidencia cómo no es lo fundamental la forma de estas combinaciones, sino la complejidad inherente (cualitativa) que se expresa a través de estas formas de combinación. Así, la complejidad no tiene que ver esencialmente con la localización de los átomos de las moléculas, sino con las relaciones cualitativas (perfectamente cuantificables) entre los átomos de estas moléculas, expresada a través de la localización de tales átomos. La ciencia se construye desde la cualidad, no desde la cantidad, como Hegel probó a Kant.

⁵⁸ En general, en otro contexto, lo fundamental podría ser lo mediato (la participación mediata de los elementos involucrados), es decir, participaciones mediadas por procesos más extensos.

⁵⁹ Creación y destrucción, como ocurre en otros fenómenos de la Naturaleza, como los fenómenos cuánticos, en donde los operadores de creación y aniquilación de partículas desempeñan un papel fundamental en la evolución de la materia inorgánica y de los sistemas físicos dentro de los cuales esta se estudia.

todo proceso vital. Gracias a ella tienen lugar las numerosas transformaciones de las sustancias orgánicas que se forman actualmente en condiciones naturales, dentro de los organismos. Aquí, estas reacciones se efectúan con gran rapidez y en un orden de sucesión muy estricto; todo ello gracias a condiciones especiales que se abordarán más adelante⁶⁰.

Al respecto, señala (Haldane, *The Origin of Life*, 2022, págs. 6-7) que un organismo simple⁶¹ debe constar de las partes A, B, C, D, etc., cada una de las cuales sólo puede multiplicarse en presencia de todas o casi todas las demás (esta es su visión intermedia de las dos visiones sobre el gen antes expuestas). Entre estas partes están los genes, y el bacteriófago es una parte que “se ha soltado”. Desde este punto de vista, el bacteriófago⁶² es un engranaje, por así decirlo, en la rueda del ciclo de vida de muchas bacterias⁶³. Un mismo bacteriófago puede actuar sobre diferentes especies y es, por consiguiente, una suerte de “pieza de repuesto” que se puede instalar en varias máquinas diferentes, del mismo modo que un diabético humano puede mantenerse saludable cuando se le proporciona insulina fabricada por un cerdo. En este sentido, señala Haldane que se han obtenido muchos tipos de moléculas de células, y muchas de ellas no muy eficientes cuando se eliminan de ellas (de las células de las que provienen). Con estos hechos en mente, Haldane, según sus propias palabras (p. 7), “especuló legítimamente”⁶⁴ sobre el origen de la vida en la Tierra.

⁶⁰ La velocidad de sucesión y rigidez del orden, en otro sistema, podría variar. En tal sentido, tanto la velocidad de sucesión como el orden de la sucesión podrían variar y conservar únicamente la topología, la métrica y la topología, la métrica o ninguna de las dos; que en un sistema se cambie la topología y se conserve la métrica no parecería a priori ser un evento abundante en la Naturaleza.

⁶¹ Asúmase aquí que Haldane hace referencia a organismos procariotas, para simplificar el análisis. Esto, sin embargo, no es necesariamente cierto, puesto que Haldane no especifica qué tan simple es el organismo al que está haciendo referencia.

⁶² En la sección III.I.XII de esta investigación se explica la importancia de estos organismos.

⁶³ Y, como se verá en la sección III.I.XII, también de los virus de los que derivan los organismos eucariotas, las arqueas.

⁶⁴ Especular es, filosóficamente hablando, pensar por implicación. Una especulación legítima es aquella que parte de bases materiales, objetivas y racionales, y que se desarrolla sin dejar de estar anclada en todo momento a tales bases.

Así, señala Haldane (p. 7) que el bacteriófago es un paso más allá de las encimas en el tránsito hacia el desarrollo de la vida, pero es también una exageración llamarlo “completamente vivo”, puesto que más o menos en la misma etapa de ese tránsito hacia la vida están los virus⁶⁵.

Como se verifica en (Oparin, 2021, pág. 27), ya para la época en que él escribió su documento de investigación (1923) existía sobrada evidencia de “esa capacidad tan notable de las sustancias orgánicas más sencillas para transformarse en cuerpos más complejos y de elevado peso molecular cuando se guardan simplemente sus soluciones acuosas”.

Añadirá Oparin que “De más está decir que en esa solución de sustancias orgánicas tan simples, como eran las aguas del océano primitivo, las reacciones no se realizaban en determinada escala, no seguían ningún orden. Por el contrario, poseían un carácter desordenado y caótico.” (Oparin, 2021, pág. 27). Haldane, por su parte, afirmará que “Los primeros seres vivos o semivivientes probablemente fueron grandes moléculas sintetizadas bajo la influencia de la radiación solar, y solo capaces de reproducirse en el medio favorable en el que se originaron. Presumiblemente, cada uno requería una variedad de moléculas altamente especializadas antes de poder reproducirse, y dependía del azar para obtenerlas. Este es el caso actual con la mayoría de los virus, incluido el bacteriófago, que sólo puede crecer en presencia de la complicada variedad de moléculas que se encuentran una célula viva.” (Haldane, The Origin of Life, 2022, pág. 9). Al estudio de la validez gnoseológica del uso de las palabras *azar* y *caos* que hacen ambos marxistas se consagra la sección III.II de esta investigación.

Las sustancias orgánicas podrían sufrir al mismo tiempo, señala Oparin en el último lugar citado, diferentes transformaciones químicas, seguir distintos caminos químicos, originando innumerables y variados productos, pero desde el primer

⁶⁵ De hecho, en la actualidad se tiene certeza completa de que los bacteriófagos son un virus. Véase la sección de los anexos consagrada a los bacteriófagos.

instante se pone en evidencia determinada tendencia general a la síntesis de sustancias cada vez más complejas y de masa molecular⁶⁶ más y más elevada.

Así, indica (Oparin, 2021, págs. 27-28), se explica que en las aguas tibias del océano primitivo de la Tierra se formaran sustancias orgánicas de elevada masa molecular, parecidas a las que ahora se encuentran en los animales y vegetales.

Si se estudia la formación de las diversas sustancias orgánicas complejas en la capa acuosa de la Tierra, merecen especial preocupación aquellas involucradas en la formación de las sustancias proteínicas en tales condiciones. Las proteínas desempeñan una función de extraordinaria importancia, un papel realmente decisivo, en la formación de la “sustancia viva”. El protoplasma, sustrato material de la constitución del cuerpo de los animales, de las plantas y de los microbios, siempre contiene una importante cantidad de proteínas. Engels había señalado, indica Oparin, ya que “siempre que nos encontramos con la vida, la vemos ligada a algún cuerpo albuminoideo (proteínico), y siempre que nos encontramos con algún cuerpo albuminoideo que no esté en descomposición, hallamos sin excepción fenómenos de vida”. Estas palabras de Engels tuvieron una total confirmación en los trabajos realizados por los investigadores en años anteriores a que Oparin y Haldane escribiesen las investigaciones seminales aquí estudiadas (1923 y 1929, respectivamente). Y es que se ha demostrado que las proteínas no son, como antes se creía, simples elementos pasivos de la estructura del protoplasma, sino que, por el contrario, participan directa y activamente en el recambio de sustancias y en otros fenómenos de la vida. Por tanto, el origen de las proteínas significa un importantísimo eslabón del proceso evolutivo seguido por la materia, de ese proceso que ha dado origen a los seres vivos.

Señala (Oparin, 2021, pág. 31) que, naturalmente, el átomo de carbono de la atmósfera estelar no era todavía sustancia orgánica, pero su extraordinaria facilidad para combinarse con el hidrógeno, el oxígeno y el nitrógeno llevaba

⁶⁶ Masa por unidad de cantidad de sustancia.

implícita la posibilidad, en determinadas condiciones de existencia, de poder formar sustancias orgánicas⁶⁷.

Así es como en las fases de desarrollo de nuestro planeta, en las aguas del océano primitivo, debieron constituirse numerosos cuerpos proteinoides y otras sustancias orgánicas complejas, seguramente parecidas a las que en la actualidad integran los seres vivos.

Señala (Oparin, 2021, pág. 32) que, como es natural, se trataba solamente de materiales de construcción. No eran, valga la frase, sino ladrillos y cemento, materiales con los que se podía construir el edificio, pero éste, como tal, no existía todavía de forma rigurosamente concreta.

II.IV. Tercera Etapa: Origen de las primitivas formaciones coloidales

Como señala (Oparin, 2021, pág. 32), el fundamento de todo organismo animal o vegetal es el protoplasma⁶⁸, que es por tanto el substrato material en el que se desarrollan los fenómenos vitales.

La organización de un sistema muestra, en primer lugar, a través de una determinada estructura, una cierta distribución espacial recíproca de sus componentes y, en segundo lugar, un cierto orden y regularidad del proceso que expresa⁶⁹.

Como señala (Oparin, 2021, pág. 33), en el camino que conduce de las sustancias orgánicas a los seres vivos surgieron seguramente unas formas individuales, unos sistemas especialmente delimitados en relación con el medio ambiente y con una especial disposición interior de las partículas de la materia⁷⁰. Las sustancias

⁶⁷ Aquí queda de manifiesto cómo la existencia, lo que existe, es también lo posible porque la existencia es también la potencia del Ser.

⁶⁸ Se refiere al material viviente de la célula, es decir, a su interior.

⁶⁹ Aquí se expone nítidamente cómo la forma expresa a la esencia, es decir, a las relaciones cualitativas internas cuya expresión cuantitativa está dada por la forma.

⁷⁰ Las propiedades de un sistema dependen fundamentalmente de la estructura interna del mismo (que matemáticamente hablando puede concebirse como su topología, aunque esto es en el terreno rigurosamente matemático; en general, la topología sólo es un nivel más profundo de la forma, pero

orgánicas de bajo peso molecular como, por ejemplo, los alcoholes o los azúcares, al ser disueltas en el agua se desmenuzan en alto grado y se distribuyen en idéntica forma, por toda la solución, de moléculas sueltas que quedan más o menos independientes unas de otras. Por eso sus propiedades dependerán principalmente de la estructura de las propias moléculas y de la disposición que adopten en ellas los átomos de carbono, hidrógeno, oxígeno, etc.

Así, conforme va creciendo el tamaño de las moléculas, a estas leyes sencillas de la química orgánica van agregándose otras nuevas, más complejas, cuyo estudio es objeto de la química de las coloides. Las soluciones más o menos diluidas de sustancias de leve peso molecular, son sistemas perfectamente estables en los que el grado de fraccionamiento de la sustancia y la uniformidad de su distribución en el espacio no cambian por sí solos.

En cambio, las partículas de los cuerpos de elevado peso molecular dan soluciones coloidales, que se reconocen por su relativa inestabilidad. Bajo la influencia de diversos factores, estas partículas tienden a combinarse entre ellas y a formar verdaderos enjambres, a los que se les denomina agregados o complejos. Sin embargo, sucede a menudo que este proceso de unión de partículas tiene tanta intensidad que la sustancia coloidal se separa de la solución dejando sedimento. Este proceso es lo que se denomina “coagulación”⁷¹.

Como señala (Oparin, 2021, págs. 33-34), otras veces no alcanza a formar el sedimento, pero siempre se altera hondamente la distribución uniforme de las sustancias en la solución. Las sustancias orgánicas disueltas se concentran en determinados puntos, se forman unos coágulos en los que las distintas moléculas o

no expresa la esencia de los fenómenos), que refleja las relaciones cualitativas entre sus componentes.

⁷¹ De lo anterior se deriva que a medida se incrementa el número de elementos del sistema también incrementa el grado de complejidad del sistema estudiado. Este planteamiento ocurre sin excepción en los sistemas físico-mecánicos, al igual que en los sistemas probabilísticos (en lugar de números de partículas se habla de cantidad de grados de libertad), sin embargo, no es así para la generalidad de organismos vivos, en concreto, sólo ocurre con los organismos procariontes, más no con los eucariotas. En los anexos se planteará una hipótesis explicativa sobre tal fenómeno.

partículas se hallan ligadas entre sí en determinada forma, por lo que surgen nuevas y complejas relaciones determinadas no sólo por la disposición de los átomos en las moléculas, sino también por la disposición que toman unas moléculas en relación con otras. Esto prueba cómo las estructuras complejas no son intrínsecamente uniformes.

Como señala (Oparin, 2021, pág. 35), se tiene, entonces, que los coacervados⁷² presentan determinada forma rudimentaria de organización de la materia, aunque esta organización es todavía muy primitiva y totalmente inestable. A pesar de esto, dicha organización ya permite precisar numerosas propiedades de los coacervados. En éstos destaca sobre todo su capacidad de absorber diferentes sustancias que se hallan en la solución. Se puede demostrar en forma muy fácil esta propiedad si agregamos distintos colorantes al líquido que rodea a los coacervados, porque veremos al momento cómo la sustancia colorante pasa rápidamente de la solución a la gota del coacervado.

Muchas veces ese fenómeno se complica con una serie de transformaciones químicas que se producen dentro del coacervado. Las partículas absorbidas por el coacervado reaccionan químicamente con las mismas sustancias del propio coacervado. Y a causa de esto las gotas del coacervado a veces aumentan de volumen y crecen a expensas de las sustancias absorbidas por él del líquido circundante.

⁷² Como se señala en (ConceptoDefinición, 2022), los coacervados o protocélulas se pueden definir como un conjunto de moléculas coloidales (los coloides son compuestos donde diminutas moléculas no solubles -fase dispersa- se encuentran suspendidas en una solución dispersante continua -fase fluida-) en las que las moléculas de agua están rígidamente orientadas en relación con ellas y rodeadas por una película de agua, que delimita claramente los coacervados del líquido en el que flotan a través del aire. El coacervado es un glóbulo formado por una membrana que tiene sustancias químicas en su interior; a medida que aumenta su complejidad, el coacervado se separa del agua formando una unidad independiente, que sin embargo interactúa con su entorno. Fue el bioquímico soviético, Alexander Oparin, quien los descubrió y bautizó, siendo un paso esencial para la explicación del desarrollo de la vida en la Tierra. Oparin aseguró que podrían producirse membranas lipídicas sin vida, y después de numerosos experimentos, obtuvo unas gotas de alta composición en moléculas biológicas, que estaban presentes pero separadas del medio acuoso a través de una membrana primaria. Fue precisamente a estas gotas, que bautizó con el nombre de coacervados.

En esas ocasiones no solamente se produce un aumento de volumen y de peso de la gota, sino que también cambia considerablemente su composición química. Por tanto, notamos que en los coacervados se pueden producir determinados procesos químicos. Es de vital importancia el hecho de que el carácter y la rapidez de esos procesos dependan en gran medida de la estructura fisicoquímica de dicho coacervado, para que puedan ser de distinta naturaleza en los diversos coacervados.

Establecidas las propiedades de los coacervados de los cuerpos proteinoides de elevada masa molar que se formaron en la primitiva capa acuosa de la Tierra, pueden comprenderse estos de forma plena.

Así, siguiendo a (Oparin, 2021, págs. 35-36), luego de haber visto las propiedades de los coacervados, retrocedase ahora a los cuerpos proteinoides de elevado peso molecular que se formaron en la primitiva capa acuosa de la Tierra. Pues bien, como ya se dijo, las moléculas de estos cuerpos, a semejanza de las moléculas de las proteínas actuales, poseían en su superficie varias cadenas laterales dotadas⁷³ de diferente función química, debido a lo cual, a medida que iban creciendo y haciéndose más complejas las “proteínas primitivas”, debieron aparecer ineludiblemente nuevas relaciones entre las diversas moléculas. En efecto, ninguna molécula podía existir aislada de las demás, debido a lo cual fue forzoso que se estructuraran verdaderos enjambres o montones de moléculas, complicadas agrupaciones de partículas que poseían una naturaleza heterogénea, ya que

⁷³ Una cadena lateral es un sustituyente o grupo químico unido a un grupo funcional (es un átomo o conjunto de átomos unido a una cadena carbonada, representada en la fórmula general por R para los compuestos alifáticos y como Ar para los compuestos aromáticos y que son responsables de la reactividad y propiedades químicas de los compuestos orgánicos) o a la cadena principal (una cadena principal o cadena carbonada es el “esqueleto” de prácticamente todos los compuestos orgánicos y está formada por un conjunto de varios átomos de carbono, unidos entre sí mediante enlaces covalentes carbono-carbono y a la que se unen o agregan otros átomos como hidrógeno, oxígeno o nitrógeno, formando variadas estructuras, lo que origina infinidad de compuestos diferentes) de una molécula orgánica. Un grupo R es una etiqueta genérica para una cadena lateral. Históricamente, las abreviaciones R y grupo-R provienen de los términos radical o resto. Sobre la lateralidad se profundiza la sección III.I.XI, localizada en los anexos.

estaban integradas por moléculas proteicas de distinto tamaño y diferentes propiedades. De aquí apareció, sin duda, como una necesidad imperiosa la concentración de la sustancia orgánica en determinados puntos del espacio. Antes o después, en este o en el otro extremo del océano primitivo, de la solución acuosa de diferentes sustancias proteínicas, debieron separarse, sin duda, gotas de coacervados. Sin embargo, como se vio anteriormente, las condiciones para la formación de los coacervados son sencillas. Basta con mezclar simplemente las soluciones de dos o varias sustancias orgánicas de alto peso molecular. Por tanto, es posible asegurar que tan pronto como en la primitiva hidrosfera terrestre se formaron diversos cuerpos proteinoides de peso molecular más o menos elevado, inmediatamente debieron surgir también los coacervados.

¿Por qué los coacervados no pueden ser considerados seres vivos? Como señala (Oparin, 2021, pág. 37), esto no se debe sólo a la complejidad de la composición de su protoplasma, ni a la delicadeza de su estructura, sino y sobre todo porque en ellos no reinaba esa “armonía interna”, esa “adaptación de la organización interna al cumplimiento de funciones vitales en condiciones concretas de existencia, tan propia del protoplasma vivo de todos los seres vivos sin excepción.

Dicha adaptación a las condiciones del medio ambiente (las que permitieron el surgimiento del protoplasma vivo que caracteriza a los seres vivos sin excepción) de ninguna manera podía ser el resultado de simples leyes físicas o químicas. De igual modo tampoco bastan para explicarla las leyes de la química coloidal. De ahí que, al originarse los seres vivos primitivos, sin duda, surgieron en el proceso evolutivo de la materia, nuevas leyes que poseían ya un carácter biológico⁷⁴. Sobre ello trata la siguiente subsección.

⁷⁴ Aquí se pone en evidencia, nítidamente, el salto de lo cuantitativo a lo cualitativo regido por las leyes de la dialéctica materialista.

II.V. Cuarta Etapa: Organización del protoplasma vivo

Como señala (Oparin, 2021, pág. 38), a fin de poder llevar adelante el curso de la evolución y el proceso del origen de la vida, es preciso conocer, aunque sea a grandes rasgos, los principios básicos de la organización del protoplasma, ese sustrato material que forma la base de los seres vivos.

A fines del siglo pasado y principios del actual, señala Oparin con relación a la fecha en que escribe el artículo (1923), algunos científicos pensaban que los organismos no eran más que unas “máquinas vivientes” de tipo especial, con una formación estructural sumamente compleja. Según ellos, el protoplasma poseía una estructura semejante a la de una máquina y estaba construido con arreglo a un determinado plan y formado por “vigas” y “tirantes”, rígidos e inmutables, entrelazados unos con otros. Esta estructura, este riguroso orden en la disposición recíproca de las distintas partes del protoplasma, era justamente lo que, según el punto de vista en cuestión, constituía la causa específica de la vida, así como la causa del trabajo específico de una máquina depende de su estructura, según la forma en que están dispuestas las ruedas, los ejes, los pistones y las demás partes del mecanismo. De aquí la conclusión de que, si se consiguiera estudiar detalladamente y captar esta estructura, se tendría aclarado el enigma de la vida.

Sin embargo, el estudio concreto del protoplasma, señala (Oparin, 2021, pág. 39), ha negado ese principio mecanicista. Se verificó que en el protoplasma no existe ninguna estructura que se parezca a una máquina, ni siquiera a las de máxima precisión⁷⁵.

Se sabe que la masa fundamental del protoplasma es líquida; es un coacervado complejo, formado por numerosas sustancias orgánicas de enorme peso molecular, entre las que figuran, en primer término, las proteínas y los lipoides. De ahí que en esa sustancia coacervática fundamental, floten libremente partículas filamentosas

⁷⁵ En la actualidad es perfectamente sabido que los sistemas químicos no son mecánicos, es decir, no son sistemas que puedan caracterizarse por completo a través de su mecanismo. Lo mismo ocurre con los sistemas físico-cuánticos complejos. Sobre esto se profundizará más adelante.

coloidales, tal vez gigantescas moléculas proteínicas sueltas, y más probablemente, verdaderos enjambres de esas moléculas. Las partículas son tan minúsculas que no se alcanzan a distinguir ni siquiera con ayuda de los microscopios modernos más perfectos. Pero a la vez, en el protoplasma existen también elementos visibles. De suerte que al unirse formando grandes montones, las moléculas proteínicas y de otras sustancias pueden destacarse en la masa protoplasmática en forma de gotas pequeñas, pero ya visibles al microscopio, o formando algo así como coágulos, con una estructura determinada a los que se denomina elementos morfológicos: el núcleo, las plastídulas, las mitocondrias, etc.

Dichos elementos protoplasmáticos, visibles al microscopio, son, en esencia, la expresión externa, una manifestación aparente de determinadas relaciones de solubilidad muy complejas, de las sustancias del protoplasma. Como veremos, esta estructura tan lábil del protoplasma cumple, sin lugar a duda, un gran papel en el curso del proceso vital, pero éste no puede compararse con el que desempeña la estructura de una máquina en su trabajo específico. Y esto se justifica plenamente, por ser la máquina y el protoplasma, en principio, dos sistemas totalmente opuestos⁷⁶.

En efecto, lo que distingue la labor de una máquina es el desplazamiento mecánico de sus partes en el espacio. Por eso, el elemento primordial de la organización de una máquina es, justamente, la disposición de sus piezas. El proceso vital posee un carácter completamente diferente. Su manifestación esencial es el recambio de sustancias, o sea, la interacción química de las diversas partes que forman el protoplasma. Por eso, el elemento más importante de la organización del protoplasma no es la distribución de sus partes en el espacio (como sucede en la máquina), sino determinado orden de los procesos químicos en el tiempo, su combinación armónica tendiente a conservar el sistema vital en su conjunto.

⁷⁶ Aquí se pone de manifiesto la diferencia entre sistemas puramente mecánicos y sistemas teleológicos, siendo estos últimos aquellos que para ser descritos en su totalidad es necesario conocer su teleología. En principio, esta sería la fuente de la complejidad de los sistemas.

El equívoco de los mecanicistas reside sobre todo en ignorar esa diferencia. Por afán de dar a los seres vivos la misma forma de movimiento de la materia que poseen las máquinas, quieren establecer una igualdad entre la organización del protoplasma y su estructura, o sea, reducen esa organización a una simple distribución en el espacio de sus diversas partes. Evidentemente, los sistemas complejos no pueden ser reducidos, es decir, la complejidad no puede expresarse como una aditividad lineal de sus componentes integrantes.

Como señala (Oparin, 2021, págs. 39-40), está bien claro que se trata, lógicamente, de una interpretación unilateral, ya que toda organización no solamente ha de ser concebida en el espacio, sino también en el tiempo⁷⁷. Cuando se dice, por ejemplo, que en una asamblea hay “organización”, no es sólo porque los que allí asisten se han distribuido en la sala en una determinada forma, sino además porque la asamblea se rige por un reglamento y porque las intervenciones de los oradores se harán en un orden previamente establecido.

(Haldane, The Origin of Life, 2022, págs. 9-10) señala que los organismos unicelulares, incluidas las bacterias, eran los seres vivos más simples conocidos una generación antes de que él escribiera su documento de investigación (escrito en 1929), son mucho más complejos que los virus. Son organismos, es decir, sistemas cuyas partes cooperan. Cada parte está especializada en una función química particular y prepara moléculas químicas adecuadas para el crecimiento de las otras partes.

La célula consta de numerosas moléculas, químicas semivivientes suspendidas en agua y encerradas en una película⁷⁸. Cuando todo el mar era un vasto laboratorio

⁷⁷ Los de la escuela simultaneista, en la interpretación de transformación de valores en precios de producción, deberían considerar esto como una advertencia prudente.

⁷⁸ Se refiere a la capa delgada que define el contorno de la célula. En la actualidad, a tal película se le conoce como *membrana citoplasmática*.

químico⁷⁹, las condiciones para la formación de tales películas debieron ser relativamente favorables, pero a pesar de todo eso, la vida puede haber permanecido en la etapa de virus (los virus tienen proteínas entre sus componentes moleculares) durante muchos millones de años antes de que se reuniera un conjunto adecuado de unidades elementales en la primera célula. Debe haber habido muchos fracasos en el proceso de conformación de la primera célula, pero la primera célula exitosa tenía suficiente comida y una inmensa ventaja sobre sus competidores, lo que le permitió desarrollarse y complejizarse evolutivamente.

Como señala (Oparin, 2021, pág. 40), para la formación del protoplasma es de suma importancia la existencia de determinada y sutil estructura interna. Mas, aparte de esto, lo decisivo en este caso es la organización en el tiempo, es decir, cierta armonía de los procesos que se operan en el protoplasma. Todo organismo, animal, planta o microbio, vive sólo mientras estén pasando por él, en torrente continuo, nuevas partículas de sustancias, impregnadas de energía. Desde el medio ambiente pasan al organismo diferentes cuerpos químicos; y una vez dentro, son sometidos a esenciales cambios y transformaciones, a raíz de los cuales se convierten en sustancia del propio organismo y se tornan iguales a los cuerpos químicos que anteriormente integraban al ser vivo. Este proceso es el que se denomina asimilación. Pero paralelo a la asimilación se da el proceso contrario, la desasimilación. Es decir, que las sustancias del organismo vivo no quedan inmutables, sino que se desintegran con mayor o menor rapidez, y son remplazadas por los cuerpos asimilados. Así, los productos de la desintegración son expulsados al ambiente⁸⁰. Esto pone en evidencia la relación de retroalimentación de un organismo con su medio ambiente, que es uno de los principios básicos de la teoría evolutiva de Darwin.

⁷⁹ Se refiere aquí Haldane al océano primitivo del que habla Oparin. Para ambos este océano primitivo es “la sopa primordial”.

⁸⁰ Aquí se pone de manifiesto la influencia intelectual de Einstein en cuanto a la concepción orgánica del espacio y del tiempo, es decir, como unidad indisoluble.

En efecto, la sustancia del organismo vivo jamás permanece inmóvil, sino que se desintegra y vuelve a formarse continuamente en virtud de las numerosas reacciones de desintegración y síntesis, que se desarrollan en estrecho entrelazamiento⁸¹. Heráclito, dialéctico de la antigua Grecia, ya comentaba: nuestros cuerpos fluyen como un arroyo, y de la misma manera que el agua de éste, la materia se renueva en ellos. Claro está que la corriente o el chorro de agua pueden mantener su forma, su aspecto exterior durante cierto tiempo, pero esta forma no es otra cosa que la manifestación externa de ese proceso continuo que es el movimiento de las partículas del agua. Incluso la existencia de este sistema que acabamos de describir depende de que por el chorro de agua pasen constantemente, con determinada velocidad, nuevas moléculas de materia. Pero si se hace que se interrumpa el proceso, el chorro desaparece como tal. Y esto mismo sucede en todos los sistemas llamados dinámicos basados en determinado proceso⁸².

Como señala (Oparin, 2021, págs. 40-41), es incuestionable que todo ser vivo es también un sistema dinámico. Exactamente lo mismo que en el chorro de agua, su forma y su estructura no son otra cosa que la expresión externa y aparente de un equilibrio extraordinariamente lábil, formado entre procesos que en sucesión permanente se producen en ese ser vivo a lo largo de toda su vida. No obstante, el carácter de estos procesos es completamente distinto a lo que sucede en los sistemas dinámicos de la naturaleza inorgánica.

Las moléculas de agua arribaron al chorro, ya como tales moléculas de agua, y pasan a través de él sin que se produzca alteración. Porque, el organismo, que toma del medio sustancias ajenas a él y de naturaleza “extraña” a la suya,

⁸¹ Aquí Oparin denota el principio dialéctico-materialista que lo único permanente, perpetuo, es el cambio de la existencia y en la existencia, cuyo fundamento es objetivo y material.

⁸² Aquí se pone de manifiesto la existencia de una correspondencia entre las formas, relativamente rígidas, y las esencias, dinámicas en cuanto fundamento de la existencia que cambia perpetuamente.

mediante complejos procesos químicos, las convierte en sustancias de su propio cuerpo, iguales a los materiales que forman su cuerpo.

Justamente, esto es lo que crea las condiciones que permiten mantener constante la composición y estructura del organismo a pesar de la existencia de un proceso ininterrumpido de desintegración, de desasimilación.

Así pues, desde el punto de vista solamente químico, el recambio de sustancias o metabolismo es un conjunto de innumerables reacciones más o menos sencillas, de oxidación, reducción, hidrólisis, condensación, etc. Lo que difiere en forma específica al protoplasma, es que en él estas diversas reacciones están organizadas en el tiempo de cierto modo, combinándose así para formar un sistema único e integral. Está claro que estas reacciones no brotan al azar, caóticamente, sino que se producen en sucesión rigurosa, en determinado orden armónico. Este orden constituye la base de todos los fenómenos vitales hasta la fecha conocidos⁸³.

El estudio detallado de la síntesis de diferentes sustancias en el protoplasma demuestra que estas sustancias no surgen de golpe, provenientes de un acto químico especial, sino que son el resultado de una larga cadena de transformaciones químicas. De nuevo, el sentido de temporalidad de la Naturaleza es fundamental para su aprehensión plena.

Como señala (Oparin, 2021, pág. 42), cuanto más compleja es la sustancia, mayor es el número de reacciones que intervienen en su formación dentro del protoplasma y con tanto mayor rigor y exactitud deben conjugarse estas reacciones entre sí. Únicamente y debido a la rigurosa armonía, a la ordenada sucesión de estas reacciones, en el protoplasma vivo se produce ese ritmo estructural, esa regularidad en la sucesión de aminoácidos, que se observa en las proteínas actuales.

⁸³ Aquí es evidente que la organicidad (en cuanto a un todo coherente) requiere de sistemas unificados, a diferencia de ciertos economistas marxistas que utilizan sistemas separados y en el que el tiempo no existe, los sistemas simultáneos.

Por consiguiente, las moléculas proteínicas, así originadas y poseedoras de determinada estructura se agrupan entre sí, impulsadas por ciertas leyes, para formar enjambres moleculares más o menos importantes o verdaderos agregados moleculares que acaban por separarse de la masa protoplasmática y se destacan como elementos morfológicos, visibles al microscopio, como formas protoplasmáticas dotadas de gran movilidad. Por tanto, la composición química propia del protoplasma, como su estructura, son, hasta cierto punto, la manifestación del orden en que se producen los procesos químicos que permanentemente se están efectuando en la materia viva.

Pues bien, ¿de qué depende ese orden, propio de la organización del protoplasma? ¿Cuáles son sus causas inmediatas? Un estudio detallado de este problema demostrará, señala Oparin, que el orden indicado no es algo externo, independiente de la materia viva, como creían los idealistas filosóficos; al contrario, ya para 1923 se sabía muy bien que la velocidad, la dirección y la concatenación de las distintas reacciones, todo eso que forma el orden que estamos viendo, depende absolutamente de las relaciones físicas y químicas establecidas en el protoplasma vivo. El fundamento de todo ello lo constituyen las propiedades químicas de las sustancias que integran el protoplasma, ante todo, y de las sustancias orgánicas que aquí se han descrito y examinado previamente.

Dichas sustancias están provistas de gigantescas posibilidades químicas y pueden dar las reacciones más variadas. Pero estas posibilidades son aprovechadas por ellas con increíble "pereza", con mucha lentitud, en ocasiones con una velocidad insignificante, lo que pone de manifiesto que la Naturaleza, en general (existen excepciones, teorizadas en la biología evolutiva en los equilibrios puntuados de Gould), opera gradualmente, lo que a su vez muestra la relevancia del tiempo.

Como señala (Oparin, 2021, pág. 45), el orden de las reacciones viene determinado por la composición cualitativa de la mezcla de fermentos o de la acción catalítica de las proteínas, según el organismo del que se trate⁸⁴.

Muchas veces sucede que cualquier factor, que por sí sólo no ejerce ninguna influencia sobre el trabajo de los diversos fermentos, altera totalmente la desintegración y síntesis al modificar la capacidad ligadora de las estructuras proteínicas del protoplasma, sumamente sensibles a estas influencias⁸⁵.

La inmensa variedad de sustancias existentes y su inmensa capacidad de dar origen a reacciones químicas, contiene la posibilidad de infinitos cambios y transformaciones químicas. Sin embargo, en el protoplasma vivo estas transformaciones están regidas por una serie de factores externos e internos: la presencia de todo un juego de fermentos; su relación cualitativa; la acidez del medio; el potencial de óxido-reducción; las propiedades coloidales del protoplasma y su estructura, etc. Cada sustancia que aparece en el protoplasma, cada estructura que se separa de la masa protoplasmática general, todo eso altera la rapidez y la dirección de las diversas reacciones químicas y, por tanto, influye sobre todo el orden de los fenómenos vitales en su conjunto⁸⁶.

⁸⁴ Como señala (Fernández, 2007, pág. 101), la primera vez que en la historia de la Filosofía se concibió el comienzo de la ciencia a partir de la cualidad y no de la cantidad fue en el sistema hegeliano, es decir, Hegel construyó un sistema lógico que comienza el proceso analítico con el puro Ser, concebido este como la inmediatez cualitativa del Ser, con las cosas tal y como se presentan formalmente, pero viendo esta forma como una cualidad, no una cantidad. Esto significa en primer lugar devolver a la filosofía a su propio ámbito⁸⁴, pero tal devolución implica también un retorno a través del cual la filosofía de transforma para reflejar, aunque de forma idealista (sería Marx quien se encargaría de hacerlo de forma materialista), el proceso evolutivo de la existencia misma en el pensamiento abstracto. Aquí se pone de manifiesto que la ciencia parte y debe partir de la cualidad.

⁸⁵ Como puede observarse, esto es similar, en el contexto de la biología evolutiva, al *efecto mariposa* (sensibilidad extrema a los cambios en las condiciones iniciales) que se suscita en los sistemas complejos de tipo meteorológicos y representados en general en la teoría del caos. La razón de ello, evidentemente, son los vínculos complejos que ligan a las variables entre sí.

⁸⁶ Aquí se pone de manifiesto cómo las tendencias posibles que nunca llegan a materializarse, son aniquiladas por las tendencias posibles que se materializan (que se vuelven efectivas). Esto se debe

Así, señala (Oparin, 2021, pág. 46), “Nos encontramos entonces, frente a un círculo de fenómenos que se enlazan unos a otros y que están estrechamente relacionados entre sí”. Un ejemplo de esto, a nivel de la economía política, son los valores-trabajo (precios directos o precios proporcionales al valor) y los precios de producción.

Pues bien, el orden mencionado sigue una determinada dirección, tiende a un determinado fin, y esta circunstancia, propia de la vida, es de gran importancia, porque manifiesta una diferencia de principio entre los organismos vivos y todos los sistemas del mundo inorgánico. Los centenares de miles de reacciones químicas que se efectúan en el protoplasma vivo, no solamente están rigurosamente coordinados, en el tiempo, ni sólo se combinan armónicamente en un orden único, sino que todo este orden tiende a un mismo fin: a la autorrenovación, a la autoconservación de todo sistema vivo en su conjunto, en consonancia con las condiciones del medio ambiente.

Precisamente por eso el protoplasma es un sistema dinámico estable y, pese al constante proceso de desintegración (desasimilación) que en él se efectúa, conserva de generación en generación la organización que le es propia. Por eso todos los eslabones de esta organización pueden ser estudiados y comprendidos por nosotros con la ayuda de las leyes físicas y químicas. De esta manera, podemos saber por qué se originan en el protoplasma esta o aquella sustancia o estructura y en qué forma esta sustancia o esta estructura influyen sobre la velocidad y la sucesión de las reacciones químicas, o sobre la correlación entre la síntesis y la desintegración, o sobre el crecimiento y la morfogénesis de los organismos, etc.

Mas el conocimiento de las leyes citadas y el estudio del protoplasma en su aspecto actual no permitirán jamás, por sí solos, contestar a la pregunta de por qué todo

a la estructura interna misma del objeto analizado, lo que a nivel de las formas se conoce como *topología*, pero en un nivel más profundo y general, *i.e.*, filosófico, son las esencias.

este orden vital es como es, por qué es tan “armónico”, por qué está en consonancia con las condiciones del medio.

Para contestar a estas preguntas es necesario estudiar la materia en su desarrollo histórico. No hay duda respecto a que la vida ha surgido, durante este desarrollo, como una forma nueva y más compleja de organización de la materia regida por leyes de orden muy superior a las que imperan sobre la naturaleza inorgánica.

Solamente la unidad dialéctica del organismo y el medio⁸⁷, que únicamente hubo de surgir sobre la base de la formación de sistemas individuales de orden plurimolecular, fue lo que determinó la aparición de la vida y todo su desarrollo ulterior en la Tierra.

Aquí se muestra nítidamente la teleología del mundo orgánico, pero también las limitaciones de la teleología soviética, en no retomar lo planteado por Oparin e ir más allá de ello. Esto se expresa por cuanto en la literatura filosófica soviética se niega que lo inorgánico posea una teleología y, por consiguiente, que su teleología esté ligada indisolublemente a la teleología del mundo orgánico⁸⁸.

II.VI. Quinta Etapa: Origen de los organismos primitivos

Como señala (Oparin, 2021, pág. 47), los coacervados que surgieron por primera vez en las aguas de los océanos y mares todavía no poseían vida. No obstante, ya desde su aparición llevaban latente la posibilidad de dar origen, en ciertas condiciones de desarrollo, a la formación de sistemas vivos primarios⁸⁹.

Como ya se vio en las secciones anteriores, tal situación también se observa en todas las etapas anteriores de la evolución de la materia. En las increíbles propiedades de los átomos de carbono de los cuerpos cósmicos se encontraba

⁸⁷ La unidad dialéctica entre organismo y medio ambiente debe ser entendida como la unidad orgánica relativa que posee inherentemente contradicciones de índole antagónicas y/o no-antagónicas.

⁸⁸ Véase (Rosental & Iudin, 1971, pág. 449), con relación al concepto *teleología*.

⁸⁹ Aquí se pone de manifiesto cómo lo posible es una forma de existencia. La diferencia de lo posible y lo probable es el grado en que las condiciones materiales y objetivas propician la concreción de la potencia (de la existencia como potencia).

latente ya la posibilidad de formar hidrocarburos y sus derivados más simples⁹⁰. Estos, gracias a la conformación especial de sus moléculas y a las propiedades químicas de que estaban dotados, tuvieron que transformarse forzosamente, en las tibias aguas del océano primitivo, en diferentes sustancias orgánicas de elevado peso molecular, originando, en particular, los cuerpos proteinoides. De igual manera las propiedades de las proteínas encerraban ya la posibilidad de originar coacervados complejos. De ahí que a medida que iban desarrollándose y haciéndose más complejas, las moléculas proteínicas tuvieron que agruparse y separarse de las soluciones en forma de gotas coacerváticas.

En esta individualización de las gotas en relación con el medio externo, *i.e.*, en la formación de sistemas coloidales de tipo individual, se encontraba implícita la garantía de su desarrollo ulterior. Puede decirse que, incluso gotas que habían aparecido al mismo tiempo en la solución acuosa se distinguían en cierta forma unas de otras por su composición y por su estructura interna. Y estas particularidades individuales de la organización fisicoquímica de cada gota acervática ponían su sello a las transformaciones químicas que se efectuaban precisamente en ella⁹¹.

Así, como señala (Oparin, 2021, págs. 47-48), de esta forma se iba notando cierta relación entre la estructura individual u organización de esa gota y las alteraciones químicas que se producían en ella mediante las condiciones concretas del medio circundante. Dichas transformaciones eran distintas en las diferentes gotas. Esto, en primer lugar.

En segundo lugar, debe tomarse en consideración la circunstancia de que las diversas reacciones químicas, que en forma más o menos desordenada se

⁹⁰ Precisamente es esto lo que permite unificar orgánicamente las teleologías de los sistemas inorgánicos y la de los orgánicos. Sin embargo, este esfuerzo se llevará a cabo en un documento posterior, que será la continuación de la presente investigación.

⁹¹ Nuevamente queda de manifiesto la imposibilidad de la homogeneidad absoluta, al igual que en la formación de galaxias. Véase (Gribbin, 1976, pág. 46).

producían en la gota coacervática, no cesaron de desempeñar su papel en la suerte ulterior del coacervado. Desde este punto de vista, algunas de esas reacciones tuvieron una influencia positiva, fueron útiles, coadyuvaron a hacer más estable el sistema en cuestión y a alargar su existencia. Por el contrario, otras fueron perjudiciales, observaron un carácter negativo y condujeron a la destrucción, a la desaparición de nuestro coacervado individual.

Al parecer, se desprende que la propia formación de sistemas individuales facilitó la aparición de relaciones y de leyes totalmente nuevas. En otras palabras, en una simple solución homogénea de sustancia orgánica, los conceptos “útil” y “perjudicial” no tienen sentido, pero aplicados a sistemas individuales adquieren una significación muy real, puesto que los fenómenos a que se refieren determinan la suerte ulterior de estos sistemas.

Así, mientras la sustancia orgánica permanecía fundida completamente en el medio circundante, mientras se encontraba diluida en las aguas de los mares y océanos primitivos, se podía observar la evolución de esa sustancia en su conjunto, cual si formase un todo único. Mas apenas la sustancia orgánica se reúne en determinados puntos del espacio, formando coacervados, en cuando estas estructuras se separan del medio ambiente por límites más o menos claros y logran cierta individualidad, inmediatamente se crean nuevas relaciones, más complejas que las anteriores. Desde ese instante, la historia de cualquiera de esos coacervados pudo variar esencialmente en relación con la historia de otro sistema individual análogo, adyacente a él. Lo que ahora determinará su destino serán las relaciones entre las condiciones del medio ambiente y la propia estructura específica de la gota que, en sus detalles, es exclusiva de ella, pudiendo ser algo diferente en las otras gotas (aquí Oparin manifiesta la generalidad dialéctico-materialista como lo concreto pensado, racionalizado⁹²), pero al mismo tiempo específica para cada gota

⁹² Donde la generalidad es cuasi generalidad, es decir, una generalidad sin desprenderse absolutamente de lo particular.

individual. He aquí uno de los más brillantes ejemplos del *principio monista de complementariedad*.

¿Cuáles fueron las causas que permitieron la existencia individual de cada una de esas gotas en las condiciones concretas del medio ambiente? Como señala (Oparin, 2021, págs. 48-50), en el océano primitivo de la Tierra, el coacervado no se encontraba sencillamente sumergido en agua, sino que se hallaba en una solución de distintas sustancias orgánicas inorgánicas. Tales sustancias eran absorbidas por el coacervado, tras lo cual empezaban a manifestarse reacciones químicas entre esas sustancias y las del propio coacervado. Por consiguiente, el propio coacervado iba creciendo.

Mas, junto a estos procesos de síntesis, en la gota se producían también procesos de descomposición, de desintegración de la sustancia. Es decir, que la rapidez de uno y otro proceso estaba determinada por la concordancia entre las condiciones del medio externo (temperatura, presión, acidez, etc.) y la organización fisicoquímica interna de la gota.

Pues bien, la correlación entre la velocidad de los procesos de síntesis y de desintegración no podía ser indiferente para el destino ulterior de nuestra forma coloidal.

En efecto, podía ser útil o perjudicial, podía influir en forma positiva o negativa en la existencia misma de nuestra gota e incluso en la posibilidad de su aparición. Sólo pudieron subsistir durante un tiempo más o menos prolongado los coacervados que poseían cierta estabilidad dinámica, aquellos en los que la velocidad de los procesos de síntesis predominaba sobre la de los procesos de desintegración, o por lo menos se equilibraba con ella. Al revés sucedía con las gotas cuyas modificaciones químicas tendían fundamentalmente en las condiciones concretas del medio circundante hacia la desintegración, es decir, que estaban condenadas a desaparecer más o menos pronto o ni siquiera alcanzaban a

formarse. De todas maneras, su historia individual se detenía relativamente pronto, razón por la cual ya no podrían desempeñar un papel importante en la evolución ulterior de la sustancia orgánica. Esta función sólo podrían realizarla las formas coloidales dotadas de estabilidad dinámica. Cualquier pérdida de esta estabilidad llevaba a la muerte rápida y a la destrucción de tan “desafortunadas” formas orgánicas.

Consecuentemente, esas gotas mal organizadas se desintegran, y las sustancias orgánicas que contenían volvían a dispersarse por la solución y se integraban a ese sustento general del que se alimentaban las gotas coacerváticas más “afortunadas”, mejor organizadas.

Además, aquellas gotas en las que la síntesis predominó sobre la desintegración no sólo debieron conservarse, sino también aumentaron de volumen y de peso, es decir, crecieron. Así fue como se produjo un aumento gradual de proporciones de aquellas gotas que tenían justamente la organización más perfecta para las condiciones de existencia dadas. Pues bien, cada una de esas gotas, al crecer sólo por influencia de causas puramente mecánicas debieron dividirse en diferentes partes, en varios trozos. Las gotas “hijas” formadas de este modo tenían casi igual organización fisicoquímica que el coacervado del cual procedían. Pero desde el momento de la división, cada una de ellas tendría que continuar su camino, en cada una de ellas tendrían que comenzar a verificarse modificaciones propias que harían mayores o menores sus posibilidades de subsistir. Se entiende, pues, que todo esto sólo pudo suceder en los coacervados cuya organización individual, en esas condiciones concretas del medio externo les procuraba estabilidad dinámica.

Tales coacervados eran los únicos que podían subsistir un tiempo largo, crecer y subdividirse en formas “hijas”. Cualquiera de las alteraciones que se producían en la organización del coacervado bajo el influjo de las variaciones constantes del medio externo, sólo podía resistirlas aquél en el caso de que reuniera las

condiciones arriba indicadas, es decir, solamente si elevaba la estabilidad dinámica del coacervado en aquellas condiciones concretas de existencia.

¿Qué debe entenderse por fermento? Los fermentos son cuerpos complejos en los que se mezclan sustancias que poseen actividad catalítica y proteínas específicas, las cuales incrementan en alto grado esa actividad. Podemos tomar como ejemplo la catalasa, fermento cuya función en el protoplasma vivo consiste en acelerar la descomposición del peróxido de hidrógeno en oxígeno y agua. Esta reacción es susceptible de acelerarse por la simple presencia de hierro inorgánico, pero la acción de éste en tal caso es muy débil.

Así, como señala (Oparin, 2021, págs. 51-52), la alta potencia del fermento sólo se obtiene cuando estas partes se combinan entre sí de una manera muy precisa. Pues es un hecho que esa combinación de los grupos citados que nos ofrecen los fermentos y esa relación, tan propia de ellos, que hay entre su estructura química y la función fisiológica, sólo pudieron originarse a raíz de un constante perfeccionamiento de esos sistemas y la adaptación de su estructura a la función que desempeña en las condiciones de existencia dadas.

(Haldane, The Origin of Life, 2022, págs. 8-9) señala que como la atmósfera primitiva contenía poco o nada de oxígeno, debieron obtener (las entidades prebióticas que dieron posteriormente origen a los organismos primitivos) la energía que necesitaban para crecer por algún otro proceso que no fuese la oxidación, de hecho, por fermentación. Porque como dijo Pasteur, la fermentación es vida sin oxígeno. Si esto fuera así, se debería esperar que los organismos elevados como los seres humanos comenzaran la vida como seres anaeróbicos⁹³

⁹³ Ejemplos de estos seres son las bacterias, los parásitos unicelulares, la levadura, el ácido láctico, thermoplasma, shewanella putrefaciens, salmonella tryphi, organismos que viven en las profundidades del océano y la corteza terrestre, las algas y flora subacuática, etc. Las arqueas, organismos de los cual se considera proviene el ser humano (esto se amplía en la sección III.I.XII), son seres anaeróbicos obligatorios y liberan gas metano como desecho metabólico.

(que no requieren de oxígeno para crecer), al igual que los seres humanos comenzaron como células individuales⁹⁴.

Las innumerables transformaciones de las sustancias orgánicas, primero en la solución acuosa y después en las formas coloidales primitivas, se daban con relativa lentitud. La rapidez de las diferentes reacciones sólo pudo lograrse gracias a la acción de catalizadores inorgánicos (sales de calcio, de hierro, de cobre, etc.), tan abundantes en las aguas del océano primitivo.

En las formaciones coloidales individuales, estos catalizadores inorgánicos comenzaron a combinarse de mil formas con diversos cuerpos orgánicos. De todas estas combinaciones, unas podían ser acertadas, pues lograban incrementar el efecto catalizador de sus componentes por separado; otras podían ser desafortunadas, ya que podían reducir ese efecto, y, por tanto, aminorar el dinamismo general de todo el sistema.

Pues bien, bajo la influencia del medio exterior, estas últimas se destruían sistemáticamente, desaparecían de la faz de la Tierra. De ahí que para el desarrollo ulterior sólo permanecían las que cumplían sus funciones con la mayor rapidez y del modo más racional⁹⁵.

A raíz de ese proceso evolutivo, los catalizadores inorgánicos, los más simples, que en la solución de sustancias orgánicas primitivas aceleraban en bloque grupos enteros de reacciones análogas, al llegar a nuestras formas coloidales fueron remplazados poco a poco por fermentos más complejos, pero al mismo tiempo más perfectos, dotados no sólo de gran actividad, sino, además, de un efecto muy específico, mediante el cual sólo ejercían su acción sobre determinadas reacciones.

⁹⁴ Aquí queda de manifiesto el principio ontológico, lógico, gnoseológico y metodológico de ir de lo simple a lo complejo. Al igual que los organismos vivos, el universo también se comenzó a expandir (crecer) de forma lineal y, posteriormente, lo hizo de forma compleja. Véase en (Haferkamp, Faist, Eisert, & Yunger Halpern, 2022, pág. 529) el teorema 1.

⁹⁵ Aquí Oparin no busca implicar la influencia de un intelecto, sino una teleología (causa final) dialéctica-materialista.

Se comprenden fácilmente las enormes ventajas que traía la aparición de tales combinaciones químicas para la organización general de los procesos que tenían lugar en esas formas coloidales.

Desde luego, la evolución de los fermentos puede producirse solamente en el caso de que, junto a ella, se diese cierta regulación, cierta coordinación de las distintas reacciones fermentativas. Pues todo aumento sustancial de la velocidad de tal o cual reacción únicamente podía afirmarse en el proceso evolutivo si significaba un adelanto desde este punto de vista, si no alteraba el equilibrio dinámico de todo el sistema, si, por el contrario, contribuía a aumentar el orden interno en la organización de la forma coloidal dada.

En los primeros coacervados, esta coordinación entre las distintas reacciones químicas era todavía muy débil. Las sustancias orgánicas que llegaban del exterior y los productos intermediarios de la desintegración todavía podían sufrir en ellos transformaciones químicas en sentidos muy opuestos. Lógicamente en las primeras etapas del desarrollo de los coacervados, estas síntesis desordenadas también podían ayudar a la proliferación de la sustancia organizada. No obstante, en estos casos, la organización de los sectores coloidales que se iban formando se trocaba constantemente y se encontraba seriamente amenazada del peligro de desintegración, de autodestrucción. Así, nuestros sistemas coloidales llegaron a poseer una estabilidad dinámica relativamente permanente sólo cuando los procesos de síntesis producidos en ellos se coordinaron entre sí, cuando en esos procesos se logró cierta repetición regular, cierto ritmo.

En el proceso de desarrollo de los sistemas coloidales individuales, lo que ofrecía más interés no eran las diversas combinaciones que se producían en ellos en forma accidental, sino la repetición constante de una determinada combinación, la aparición de cierta concordancia en las reacciones, que aseguraba la síntesis regular de esa combinación en el transcurso de la proliferación de la sustancia organizada.

De este modo surgió ese fenómeno que hoy se denomina “capacidad de regeneración de protoplasma”.

Basándose en esto se originó cierta estabilidad en la composición de nuestros sistemas coloidales. Sobre todo, ese ritmo de la síntesis repetido con regularidad, del que acabamos de hablar, se vio al mismo tiempo expresado en forma nítida en la estructura de las sustancias proteínicas. La concordancia de las numerosas reacciones de síntesis, que en su conjunto llevaron a la formación de la molécula proteínica, excluida la posibilidad de que se combinasesen en cualquier orden los diversos eslabones de la cadena polipeptídica. Por lo cual, la disposición arbitraria de los residuos de aminoácidos propia de las sustancias albuminoideas primitivas fue paulatinamente dando paso a una estructura más precisa de la micela albuminoidea.

Esta estabilidad de la composición química de las formas coloidales individuales originó cierta estabilidad estructural de las mismas.

Como señala (Oparin, 2021, págs. 52-53), las proteínas poseedoras de una determinada estructura, propia de cada sistema coloidal, ya no se mezclan entre sí al azar, sino con precisa regularidad. Por esa razón, en el proceso evolutivo de los coacervados primitivos, su estructura inestable, fugaz, demasiado dependientes de las influencias accidentales del ambiente, debió remplazarse por una organización espacial dinámicamente estable que les asegurase el predominio de las reacciones fermentativas de síntesis sobre las de desintegración.

Así fue como se logró esa concordancia entre los diferentes fenómenos, esa adaptación (tan propia de la organización de todos los seres vivos) de la estructura interna al cumplimiento de determinadas funciones vitales en las condiciones concretas de existencia.

El estudio de la organización de las formas vivas más sencillas que existen en la actualidad (válido para 1923 y para la actualidad, 2022), nos permite seguir el

proceso de complicación y perfeccionamiento gradual de la organización de las estructuras descritas más arriba. Por último, ese proceso condujo a la aparición de una forma cualitativamente nueva de existencia de la materia.

De esta manera se produjo ese “salto” dialéctico que trajo la aparición de los seres vivos más simples en la superficie de la Tierra. La estructura de esos sencillísimos organismos primitivos ya era mucho más perfecta que la de los coacervados, pero, no obstante esto, era incomparablemente más simple que la de los seres vivos más sencillos en la actualidad⁹⁶.

Aquellos organismos no poseían aún estructura celular, la cual surgió en una etapa muy posterior del desarrollo de la vida. Fueron transcurriendo años, siglos, milenios. La estructura de los seres vivos se iba perfeccionando y se adaptaba más y más a las condiciones en que se desarrollaba la vida. La organización de los seres vivos iba siendo cada vez mayor. Al comienzo, sólo se alimentaban de sustancias orgánicas. Pero al pasar del tiempo, esas sustancias fueron escaseando tanto que a los organismos primitivos no les quedó más recurso que sucumbir o desarrollar, en el proceso evolutivo, la propiedad de formar de alguna manera sustancias orgánicas con base en los materiales proporcionados por la naturaleza inorgánica, con base en el anhídrido carbónico y el agua. Algunos seres vivos lo lograron, en efecto. En el proceso gradual de la evolución lograron desarrollar la facilidad de absorber energía de los rayos solares, de descomponer el anhídrido carbónico con ayuda de esa energía y de aprovechar el carbono así logrado para formar en su cuerpo sustancias orgánicas. De este modo aparecieron las plantas más sencillas, las algas cianofíceas, cuyos restos pueden encontrarse en sedimentos muy antiguos de la corteza terrestre.

Finalmente, señala (Oparin, 2021, págs. 53-54), otros seres vivos mantuvieron su antiguo sistema de alimentación, pero lo que ahora les servía de alimento eran esas

⁹⁶ Aquí Oparin pone de manifiesto el tránsito de lo simple a lo complejo, que no sólo es un tránsito ontológico, sino también lógico y gnoseológico, y, por consiguiente, metodológico.

mismas algas cuyas sustancias orgánicas eran aprovechadas por ellos. De este modo surgió en su forma primitiva el mundo de los animales.

Como señala (Haldane, *The Origin of Life*, 2022, pág. 10), es probable que todos los organismos vivos desciendan de un mismo antepasado, por la siguiente razón. La mayoría de las moléculas estructurales que se observan en tales organismos son asimétricas, como lo demuestra el hecho de que giran el plano de la luz polarizada⁹⁷ y, a menudo, forman cristales asimétricos. Pero de los dos posibles tipos de cualquier molécula de esta índole, relacionadas entre sí como una bota izquierda y derecha⁹⁸, sólo las moléculas asimétricas se encuentran en toda la naturaleza viva⁹⁹. Las excepciones aparentes a esta regla son todas las moléculas pequeñas que no se usan en la construcción de las grandes estructuras moleculares que expresan los fenómenos de la vida. No hay nada, por lo que es posible ver, en la naturaleza de las cosas que impida la existencia de organismos espejos, construidos a partir de moléculas que son, por así decirlo, las imágenes especulares de aquellas en nuestros propios cuerpos. Muchas de las moléculas necesarias ya se han fabricado en laboratorio¹⁰⁰, por lo que, razonaba Haldane, si la vida se hubiese dado de forma independiente en varias ocasiones, tales organismos probablemente existirían. Haldane razonaba entonces que, como estas moléculas quirales

⁹⁷ Lo que Haldane está expresando, en terminología moderna, es que, según las estructuras de Lewis, la mayoría de las moléculas son asimétricas, es decir, polares.

⁹⁸ Aquí Haldane hace referencia al concepto de quiralidad o lateralidad, el cual se aborda con cierta profundidad en la sección III.I.XI de los anexos.

⁹⁹ La razón de ello se aborda en la sección III.I.XI, localizada en los anexos.

¹⁰⁰ Estas “vidas espejo” fueron teorizadas por primera vez por Pasteur. Un proceso químico, como señala (Singer, 2014), creará ambas formas de una molécula determinada (formas especulares “diestras” o “zurdas”, es decir, la quiralidad de una molécula implica estos dos tipos de formas especulares), pero un proceso biológico sólo producirá una (aunque esto no es siempre cierto para los eslabones intermedios de tales procesos). Sobre ello se ahonda en la sección III.I.XI de los anexos, sin embargo, debe adelantarse que los bloques moleculares que son “los ladrillos” de la vida son los aminoácidos y los azúcares. Las moléculas giradas a la izquierda sí existen y, de hecho, los aminoácidos son moléculas generalmente giradas a la izquierda (y esto se cumple sin excepción para los aminoácidos que conforman las moléculas biológicas), mientras que los azúcares son girados a la derecha, pero la gran generalidad de moléculas está girada a la derecha, siendo el ADN (al menos en la generalidad de sus formas) quizás la más emblemática de las moléculas giradas a la derecha.

izquierdas no existían hasta la época en que él realizó su investigación¹⁰¹, era probable que el evento que generó la vida haya ocurrido solo una vez o, más probable aún, los descendientes del primer organismo vivo evolucionaron lo suficientemente rápido para abrumar a cualquier competidor posterior cuando estos llegaron a la escena¹⁰².

Con relación a la unicidad del ancestro, la investigación de (Theobald, 2010) aborda esta cuestión. La investigación citada es una verificación, mediante estadística inferencial, de la teoría del ancestro común universal (UCA, por sus siglas en inglés) utilizando la teoría de selección de modelos (elegir el mejor modelo de los modelos posibles con base en algún criterio de información¹⁰³), sin

¹⁰¹ En la actualidad, como se señala en (National Human Genome Research Institute , 2020), el ADN también puede formar otras dos formas. El ADN-A también tiene una estructura helicoidal dextrógira, pero es más corta y ancha, y generalmente se encuentra en muestras deshidratadas de ADN. Z-ADN es otra versión inusual, donde el ADN toma una forma zurda (la que señala Haldane que no existe). Sin embargo, a pesar de su existencia, es una fase temporal, que existe en respuesta a ciertas actividades celulares, como cuando ciertos genes se transcriben en proteínas. Es decir, es un eslabón intermedio generado por la dinámica de otros eslabones y no un resultado final ni fundamento de dicho resultado.

¹⁰² En la actualidad, la evidencia empírica indica que las moléculas quirales izquierdas no son la generalidad en la naturaleza de la Tierra a causa de una forma específica de desintegración de los protones conocida como *decaimiento beta*. El decaimiento beta de los electrones (el cual tiene un giro en el sentido izquierdo) impactaba directamente en el caldo primigenio a través de los rayos ultravioleta emitidos por el Sol y penetraron la atmósfera terrestre cuando no existía ozono (puesto que no existía oxígeno y el ozono es una forma de oxígeno más sofisticada), eliminando las moléculas quirales izquierdas (por cuanto tienen el mismo sentido/orientación que los electrones beta-desintegrados) y determinando que la vida en la Tierra tenga una composición molecular general de tipo quiral-derecha. Sobre los aspectos técnicos de la lógica antes expuesta se habla en la sección III.I.XI de los anexos. A pesar de que los quirales izquierdos existen (aunque no sean el caso general y que para el caso del ADN sea meramente una etapa transitoria), sigue siendo plausible lo planteado por Haldane, aunque no con relación a la no-existencia de quirales izquierdos, sino a que la vida se haya podido suscitar más de una vez, pero que “los descendientes del primer organismo vivo evolucionaron lo suficientemente rápido para abrumar a cualquier competidor posterior cuando estos llegaron a la escena”. De hecho, en esta lógica se basa el concepto del *Último Ancestro Común Universal* (LUCA, por su nombre en inglés). Sobre esto se ampliará en breve.

¹⁰³ Véase (Theobald, 2010, pág. 219). Los criterios de información que utiliza son el cociente de log verosimilitud, el criterio de Akaike y el criterio del factor log Bayes. Esto robustece la investigación en cuanto las conclusiones del estudio son las mismas desde los diferentes criterios planteados por “las escuelas estadísticas más importantes”. Cuando se alcanza cierto nivel de complejidad en las pruebas estadísticas de hipótesis, es necesario considerar las diferencias filosóficas entre escuelas, porque definir de forma diferente las probabilidades (que es lo ontológico, relativo al Ser, a lo que es) implica una gnoseología diferente (es decir, diferencias en la arquitectura del procedimiento para llegar a la verdad), que a su vez implican diferencias metodológicas (de método), puesto que

asumir que la similitud de secuencia indica una relación genealógica, es decir, sin implicar que la similitud en la estructura de las proteínas que conforman molecularmente a los seres vivos implica parentesco genético entre estos. Esto robustece los resultados encontrados por Theobald por cuanto implicarlo facilita probar la existencia de tal ancestro común, puesto que se vuelve más fácil probar vínculos genéticos entre entidades orgánicas y, con ello, es más fácil obtener resultados que proporcionen evidencia genética de que el ancestro común universal existe¹⁰⁴.

La prueba de hipótesis realizada por Theobald consiste en si la ascendencia común no guiada para genes similares es más probable que la ascendencia independiente no guiada para genes similares, por ejemplo, la evolución convergente (la evolución convergente es una realidad hasta ciertos niveles, por ejemplo, en las alas de las aves, insectos y murciélagos, pero no necesariamente al nivel más fundamental de la evolución y ello es lo que investiga Theobald). La hipótesis nula general es la de *ascendencia independiente*.

el método es más que el procedimiento mediante el cual se vuelve operativa una determinada gnoseología, es decir, una determinada concepción sobre el camino que debe seguirse para alcanzar la verdad. De hecho, (Efron, 1978, pág. 232), creador de la técnica de bootstrapping, demuestra que, en determinados escenarios, las conclusiones a obtener de resultados estadísticos difieren significativamente. Adicionalmente, también está documentado, por ejemplo, en (Moala & Dey, 2018, pág. 2659) y (Kass & Wasserman, 1996, pág. 1362), que los métodos bayesianos objetivos arrojan resultados más robustos que los métodos bayesianos subjetivos, que no son ni siquiera escuelas sino sub-escuelas.

¹⁰⁴ Además, la similitud de secuencia, estadísticamente significativa, puede surgir de factores distintos a la ascendencia común. Por ejemplo, la evolución convergente debido a la selección natural, las restricciones estructurales sobre la identidad de la secuencia, el sesgo de mutación, el azar o la fabricación de artefactos (un artefacto, en el contexto de la biología, es algo que no es típico de la sustancia real, sino el resultado de un proceso como el procesamiento citológico, la formación de cristales, etc. Por ejemplo, algunas estructuras cristalinas muestran dimerización de la proteína, que a veces es un artefacto de la formación de cristales. Dimerizar una proteína es obtener dímeros de proteína. El dímero de proteína es un complejo macromolecular formado por dos monómeros (es una molécula que puede reaccionar junto con otras moléculas de monómero -un monómero es una molécula que forma la unidad básica de los polímeros- para formar una cadena polimérica más grande o una red tridimensional en un proceso llamado polimerización) de proteína, o proteínas individuales, que generalmente no están unidas covalentemente. Muchas macromoléculas, como proteínas o ácidos nucleicos, forman dímeros.

La inferencia de las similitudes biológicas a la homología evolutiva¹⁰⁵ es una característica compartida por varias de las líneas de evidencia de la ascendencia común. Por ejemplo, se supone ampliamente que una gran similitud de secuencia, a menudo medida por un valor E de una búsqueda BLAST¹⁰⁶, indica parentesco genético¹⁰⁷. (p. 219).

Por estas razones, alguien que rechace la ascendencia común de toda la vida podría, no obstante, aceptar que las proteínas universalmente conservadas tienen secuencias similares y son “homólogas” en el sentido original pre-darwiniano del término (la homología aquí es la similitud de estructura debido a la “fidelidad al arquetipo”¹⁰⁸). En consecuencia, sería ventajoso tener un método que sea capaz de cuantificar objetivamente el apoyo de los datos de secuencia para las hipótesis de ascendencia común frente a las de ascendencia múltiple en competencia.

Los resultados de la prueba de hipótesis realizada por Theobald son:

1. Las probabilidades son muy escasas de que surjan secuencias de ADN muy similares a través de procesos evolutivos independientes (“ascendencia múltiple”).
2. Por tanto, la herencia de estas secuencias de algún ancestro común universal debe ser la herencia.

Evidentemente, el punto 1 no necesariamente demuestra el punto 2, por eso es “A Formal test”, es decir, una prueba, no “The Formal Test”, no es la prueba

¹⁰⁵ La homología evolutiva es la homología es la similitud debido a la ascendencia compartida entre un par de estructuras o genes en diferentes taxones.

¹⁰⁶ Como se señala en (National Human Genome Research Institute, 2019), la Basic Local Alignment Search Tool (BLAST) es una herramienta que encuentra regiones de similitud entre secuencias biológicas. El programa compara secuencias de nucleótidos o proteínas con bases de datos de secuencias y calcula la importancia estadística.

¹⁰⁷ La similitud de secuencia es una observación empírica (*i.e.*, realizada tras analizar las moléculas de proteína), mientras que la conclusión de la homología es una hipótesis propuesta para explicar la similitud.

¹⁰⁸ Como señala (Aboitiz, 1988, pág. 27), el significado de la palabra “homología” ha cambiado en el tiempo. De ser un concepto comparativo en tiempos predarwinianos, se convirtió en un concepto histórico, lo que significa estrictamente un origen evolutivo común para estructuras anatómicas o genes. Es en el segundo sentido que se utiliza en la investigación de Theobald.

definitiva. Sin embargo, no deja de ser cierto que es muy poco probable que los grupos de proteínas hayan evolucionado de forma independiente en secuencias de ADN similares. ¿Cuál es la probabilidad de que vea una secuencia (proteína) de ADN polimerasa humana y otra proteína con una secuencia de ADN polimerasa de *E. coli*? La probabilidad es mucho mayor si usa la hipótesis de que los humanos y la *E. coli* están realmente relacionados. Por tanto, existe evidencia teórica y estadística importante que respalda lo planteado por Haldane con relación al ancestro común¹⁰⁹.

Este ancestro común universal es, en aras de precisión, un último ancestro común universal. El ancestro común de toda la vida presente en la Tierra, conocido como LUCA¹¹⁰, era una población de organismos y no un solo individuo. LUCA no fue la primera vida en la Tierra. Fue el último antepasado de toda la vida presente en la Tierra. LUCA era una célula única compleja que había evolucionado a partir de formas de vida simples anteriores.

Probablemente hubo muchos organismos microscópicos que surgieron de la sopa de productos químicos en la Tierra primordial, pero solo el material genético de LUCA ha sobrevivido en los organismos actuales de la Tierra. Todo el resto se extinguío hace mucho tiempo. ¿Por qué? Puede ser que por la misma razón por la que se tendrían dificultades para reconstruir una sociedad tecnológica si la sociedad tecnológica actual falla: todos los recursos fáciles se agotan, las buenas áreas de asentamiento se agotan y todos los espacios disponibles se llenan de competidores. Cualquier nueva forma de vida tendría que lidiar con toda la vida que ya existe y los cambios que han hecho en el medio ambiente. Morirían antes de vivir realmente¹¹¹.

¹⁰⁹ Por supuesto, más allá del procedimiento formal, tampoco resulta muy lógico, a la luz del marco teórico de la biología misma, que la vida provenga de más de un ancestro.

¹¹⁰ Por su nombre en inglés, *Last Universal Common Ancestor* (Último Ancestro Común Universal).

¹¹¹ Esta argumentación es el fruto de sintetizar la discusión (Quora, 2022).

(Haldane, The Origin of Life, 2022, pág. 11), así fue como llegaron a existir las primeras plantas, que vivían cerca de la superficie del océano y producían alimento con la ayuda de la luz solar (OTOS), así como lo hacen sus descendientes en la actualidad. Muchos biólogos piensan, señala Haldane, que los animales descendemos de ellos¹¹². Entre las moléculas del cuerpo humano existen varias cuya estructura se asemeja a la de la clorofila, el pigmento verde con el que las plantas aprovechan la luz solar para sus necesidades¹¹³. Estas moléculas similares a la clorofila son usadas por el ser humano para fines diferentes al fin de la clorofila en las plantas, por ejemplo, para transportar oxígeno. Señala Haldane (p. 11) que, para la época, aún no se sabía si las plantas son, por así decirlo, descendientes de la clorofila o simplemente primos. Pero, continúa el biólogo marxista hindú, dado que el oxígeno liberado por las primeras plantas debe haber matado a la mayoría de los demás organismos, la primera opinión es la más plausible¹¹⁴.

II.VII. Verificaciones Experimentales Clásica: Experimento Miller-Urey (1952) y afines

Como se verifica en (Miller, 1953, págs. 528-529), Stanley L. Miller, trabajando con su profesor Harold Urey, diseñó un dispositivo para simular el ciclo del agua en la Tierra primordial. El dispositivo contenía agua con la finalidad de simular al antiguo océano, la cual era suavemente hervida para imitar la evaporación.

Figura 1

¹¹² Respecto a esto debe señalarse que, según (University of Hawai'i at Mānoa, 2022), efectivamente el ser humano es un resultado evolutivo de las plantas.

¹¹³ Las plantas verdes tienen la capacidad de producir su propio alimento. Lo hacen a través de un proceso llamado OTOS, que utiliza un pigmento verde llamado clorofila (a través de este pigmento absorbe la luz solar). Un pigmento es una molécula que tiene un color particular y puede absorber luz en diferentes longitudes de onda, dependiendo del color. Véase (National Geographic, 2022).

¹¹⁴ Hasta la fecha, el relato oficial de la historia evolutiva de las plantas converge con lo planteado por Haldane. Véase (Wikipedia, 2022).

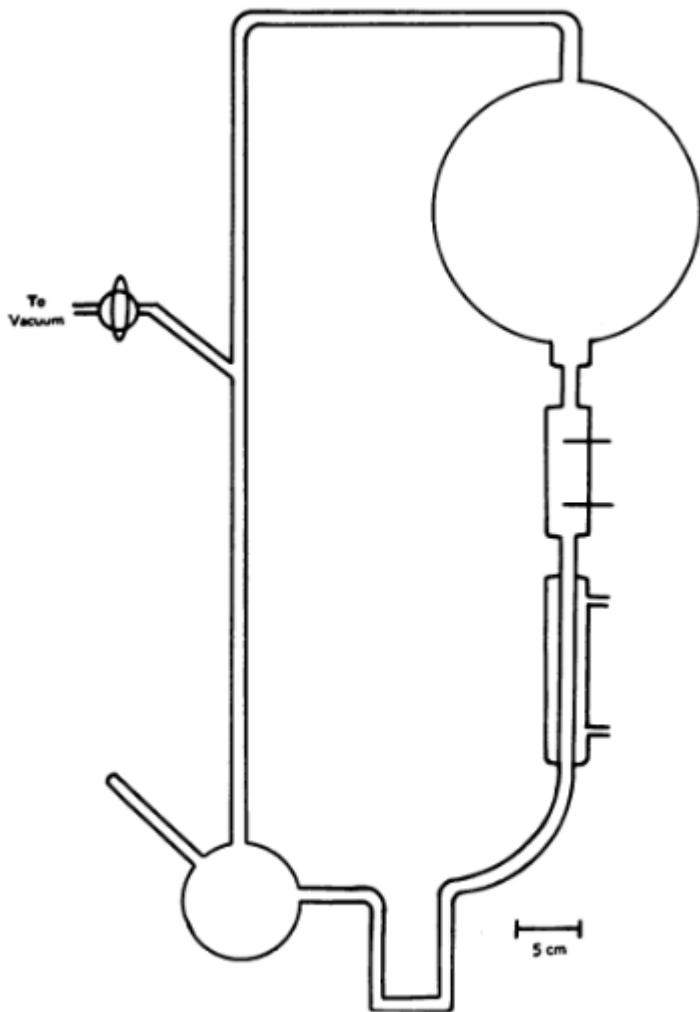


FIG. 1.

Fuente: (Miller, 1953, pág. 528).

Junto con el vapor del agua, escogieron para simular los gases de la atmósfera primigenia metano, hidrógeno, dióxido de carbono y amoniaco; esta elección obedeció a que, para la época, se pensaba que eran probablemente abundantes en la Tierra antigua¹¹⁵. Además, añadieron un condensador para enfriar el ambiente¹¹⁶, permitiendo con ello que se formaran gotas (sobre las que tanto

¹¹⁵ Este pensamiento provenía de lo planteado por Oparin y Haldane, por supuesto.

¹¹⁶ Simulando con ello el descenso gradual de temperatura ya descrito en esta investigación con base en lo planteado por Oparin y Haldane.

énfasis hizo Oparin) que cayeran en forma de lluvia al “océano primigenio”, *i.e.*, al agua que lo simulaba contenida en el dispositivo.

Puesto que se consideraba que la Tierra primordial tenía muchas fuentes de energía (por ejemplo, la luz del sol¹¹⁷, el calor geotérmico y tormentas eléctricas), añadieron cargas eléctricas para simular las tormentas eléctricas que fueron fuente energética del océano primigenio¹¹⁸.

El objetivo del experimento no era recrear la vida, sino probar la primera etapa de lo planteado por Oparin, es decir, que las moléculas químicas más simples pueden dar lugar a las moléculas complejas que componen a los seres orgánicos. Es lo que en esta investigación se aborda en la sección II.I.¹¹⁹

Después de una semana de duración del experimento, el océano simulado se tornó rosada después del primer día y, tras una semana, la solución se tornó de un color “rojo profundo y turbia”¹²⁰. Un análisis minucioso del contenido molecular de ese líquido rojo profundo y turbio reveló a Miller que, a través de una serie de reacciones, muchas moléculas complejas fueron generadas intrínsecamente en la “sopa primigenia” de simulación¹²¹. Entre tales moléculas se encontraban aminoácidos, moléculas fundamentales para el surgimiento de la vida, que antes

¹¹⁷ Que, como se mostró que señalaba Haldane, se supone más brillante que en la actualidad.

¹¹⁸ Esto se debió a que, por un lado, Oparin y Haldane creían que el rol energético fundamental lo había desempeñado la energía eléctrica de las nubes; por otro lado, de alguna manera, la energía geotérmica y el calor del sol estaban implícitos, al menos parcialmente, en la ebullición del agua.

¹¹⁹ Como se señala en (Hernández, Williams, & Cochran, 2014, pág. 2839), los hidrocarburos son biomonomeros, como las proteínas son, según (Numata, 2020, págs. 1043, 1053), biopolímeros.

¹²⁰ Señala Miller que “La mayor parte de la turbidez se debió a la sílice coloidal del vidrio. El color rojo se debe a los compuestos orgánicos adsorbidos en la sílice. También están presentes compuestos orgánicos amarillos, de los cuales solo una pequeña fracción puede extraerse con éter, que forman una raya continua que se estrecha en el fondo en un cromatograma unidimensional corrido en ácido butanol-acético.” (p. 528). El cromatograma es un registro gráfico bidimensional obtenido en un medio absorbente (separación de uno o más componentes de una mezcla gaseosa con la ayuda de un solvente líquido el cual forma solución), que muestra la separación de sustancias mediante una cromatografía (técnica de laboratorio para la separación de una mezcla en sus componentes).

¹²¹ En la teoría de los sistemas complejos se le conoce a este fenómeno como *emergencia*. La emergencia ocurre cuando se observa que una entidad tiene propiedades que sus partes no tienen por sí mismas, propiedades o comportamientos que emergen solo cuando las partes interactúan en un todo más amplio. En este caso se hace referencia al segundo significado de la categoría expuesta.

de eso se pensaba que sólo podían ser sintetizadas dentro de los cuerpos de los seres vivos¹²². Así fue como nació el campo de investigación científica actualmente conocido como *química prebiótica*.

Figura 2

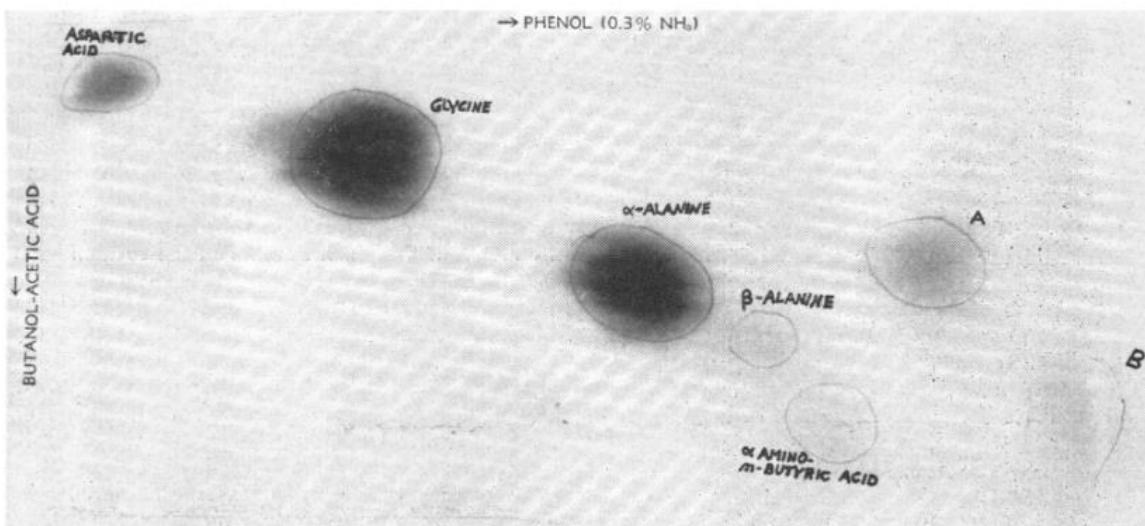


FIG. 2.

Fuente: (Miller, 1953, pág. 529).

A falta de registros fósiles y máquinas del tiempo, no se sabe si los gases usados por Miley y Urey realmente eran los más comunes en la Tierra primigenia. Por ello, muchos nuevos experimentos se han hecho desde entonces, resultando de ellos una conclusión común: que las moléculas complejas que permitieron la gestación de la vida pueden formarse en una amplia variedad de entornos, con diferentes productos químicos iniciales y diferentes fuentes de energía.

En este sentido, señala (Bada, 2013, pág. 2188), que el rol de la energía eléctrica ha sido sustituido por el rol de la energía geotérmica proveniente de los volcanes.

Figura 3

¹²² Precisamente esto es el fundamento de lo planteado por Oparin.

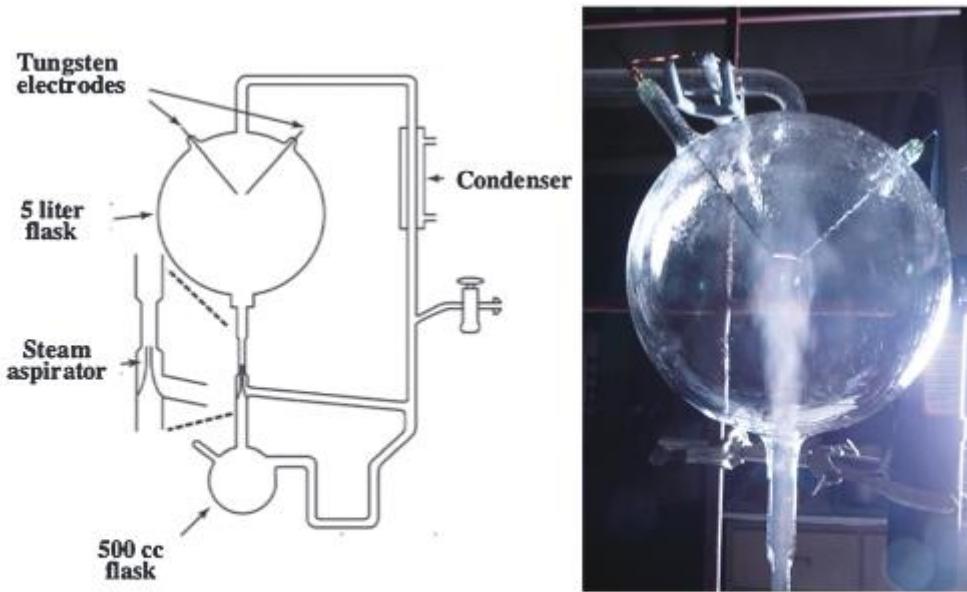


Fig. 1 Left: Diagram of the “volcanic” apparatus (taken in part from ref. 83); Right: photograph of the “volcanic” apparatus during a spark discharge experiment (courtesy David Brigg BBC Scotland).

Fuente: (Bada, 2013, pág. 2188).

Los resultados obtenidos muestran que con energía geotérmica emerge una mayor abundancia de aminoácidos, tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 4

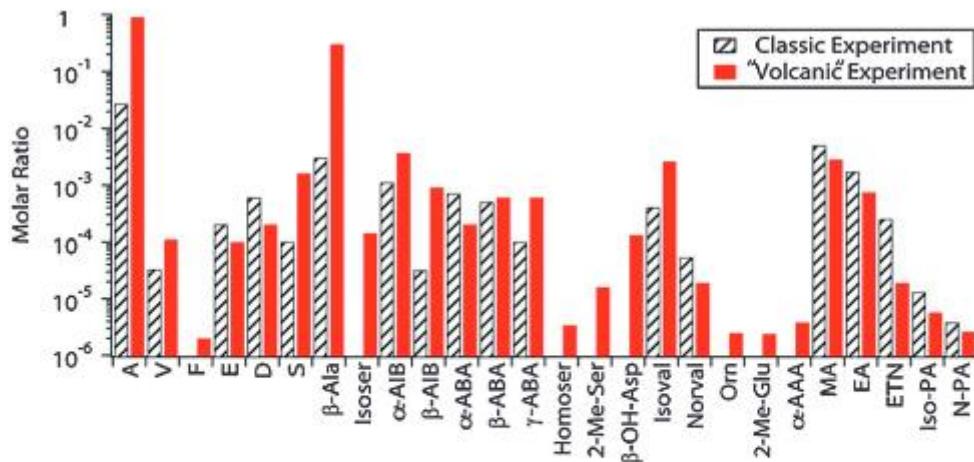


Fig. 2 Abundances (relative to glycine = 1) of amino acids produced in the “volcanic” spark discharge experiments taken from ref. 10. Amino acids are designated by either their one-letter abbreviation (for protein amino acids), or the abbreviations are given in ref. 10.

Fuente: (Bada, 2013, pág. 2188).

Lo anterior se justifica, como señala (Bada, 2013, pág. 2190), porque en la Tierra moderna, los sistemas volcánicos tipo arco¹²³ de islas de puntos calientes¹²⁴, como las islas de Hawái, tienen edades que pueden oscilar entre varios cientos y varios millones de años. Hoy en día, estas islas se sumergen gradualmente a medida que los movimientos de las placas las transportan a aguas más profundas y su vida geológica relativamente larga y su aislamiento ofrecen una oportunidad única para estimar las tasas de evolución molecular. En la Tierra primordial, antes de la aparición de la tectónica de placas moderna, los sistemas volcánicos de arco insular¹²⁵ podrían haber tenido vidas incluso más largas antes de sumergirse bajo la superficie del océano. Por lo tanto, los sistemas volcánicos de arco insular

¹²³ Un sistema volcánico de tipo arco es una cadena de volcanes formados sobre una placa en subducción, colocados en forma de arco vistos desde arriba. Una placa de subducción es un proceso geológico en el que la litosfera oceánica se recicla en el manto de la Tierra en los límites convergentes. Por su parte, un límite convergente (o límite destructivo) es un área de la Tierra donde chocan dos o más placas litosféricas.

¹²⁴ Los puntos calientes son lugares volcánicos que, creen los geólogos, están alimentados por un manto subyacente que es anormalmente caliente en comparación con el manto circundante.

¹²⁵ Localizados en islas insulares, es decir, las islas insulares eran una cadena extendida de islas volcánicas que formaban un arco en lo que ahora es el Océano Pacífico durante las eras Paleozoica y Mesozoica.

podrían haber proporcionado un tiempo significativo para que tuviera lugar la evolución química, conduciendo primero a una mayor complejidad molecular y luego, finalmente, a entidades autorreplicantes primitivas. Dada la gran cantidad de tales sistemas en la Tierra primitiva, es concebible que el origen de la vida haya tenido lugar en varios lugares, y en última instancia, una entidad viviente compitió con las demás para convertirse en el antepasado del mundo moderno de proteínas de ADN¹²⁶ que en la actualidad conforman a todos los seres vivos¹²⁷.

Como señala (Bada, 2013, pág. 2190), también se han llevado a cabo experimentos considerando la atmósfera reducida de la Tierra primitiva, la cual se supone contenía ácido sulfídrico¹²⁸. Los resultados, en términos de la emergencia de aminoácidos, se presentan a continuación.

Figura 5

¹²⁶ Que es lo que supone Haldane cuando señala que el ancestro común evolucionó lo suficientemente rápido para sacar ventaja de sus competidores.

¹²⁷ Señala el último autor citado, en el mismo lugar, que los modelos de la Tierra primitiva tienden a hacer descripciones globales del entorno prebiótico, pero los esquemas más realistas deberían incluir el papel de las localidades ricas en energía y los entornos locales en las síntesis químicas prebióticas.

¹²⁸ Esto se supone porque en el experimento de Miller, como se verifica en (Miller, 1953, pág. 529), se encontró ácido sulfúrico. Puesto que si se evapora el ácido sulfúrico bajo determinadas condiciones se obtiene hidrógeno sulfídrico, se asume que la atmósfera primitiva contenía cantidades importantes de hidrógeno sulfídrico.

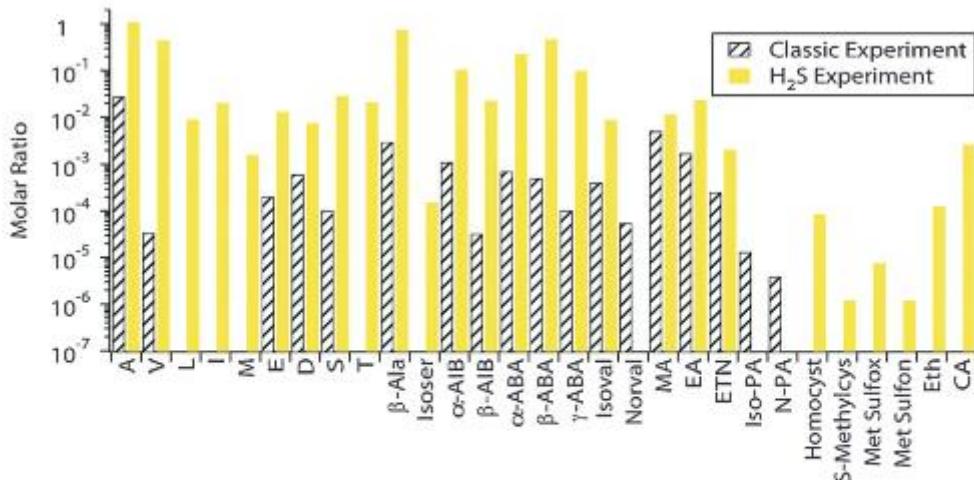


Fig. 5 Abundances (relative to glycine = 1) of amino acids produced in the spark discharge experiment with H_2S taken from ref. 11. Amino acids are designated by either their one-letter abbreviation (for protein amino acids), or the abbreviations are given in ref. 11.

Fuente: (Bada, 2013, pág. 2190).

También se han realizado experimentos versados sobre síntesis de prebióticos en una atmósfera neutra de CO_2/N_2 y el papel del pH en la producción de aminoácidos, con la finalidad de considerar de forma más específica, a nivel experimental, las condiciones concretas de la Tierra primigenia. Como señala (Bada, 2013, pág. 2191), en la síntesis de aminoácidos de Strecker¹²⁹ (figura 6), el rendimiento global (de la síntesis de tales aminoácidos) depende del pH al que se tampona¹³⁰ la fase acuosa. Los valores que van de neutros a ligeramente básicos

¹²⁹ La síntesis de Strecker es un procedimiento de dos pasos para la síntesis de aminoácidos. Comienza con la adición de ion cianuro a una imina, formando un nitrilo alfa-amino. Luego se hidroliza (por ejemplo, con un ácido fuerte) para dar un alfa-aminoácido. Al variar el grupo R en la imina, se puede producir una amplia variedad de aminoácidos de esta manera. El grupo R generalmente significa un grupo alquilo. Ejemplos de grupos alquilo son metilo (-CH₃), etilo (-CH₂CH₃), propilo (-CH₂CH₂CH₃), butilo (-CH₂CH₂CH₂CH₃), etc.; un grupo funcional es un sustituyente o resto en una molécula que provoca las reacciones químicas características de la molécula. Los grupos R son una forma de representar una clase de compuestos orgánicos. Por ejemplo, los alcoholes se representan como R-OH, donde OH es un grupo funcional. Los grupos R involucran átomos que no son de carbono ni de hidrógeno, según la práctica común, aunque técnicamente no debería ser así. La realidad, como enseñó Marx, es, en última instancia, concreta.

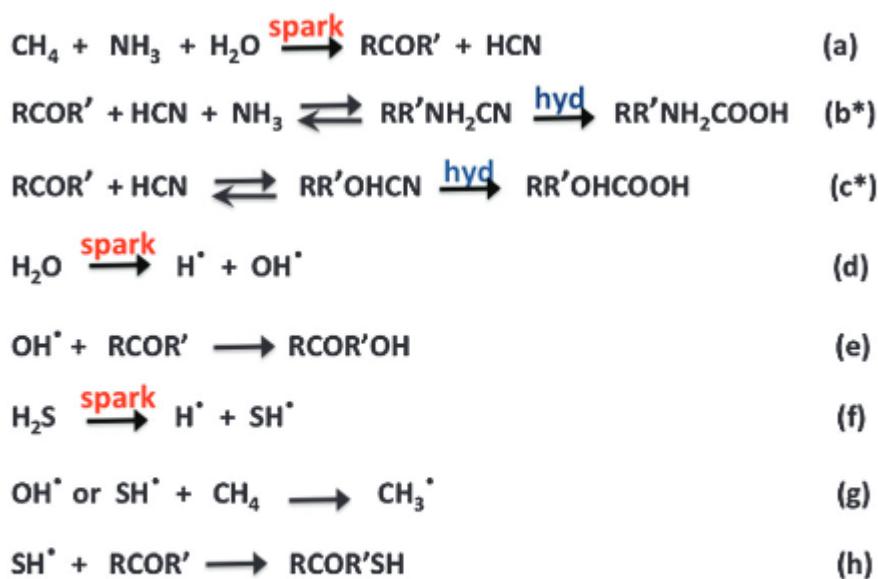
¹³⁰ Significa el nivel de pH al que una solución acuosa se convierte en una mezcla (un material formado por dos o más sustancias químicas diferentes que no están químicamente unidas) de un

favorecen la síntesis de aminoácidos por el mecanismo de Strecker, mientras que los valores de pH más bajos favorecen la síntesis de hidroxiácidos por el mecanismo de la cianohidrina. Así, se ha replicado el experimento de Miller-Urey en términos de tales condiciones de síntesis de aminoácidos y se obtuvieron resultados congruentes con el experimento original, tal como se muestra a continuación. Síntesis de prebióticos en una atmósfera neutra de CO₂/N₂ y el papel del pH en la producción de aminoácidos.

Usando una mezcla de gas CO₂ – N₂ y una solución experimental de descarga de chispa no-tamponada, el pH durante el transcurso del experimento decae a < 3. Las descargas eléctricas que actúan sobre mezclas de gases CO₂ + N₂ sobre agua líquida, y sobre mezclas de N₂ + H₂O (g), producen grandes cantidades de HNO₂ y HNO₃ (junto con cantidades menores de amoníaco e hidracina, H₂NNH₂). Esto sugiere que el vapor de H₂O presente en el montaje experimental sufre una desproporción hacia los radicales hidrógeno e hidroxilo (fórmula d, figura 6), este último, a su vez, actúa como agente oxidante (el peróxido de hidrógeno es probablemente el agente oxidante).

Figura 6

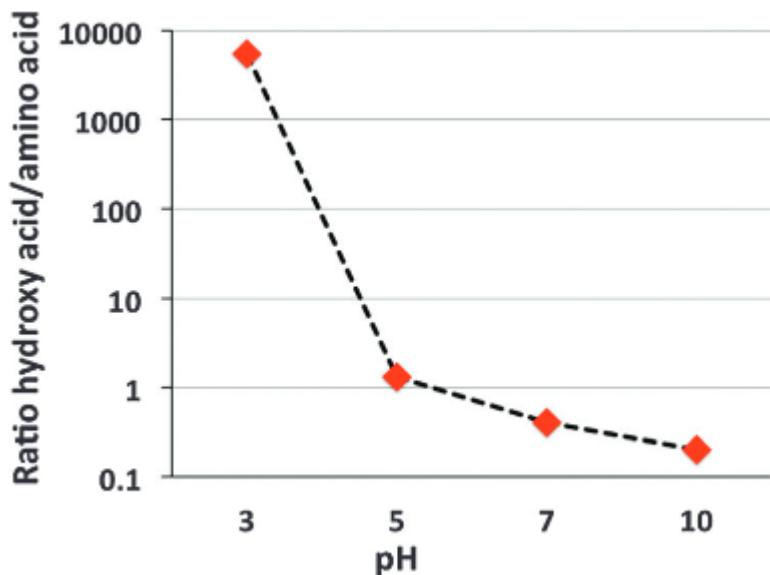
ácido débil (la tendencia de un ácido, simbolizada por la fórmula química HA, a disociarse en un protón, H⁺, y un anión, A⁻) y su base conjugada [compuesto químico que se forma cuando un ácido cede un protón (H⁺) a una base, es decir, es una base a la que se le añade un ion hidrógeno, ya que en la reacción inversa pierde un ion hidrógeno], o viceversa.



Scheme 1 Based on ref. 16 and 84–87. The symbol * denotes reactions that take place in aqueous solution. All others are assumed to be gas phase reactions.

Fuente: (Bada, 2013, pág. 2188).

Figura 7



Fuente: (Bada, 2013, pág. 2191).

Así, puede enunciarse, en términos del materialismo dialéctico, que el ser humano está formado por moléculas grandes construidas a partir de moléculas más pequeñas producidas a través de la digestión de moléculas más grandes para formar esas moléculas más pequeñas que luego se usan para formar las moléculas más grandes requeridas usando una plantilla (la codificación genética contenida en el ADN).

II.VIII. Nueva Verificación Experimental: Análisis de sistemas prebióticos proliferantes (2021)

Hasta el 24 de septiembre de 2021, según (Matsuo & Kurihara, 2021, págs. 1-2), no se había realizado ningún modelo¹³¹ de un sistema prebiótico proliferante porque se requieren diferentes condiciones para la generación de polímeros (*i.e.*, biomoléculas) y el autoensamblaje (la forma que la autoorganización, característica de los sistemas complejos, toma en el contexto de la construcción de moléculas)¹³². Según el escenario de abiogénesis, una CD¹³³ se forma a partir de moléculas orgánicas mediante separación de fases líquido-líquido (LLPS) y resulta principalmente del ensamblaje espontáneo de moléculas con carga opuesta

¹³¹ Con esto los autores se refieren a la construcción en un laboratorio de una protocélula modelo, que es un sistema supramolecular artificial, que expresa las propiedades esenciales de la vida

¹³² Lo que los autores buscan implicar con esta afirmación es que hasta antes de su investigación no se había realizado una verificación experimental de la teoría Oparin-Haldane mediante la formación de polímeros a partir de monómeros y de ensamblajes moleculares a partir de polímeros, a pesar de que los fenómenos antes descritos son propiedades químicas comunes en la naturaleza que se basan en interacciones tales como enlaces covalentes y fuerzas intermoleculares. Esto implica una verificación experimental más robusta porque la replicación del fenómeno es elaborada sujeta explícitamente a un marco teórico más amplio y orgánico que el de Miller-Urey y afines, construido a la luz de los últimos avances de la ciencia en las varias ramas implicadas en el análisis del surgimiento de la vida (avances que han permitido precisar los elementos de análisis ya conocidos sobre los procesos involucrados en el fenómeno estudiado, así como aportar otros nuevos, con el refinamiento de los instrumentos de medición que tales descubrimientos implican), lo que les ha permitido plantear un experimento teórico y empírico autocontenido (como se mostrará más adelante en palabras de los autores) y que simula de forma completa el fenómeno del surgimiento de la vida, entre ellos determinados aspectos acaecidos en el territorio de los sistemas complejos (implicados en los procesos de autoensamblaje y emergencia); tal completitud debe entenderse como tal al menos en términos generales, puesto que evidentemente “el diablo está en los detalles”, como se dice popularmente. Por ello, aunque no sea “la palabra definitiva”, este estudio es a nivel de verificación teórica-experimental un notable salto cualitativo.

¹³³ Gota de Coacervado, abreviado CD por los autores por su nombre en inglés.

(unidad y lucha de contrarios entre moléculas del mismo tipo) o de polímeros hidrófobos (unidad y lucha de contrarios entre determinados tipos de polímeros - hidrófobos- y el agua) y, en particular, de polímeros u oligómeros prebióticos.

Sin embargo, aún no se ha construido ningún CD que induzca interacciones entre sus componentes que conduzcan a la autorreproducción, es decir, la reproducción que tiene lugar dentro del límite cerrado de la estructura misma (por ello).

Otros estudios, señalan Matsuo y Kurihara, han generado un renovado interés en el papel de los CD en los orígenes de la vida, quienes han demostrado características similares a las de la vida celular, como la comunicación y las interacciones depredador-presa en poblaciones de CD.

En un estudio previo al realizado por Matsuo y Kurihara, señalan los autores, ha habido un informe de un CD que expresa una función de orden superior, que es una función que no se expresa en una sola molécula, sino que se expresa a través de interacciones intermoleculares¹³⁴. Las funciones de orden superior afectan las propiedades de los agregados moleculares, entre otras cosas, encapsulando los principales constituyentes de los organismos vivos (es decir, ARN, lípidos y péptidos). En este estudio, los autores identifican las condiciones adecuadas para la generación simultánea de péptidos¹³⁵ y el autoensamblaje, y muestran cómo se podría crear una gota basada en péptidos proliferantes (*i.e.*, péptidos que se multiplican abundantemente en formas similares) mediante el uso de tioésteres de

¹³⁴ Precisamente las leyes del materialismo dialéctico establecen que la esencia de los fenómenos reside en sus relaciones fundamentales concretas que lo caracterizan y no en la forma concreta en que tales relaciones adoptan.

¹³⁵ Los péptidos son un tipo de moléculas formadas por la unión de varios aminoácidos mediante enlaces peptídicos. El enlace péptido es un enlace de tipo amida (compuesto que se forma conceptual o químicamente por el reemplazo del hidroxilo de un oxácido por un sustituyente amino -miembro del grupo funcional derivado del amoníaco o alguno de sus derivados alquilados por eliminación de uno de sus átomos de hidrógeno-) entre el grupo amino (-NH₂) de un aminoácido (AA) y el grupo carboxilo (-COOH) de otro aminoácido. Los péptidos y las proteínas están formados por la unión de aminoácidos mediante enlaces peptídicos.

aminoácidos sintetizados como monómeros prebióticos¹³⁶. Oligopéptidos¹³⁷ generados a partir de los monómeros formados espontáneamente¹³⁸ en gotas a través de la separación de fases líquido-líquido en agua. Las gotas de coacervado (CD, de ahora en adelante, por su nombre en inglés)¹³⁹ experimentaron un ciclo de división de crecimiento constante mediante la adición periódica de monómeros a través de la autorreproducción autocatalítica¹⁴⁰. El enriquecimiento heterogéneo de ARN y lípidos dentro de las gotas permitió que el ARN protegiera la gota de la disolución por los lípidos¹⁴¹. Estudios previos de fusión y división de ensamblajes moleculares sin autorreproducción, señalan los autores en el lugar referido, han reportado la importancia de los estados de no-equilibrio. Sin embargo, pocos estudios han informado sobre la autorreproducción recursiva de ensamblajes supramoleculares en respuesta a estímulos periódicos porque los ensamblajes metaestables tienden a moverse hacia el equilibrio y, como se planteó antes, los

¹³⁶ Aquí el proceso de síntesis se lleva a cabo en orden inverso al que la teoría Oparin-Haldane supone (que es de monómeros prebióticos a tioésteres de aminoácidos, que refleja su orden de aparición histórica). Esto, presumiblemente, lo hacen con el fin de obtener las estructuras primigenias planteadas por Oparin y Haldane y en alguna medida condicionar así la convergencia posterior de los monómeros prebióticos a tioésteres de aminoácidos.

¹³⁷ Un oligopéptido es una molécula que consta de dos a veinte aminoácidos y puede incluir dipéptidos, tripéptidos, tetrapéptidos y pentapéptidos. Algunas de las principales clases de oligopéptidos naturales incluyen aeruginosinas, cianopeptolinas, microcistinas, microviridinas, microgininas, anabaenopeptinas y ciclamidas. Las microcistinas se estudian mejor debido a su impacto potencial de toxicidad en el agua potable.

¹³⁸ En realidad, la espontaneidad no existe, sino la emergencia, concepto explicado en la sección II.IV de esta investigación.

¹³⁹ Como señalan (Matsuo & Kurihara, 2021, pág. 2), los CD han demostrado, según investigaciones, características similares a las de la vida celular, como la comunicación e incluso interacciones depredador-presa en poblaciones de CD.

¹⁴⁰ Como es el caso con la formación de CD, la autorreproducción autocatalítica es una propiedad crucial de las protocélulas que proliferan constantemente y se ha demostrado para estructuras supramoleculares como balsas de origami de ADN, micelas y vesículas (ambas de carácter lipídico) en un medio acuoso. Véase (Matsuo & Kurihara, 2021, pág. 2). Con “balsas de origami de ADN” se hace referencia a la creación sintética (en laboratorio) de estructuras tridimensionales de ADN que sirven para la construcción de nanorobots y otras estructuras para estudios de fluorescencia, interacciones enzima-sustrato, acciones de motores moleculares, varios estudios de luz y otras energías, así como también para la administración de fármacos (Spencer, 2019).

¹⁴¹ Como se ha mostrado y se seguirá mostrando en esta investigación, la perfecta homogeneidad como base de partida del desarrollo pertenece rigurosamente al campo formal, como una simplificación (y, en algunos casos, vulgarización) de la realidad. La heterogeneidad es, en mayor o menor medida, el fundamento del desarrollo y evolución de lo inorgánico y lo orgánico, así como de la existencia en general.

estados de no-equilibrio desempeñan un rol relevante. En las condiciones actuales, la solidez de los organismos celulares (la capacidad de utilizar mecanismos de respuesta intrínsecos para mantener un estado casi constante frente a estímulos externos) requiere no solo la autorreproducción sino también la recursividad¹⁴² en condiciones de estimulación cíclica¹⁴³. Estos resultados proporcionan construcciones experimentales para la investigación de los orígenes de la vida y abren caminos en el desarrollo de materiales basados en péptidos.

¹⁴² Un proceso recursivo es aquel que se aplica de nuevo al resultado de haberlo aplicado previamente. Aquí se hace referencia a las condiciones de estimulación cíclica (de estimular los cambios moleculares con cierta periodicidad) deben ser recursivas, es decir, que deben existir condiciones de estimulación cíclica que se apliquen iterativamente a los procesos descritos o, lo que es lo mismo, que las condiciones ya descritas se repitan una y otra vez.

¹⁴³ En (Nabi, I.XIII. Principio Monista de Complementariedad (o modo monista complementario de descripción) (BORRADOR), 2022, pág. 11), se plantea que el modelo cosmológico compatible con la interpretación dialéctica-materialista de la dualidad onda-partícula es el modelo del universo cíclico, que implica un proceso continuo del Big Bang al Big Crunch y viceversa, en donde, partiendo de un Big Bang, el Big Crunch de la iteración t (que ocurre el final de dicha iteración) representa el Big Bang de la iteración $t + 1$ y así sucesivamente. Un mes antes, aunque sin conocimiento de ello para ese momento de mi parte, (Andrei, Ijjas, & Steinhardt, 2022, págs. 3-4), Después de casi 13,800 millones de años de expansión ininterrumpida, el universo pronto podría detenerse y luego comenzar a contraerse lentamente. Aunque la energía oscura constituye aproximadamente el 70% de la masa-energía total del universo, sus propiedades siguen siendo un misterio total. Una teoría popular al respecto, presentada por Albert Einstein, es que la energía oscura es una constante cosmológica, una forma de energía inmutable que está entrelazada en el tejido del espacio-tiempo. Si ese es el caso, y la fuerza ejercida por la energía oscura nunca puede cambiar, entonces el universo debería continuar expandiéndose para siempre. Sin embargo, una teoría en competencia sugiere que la energía oscura no necesita ser constante para encajar con las observaciones de la expansión cósmica pasada. Más bien, la energía oscura puede ser algo llamado quintaesencia, un campo dinámico que cambia con el tiempo. La pregunta que se desea responder es: ¿el universo en expansión durará para siempre? La investigación sugiere que el universo podría empezar a encogerse en 100 millones de años. Después de casi 13,800 millones de años de expansión ininterrumpida, el universo pronto podría detenerse y luego comenzar a contraerse lentamente. La investigación, para obtener tales resultados, modela la naturaleza de la energía oscura. Así, aunque la expansión del universo se ha estado acelerando durante miles de millones de años, la fuerza repelente de la energía oscura puede estar debilitándose. Según el modelo, la aceleración del universo podría terminar rápidamente en los próximos 65 millones de años. Luego, dentro de 100 millones de años, el universo podría dejar de expandirse por completo. A partir de ahí, puede pasar una de dos cosas. O el universo se contrae hasta colapsar sobre sí mismo en un gran crujido, poniendo fin al espacio-tiempo tal como lo conocemos, o el universo se contrae lo suficiente como para volver a un estado similar a sus condiciones originales, y ocurre otro Big Bang. En la investigación de Nabi antes citada se concibe como más probable, por motivos filosóficos y lógicos, el segundo escenario. Lo anterior muestra el carácter cíclico fundamental de la existencia en general.

Por ejemplo, la división de las células cianobacterianas¹⁴⁴ está sincronizada con el ciclo de luz y oscuridad asociado con la rotación de la Tierra, y las bacterias en forma de L¹⁴⁵ proliferan por la desestabilización de la membrana provocada por la producción excesiva de membrana y las perturbaciones repetidas del medio ambiente, por ejemplo, el flujo de agua. La autorreproducción y los estímulos periódicos pueden haber jugado papeles cruciales que permitieron la proliferación recursiva (es decir, el crecimiento y la división a través de la autorreproducción) de ensamblajes supramoleculares prebióticos en la Tierra primitiva. La proliferación de ensamblajes moleculares a través de la autorreproducción para formar ensamblajes supramoleculares sofisticados es una propiedad biológica específica de los organismos y no se ha observado en virus ni en replicadores moleculares.

La formación de polímeros a partir de monómeros y de ensamblajes moleculares a partir de polímeros son propiedades químicas comunes en la naturaleza y se basan en interacciones tales como enlaces covalentes y fuerzas intermoleculares. Sin embargo, la creación de CD en proliferación a través de tales mecanismos no se ha logrado en absoluto. El problema de imitar este paso de la evolución química en los orígenes de la vida nunca se ha resuelto experimentalmente durante los aproximadamente cien años desde que se propuso por primera vez.

En principio, un CD puede autorreproducirse solo si se cumplen las condiciones para la reproducción tanto del propio CD como de los péptidos que son los componentes básicos del CD. En estudios previos, los péptidos que son constituyentes de las CD se han producido de manera elaborada mediante síntesis orgánica en condiciones volcánicas, biosíntesis o síntesis en fase sólida. A

¹⁴⁴ Son un filo de bacterias Gram-negativas [son bacterias que no retienen la tinción de cristal violeta (un colorante de triarilmelano utilizado como tinción histológica y en el método de Gram para clasificar bacterias) que se utiliza en el método de tinción de Gram (la tinción es una técnica utilizada para mejorar el contraste en las muestras, generalmente a nivel microscópico) de diferenciación bacteriana; el método de Gram es el método de tinción utilizado para clasificar las especies bacterianas en dos grandes grupos: bacterias grampositivas (son bacterias que dan un resultado positivo en la prueba de tinción de Gram) y bacterias gramnegativas] que obtienen energía a través de la fotosíntesis.

¹⁴⁵ Son formas de crecimiento derivadas de diferentes bacterias.

continuación, los péptidos producidos han formado las CD en condiciones acuosas suaves¹⁴⁶.

En la investigación citada, para generar una CD proliferante a través de la polimerización prebiótica, se construyó una CD autocatalítica y autorreproductiva a través de LLPS¹⁴⁷. El procedimiento realizado por los autores se inspiró en la hipótesis del “mundo de los tioésteres” de Duve, que argumenta que los péptidos prebióticos podrían haberse generado a partir de tioésteres de aminoácidos en condiciones acuosas suaves¹⁴⁸. Los investigadores pudieron formar gotas

¹⁴⁶ Con base en la discusión localizada en (ResearchGate, 2018), a pesar de que no existe un criterio estricto para definir el término “condiciones de reacción suaves”, existe un consenso general a considerar tal término como condiciones de reacción fácilmente adquiridas y manejables.

¹⁴⁷ Como se señala en (Peng, Hsu2, & Wu, 2021, pág. 3766), la separación de fases líquido-líquido (LLPS) ha surgido como un mecanismo que se ha utilizado para explicar la formación de orgánulos conocidos (por ejemplo, nucléolos, cuerpos nucleares de leucemia promielocítica -PML NB-, etc.), así como otros condensados sin membrana (por ejemplo, matrices de nucleosomas, focos de daño en el ADN, centro de inactivación del cromosoma X -XCI-, paraspeckles, gránulos de estrés, proteasomas, autofagosomas, etc.). La formación de condensados sin membrana podría desencadenarse por proteínas que contienen dominios modulares o regiones intrínsecamente desordenadas (IDR) y ácidos nucleicos (desorden en el sentido definido en la sección III.I.XIII). Se ha demostrado que múltiples procesos biológicos que incluyen la transcripción, la organización de la cromatina, la inactivación del cromosoma X (XCI), el daño del ADN, la tumorigénesis, la autofagia, etc., utilizan el principio de LLPS para facilitar estos procesos. El LLPS regula estos numerosos procesos biológicos y su irrupción (la interrupción brusca del LLPS) podría causar la formación de enfermedades; de forma más específica, además de los procesos fisiológicos normales, se ha demostrado que la interrupción de LLPS está involucrada en el mecanismo tumorigénico. Así, existen fuertes indicios de que el LLPS desempeña un rol significativo en los procesos biológicos críticos de la célula, en la regulación de la fisiología celular normal y en la contribución a la tumorigénesis. Por tanto, su relevancia no sólo está relacionada con la comprensión del origen de la vida en la Tierra, sino también con otras aplicaciones biotecnológicas de alta relevancia para el bienestar humano.

¹⁴⁸ Entrando más en profundidad, se señala en (Reitner & Thiel, 2011, pág. 876) que en 1991, 1994 y 1995, Christian de Duve propuso un “mundo de tioéster” hadeoano (un eón hídico es un eón geológico de la historia de la Tierra que precede al Arcaico; comenzó con la formación de la Tierra hace unos 4,600 millones de años y finalizó, según la definición de la Comisión Internacional de Estratigrafía -ICS-, hace 4,000 millones de años) que debería haber precedido al siguiente mundo de ARN. Las moléculas de tioéster probablemente eran muy comunes en la “sopa orgánica primordial” propuesta. El “Mundo del Tioéster” representa una hipotética etapa muy temprana en el origen de la vida que podría haber proporcionado el marco energético y catalítico de un conjunto protometabólico de reacciones químicas primitivas, como en la transacción de grupos moleculares y en las reacciones Redox (Redox, es la abreviatura que hace referencia a las reacciones de oxidación-reducción, las cuales incluyen un gran número de transformaciones químicas, con especial importancia práctica, como por ejemplo, la oxidación de los metales al contacto con el aire, la combustión de diversas sustancias, los procesos electrolíticos, la producción energética de las pilas, etc.). Los tioésteres probablemente estuvieron involucrados en la formación de fosfatos ricos en

simultáneamente a través de LLPS y generar péptidos mediante el uso de un derivado de cisteína tioesterificado diseñado y sintetizado como precursor de monómero para la oligomerización espontánea¹⁴⁹ de un tioéster de aminoácido en condiciones acuosas suaves. Un suministro continuo de un precursor de monómero que mantuvo las CD formadas por LLPS en un estado de no-equilibrio permitió que las CD formadas por LLPS experimentaran un ciclo constante de crecimiento y división que mantuvo el tamaño de las CD mientras aumentaba el número de CD. También demostraron que las CD formadas por LLPS podían resistir la disolución por los lípidos y mantenerse cuando los ácidos nucleicos y los lípidos estaban presentes en ellas si los ácidos nucleicos concentrados se localizaban en el límite interno de la gota formada por LLPS con la ayuda de péptidos generados.

En general, pudieron demostrar cómo se podría formar una protocélula de CD en proliferación mediante la oligomerización de tioésteres de aminoácidos y funcionalizarse mediante oligonucleótidos (véase la siguiente figura), con toda la relevancia que se explicó ello implica a nivel teórico-experimental. Tal protocélula podría haber servido como enlace entre la química y la biología durante los orígenes de la vida. Este estudio puede servir para explicar la aparición de los primeros organismos vivos en la Tierra primordial de forma más robusta de lo que los experimentos de Milley-Urey y afines lo habían permitido.

energía a través de acilfosfatos y pirofosfatos como compuestos precursores. El enlace tioéster es un enlace de alta energía y probablemente los tioésteres tenían la misma función que el ATP como proveedor de energía. Con la ayuda de los tioésteres, los aminoácidos (AS) también podrían polimerizarse espontáneamente y formar las primeras proteínas simples. La “sopa orgánica primordial” fue enriquecida con AS puede ser proporcionada por condritas carbonáceas y cometas que chocaron con la tierra primitiva y la tierra primitiva también se caracterizó por una intensa actividad volcánica. Esta actividad volcánica generó H_2S y se espera que los tioles surjan rápidamente en estos fluidos ricos en H_2S . En experimentos de laboratorio, imitando las condiciones Hadeanas en la Tierra, fue posible obtener cisteamina, b-alanina y ácido pantónico conocido como ‘panteteína’ que es un precursor de la coenzima A (Keefe et al., 1995). El mundo del tioéster es una hipótesis importante en la comprensión de los procesos de vida tempranos que pueden explicar las reacciones esenciales esperadas en el mundo prebiótico.

¹⁴⁹ Se insiste aquí en que “espontáneo” es, en realidad, autoorganizado.

Figura 8

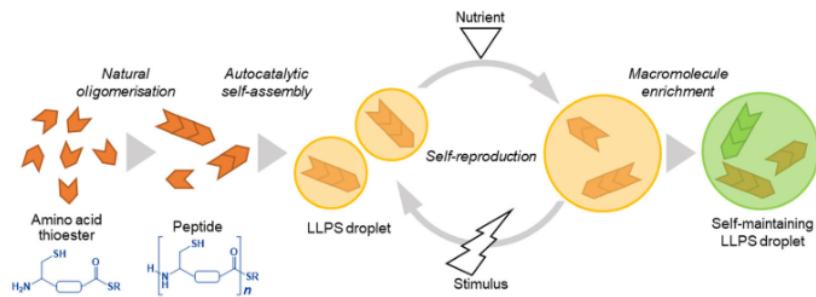


Fig. 1 Emergence of proliferating and self-maintaining droplet protocells. In the first stage, the amino acid thioesters are oligomerised to produce a peptide. Droplets are formed from the product by liquid–liquid phase separation (LLPS). Continuous addition of the amino acid thioesters as a source of nutrition and physical stimulus to the droplets allows the droplets to divide while they self-reproducing autocatalytically through the incorporation of nutrients. The robustness of the proliferating droplet reflects its ability to concentrate macromolecules such as nucleic acids.

Fuente: (Matsuo & Kurihara, 2021, pág. 3).

III. ANEXOS

“No existen las coincidencias, Delia, solamente la ilusión de coincidencia.”

V

V For Vendetta

III.I. GLOSARIO DE TÉRMINOS

III.I. I. Capas Electrónicas y Orbitales Atómicos

Como señala (Bruice, 2016, pág. 5), se puede pensar que los electrones en un átomo ocupan un conjunto de capas concéntricas que rodean el núcleo.

Figura 9

Table 1.1 Distribution of Electrons in the First Four Shells

	First shell	Second shell	Third shell	Fourth shell
Atomic orbitals	s	s, p	s, p, d	s, p, d, f
Number of atomic orbitals	1	1, 3	1, 3, 5	1, 3, 5, 7
Maximum number of electrons	2	8	18	32

Fuente: (Bruice, 2016, pág. 5).

Las capas electrónicas describen la órbita del electrón alrededor del núcleo teórico. La primera capa es la más cercana al núcleo, la segunda capa se encuentra más alejada del núcleo que la primera, la tercera más que la segunda y así sucesivamente con la tercera capa y capas de orden superior.

Las capas electrónicas que contienen dentro de sí subcapas se conocen como *orbitales atómicos*, los cuales poseen una forma y energía características y ocupan un volumen característico en el espacio. Cada capa contiene un orbital atómico *s*.

Cada capa de segundo orden u orden superior, adicionalmente a su orbital atómico *s*, contiene tres orbitales atómicos degenerados¹⁵⁰ *p*. La tercera capa, adicionalmente a su orbital atómico *s* y sus orbitales atómicos degenerados *p*, contiene cinco orbitales atómicos degenerados *d*. Finalmente, la cuarta capa y capas de orden superior, además de contener a *s*, *p* y *d*, tienen siete orbitales atómicos degenerados *f*.

Por el principio de exclusión de Pauli¹⁵¹, a lo sumo dos electrones pueden coexistir en un orbital atómico. Por tanto, las primeras cuatro capas, con 1, 4, 9 y 16 orbitales (respectivamente), pueden contener un máximo de 2, 8, 18 y 32 electrones. En el estudio de la química orgánica son de interés primario únicamente los átomos que poseen electrones en las primeras dos capas.

Los conceptos antes expuestos con relación a capas, subcapas y orbitales pueden ser resumidos en que una capa es el camino que siguen los electrones alrededor del núcleo de un átomo, una subcapa es la vía en la que un electrón se mueve dentro de una capa y un orbital es una función matemática que describe el comportamiento ondulatorio de un electrón. Además, a una capa se le asigna el

¹⁵⁰ Orbitales atómicos degenerados son aquellos orbitales, dentro de una capa electrónica, que poseen la misma energía.

¹⁵¹ El cual, según (Bruice, 2016, pág. 6), establece que no más de dos electrones pueden ocupar cada orbital atómico, y los dos electrones deben ser de espín [el espín es una forma intrínseca de momento angular (es la versión rotacional del momento angular, que es el producto de la masa por la velocidad de un objeto en un sistema dinámico) transportado por partículas elementales y, por lo tanto, por partículas compuestas (hadrones) y núcleos atómicos] opuesto.

número cuántico principal, a una subcapa se le asigna el número cuántico de momento angular y a un orbital se le asigna el número cuántico magnético.

Figura 10

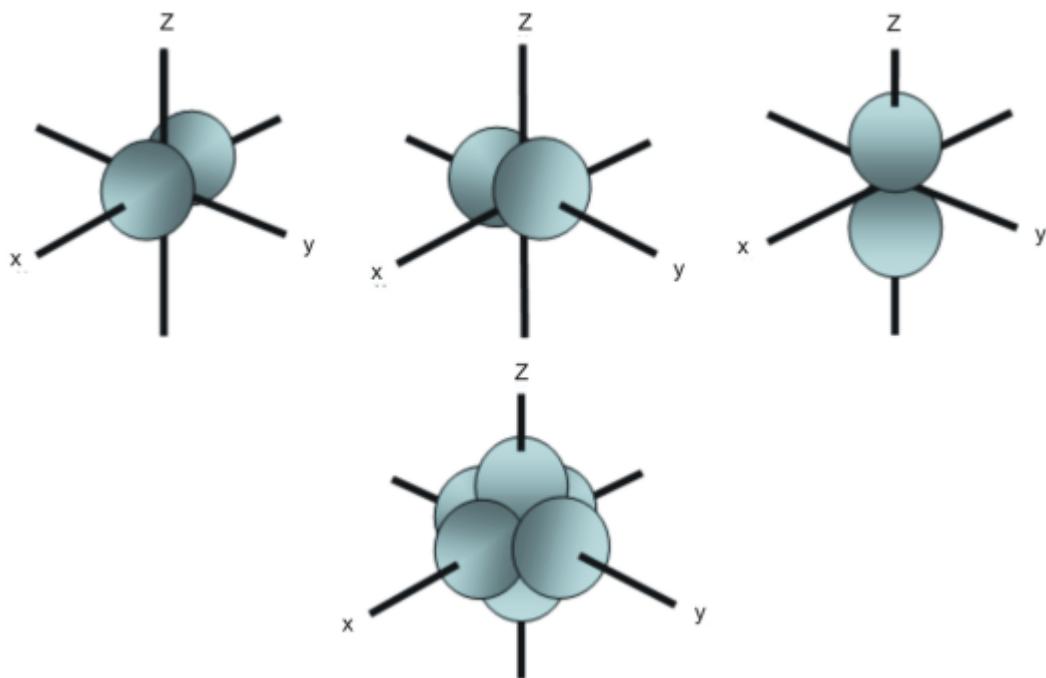
Px vs Py vs Pz ORBITALS

2 KEY DIFFERENCES

Px orbital is one of three p orbitals which is oriented along the x axis.	Py orbital is one of three p orbitals which is oriented along the y axis.	Pz orbital is one of three p orbitals which is oriented along the z axis.
Value for magnetic quantum number (m) is either +1 or -1.	Value for magnetic quantum number (m) is either +1 or -1	Value for magnetic quantum number (m) is 0 (zero)

Fuente: (Madhu, 2018).

Figura 11. Diferentes Orbitales p y su Orientación



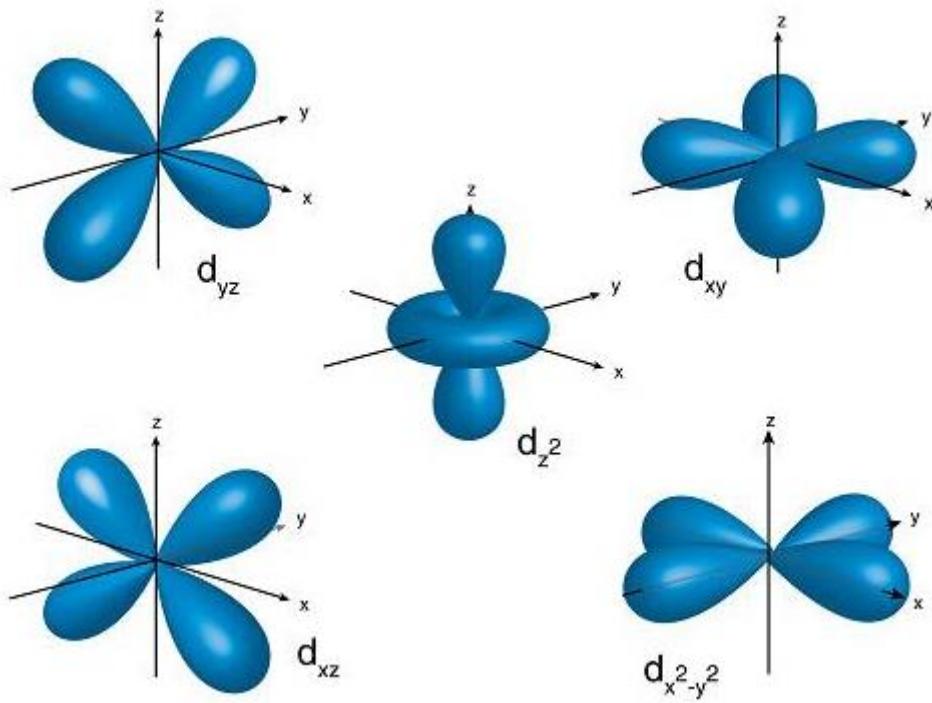
Fuente: (Madhu, 2018).

Figura 12. Diferencias entre Orbitales p

Px Py vs Pz Orbitals		
Px orbital is a p orbital oriented along the x-axis.	Py orbital is a p orbital oriented along the y-axis.	Pz orbital is a p orbital oriented along the z-axis.
Orientation		
Along the x-axis	Along the y-axis	Along the z-axis
Value of Magnetic Quantum Number (m)		
Value for magnetic quantum number (m) is either +1 or -1.	Value for magnetic quantum number (m) is either +1 or -1	Value for magnetic quantum number (m) is 0 (zero)

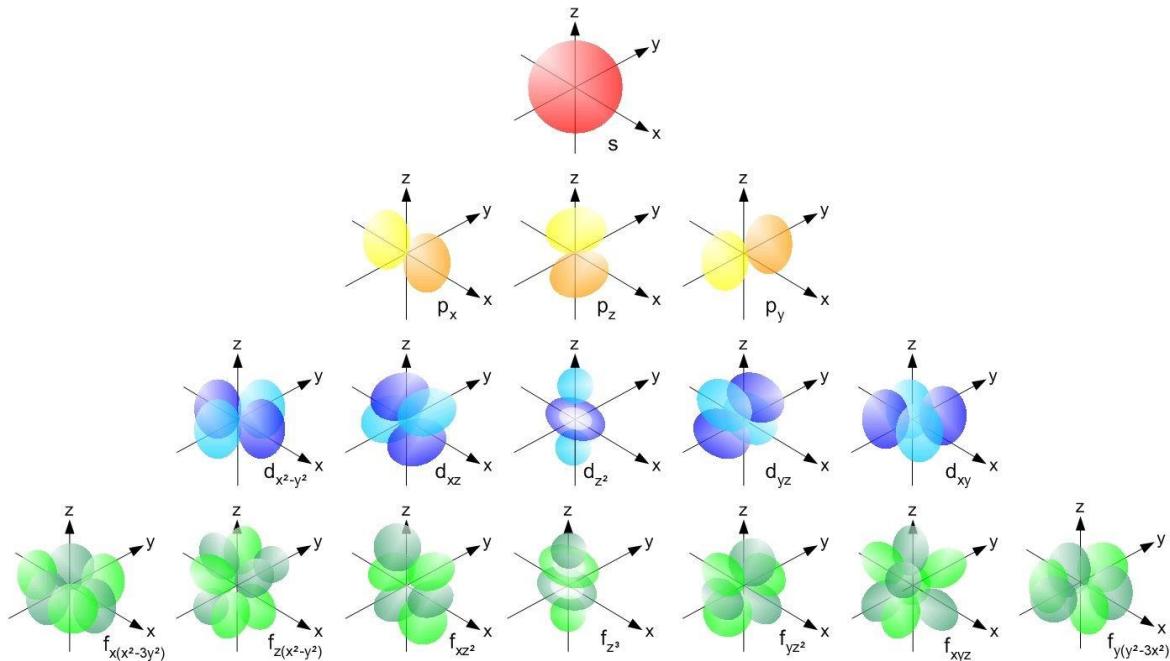
Fuente: (Madhu, 2018).

Figura 13. Formas de los Orbitales d



Fuente: (Madhusha, 2017).

Figura 14. Formas de Orbitales según los Números Cuánticos correspondientes



Fuente: (BYJU'S, 2022).

III.I. II. Números Cuánticos

III.I. II. I. Introducción y Notación

Figura 15

Table 1.2 The Electronic Configurations of the Smallest Atoms								
Atom	Name of element	Atomic number	1s	2s	2p _x	2p _y	2p _z	3s
H	Hydrogen	1	↑					
He	Helium	2	↓↑					
Li	Lithium	3	↓↑	↑				
Be	Beryllium	4	↓↑	↑↓				
B	Boron	5	↓↑	↑↓	↑			
C	Carbon	6	↓↑	↑↓	↑	↑	↑	
N	Nitrogen	7	↓↑	↑↓	↑	↑	↑	
O	Oxygen	8	↓↑	↑↓	↑↓	↑	↑	
F	Fluorine	9	↓↑	↑↓	↑↓	↑↓	↑	
Ne	Neon	10	↓↑	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	
Na	Sodium	11	↓↑	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑

Fuente: (Bruice, 2016, pág. 6).

Cada átomo o molécula en su estado natural, tiene una estructura específica de sus niveles de energía. El nivel de más baja energía es llamado estado fundamental, que es el estado de energía preferido naturalmente. Mientras no se le comunique energía al átomo, el electrón permanecerá en el estado fundamental.

Cuando el átomo recibe energía (energía eléctrica, energía óptica, o cualquier otra forma de energía), esta energía es transferida al electrón, y éste se excita a un nivel de energía superior (en nuestro modelo, más lejos del núcleo). Se considera que el átomo está en un estado excitado.

El electrón puede permanecer sólo en estados de energía (niveles) específicos, los cuales son únicos para cada átomo en particular. El electrón no puede estar entre estos “estados de energía permitidos”, pero puede “saltar” de un nivel de energía a otro, mientras se le comunique o emita una cantidad específica de energía.

Esta cantidad específica de energía es igual a la diferencia entre los niveles de energía pertenecientes al átomo. Cada cantidad de energía es llamada un “Cuanto” de energía (el nombre de “mecánica cuántica” proviene de estas cantidades discretas de energía), conocido también como *cuanto de acción*. Esta es un caso particular del salto de lo cuantitativo a lo cualitativo que rige las leyes de la dialéctica materialista: un diferencial cuantitativo ocasiona que el electrón salte de un nivel de energía a otro.

En los átomos, la notación contiene la definición de los orbitales atómicos (en la forma nl , por ejemplo, $1s, 2p, 3d, 4f$, donde n es el número cuántico principal y l es el número cuántico del momento angular) indicando el número de electrones asignado a cada orbital o al (conjunto de orbitales de la misma subcapa) como un superíndice. Por ejemplo, el hidrógeno tiene un electrón en el orbital s de la primera capa, de ahí que su configuración electrónica se escriba $1s^1$. El litio tiene dos electrones en la subcapa $1s$ y uno en la subcapa $2s$ (de mayor energía), de ahí que su configuración electrónica se escriba $1s^2 2s^1$. Para el fósforo (número atómico 15), se tiene: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$. Para átomos con muchos protones, esta notación puede ser muy larga por lo que se utiliza una notación abreviada, que tiene en cuenta que las primeras subcapas son iguales a las de algún gas noble. Por ejemplo, el fósforo, difiere del argón y neón ($1s^2 2s^2 2p^6$) únicamente por la presencia de la tercera capa. Así, la configuración electrónica del fósforo se puede escribir respecto de la del neón como: $[Ne]3s^2 3p^3$. Esta notación es útil si se tiene en cuenta que la mayor parte de las propiedades químicas de los elementos vienen determinadas por las capas más externas.

El orden en el que se escriben los orbitales viene dado por la estabilidad relativa de los orbitales, escribiéndose primero aquellos que tienen menor energía orbital. Esto significa que, aunque sigue unas pautas generales, se pueden producir excepciones. La mayor parte de los átomos siguen el orden dado por la regla de

Madelung¹⁵². Así, de acuerdo con esta regla, la configuración electrónica del hierro se escribe como $[Ar]4s^23d^6$. Otra posible notación agrupa primero los orbitales con el mismo número cuántico n , de tal manera que la configuración del hierro se expresa como $[Ar]3d^64s^2$ (agrupando el orbital 3d con los 3s y 3p que están implícitos en la configuración del argón).

El superíndice 1 de los orbitales ocupados por un único electrón no es obligatorio, aunque por fines de claridad, en esta investigación, se usará rigurosamente. Es bastante común ver las letras de los orbitales escritas en letra itálica o cursiva. Sin embargo, la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) recomienda utilizar letra normal; aquí, también por fines de claridad, se usarán itálicas.

En esta notación, las letras P_x , P_y y P_z describen las ubicaciones de los electrones en un orbital P . Entonces, en lugar de decir que tales o cuales electrones están en la parte delantera o trasera, es posible decir que sus posiciones están en el eje x , y o z , respectivamente, puesto que están en el orbital P . Así se declara su ubicación.

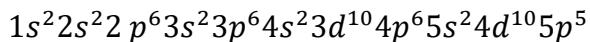
La configuración electrónica es la distribución de electrones de un átomo o molécula (u otra estructura física) en orbitales atómicos o moleculares. La disposición de los electrones en los átomos está sujeta a las reglas de la mecánica cuántica. En particular la configuración electrónica viene dada por una combinación de estados cuánticos que son solución de la ecuación de Schrödinger para dicho átomo.

Una de las restricciones de la mecánica cuántica no explícitamente definida en la ecuación de Schrödinger es que cualquier conjunto de electrones en un mismo estado cuántico deben cumplir el principio de exclusión de Pauli por ser fermiones (partículas de espín semi-entero). Dicho principio implica que la función de onda total que describe dicho conjunto de electrones debe ser antisimétrica respecto del

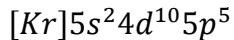
¹⁵² La regla de Madelung predice que debería tener cuatro electrones en sus orbitales 3d y dos en el 4s. Sin embargo, la espectroscopía muestra que el cromo tiene cinco electrones en los orbitales 3d y uno en el 4s. En (Gavira Vallejo, 2013) se presenta una tabla con todas las excepciones a esta regla.

intercambio de dos electrones, es decir, que al momento en que un estado cuántico es ocupado por un electrón, el siguiente electrón debe ocupar un estado cuántico diferente. Lo cual es otra prueba de que la Naturaleza, la existencia en general, no es simétrica ni debe serlo.

Para ayudar a describir la notación apropiada para la configuración electrónica, es mejor hacerlo a través de un ejemplo. Tal ejemplo utilizará la configuración electrónica del átomo de yodo.



O bien,



En ambos tipos de notaciones, el orden de los niveles de energía debe escribirse por aumento de energía, mostrando el número de electrones en cada subnivel como exponente. En la notación abreviada, se colocan corchetes alrededor del elemento de gas noble anterior seguido de la configuración electrónica de la capa de valencia. La tabla periódica muestra que el Kriptón (Kr) es el gas noble anterior que figura antes que el yodo. La configuración de gas noble abarca los estados de energía más bajos que los electrones de la capa de valencia. Por tanto, en este caso $[Kr] = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6$.

Con relación a los números cuánticos, debe establecerse, en términos generales, el papel que desempeñan en la caracterización del estado fundamental de la molécula¹⁵³. El número cuántico principal determina el tamaño del orbital. El

¹⁵³ Una molécula es una agrupación de átomos con fines de estabilidad. Si son átomos del mismo tipo, la molécula en cuestión es un elemento de la tabla periódica. La característica más notable de la tabla periódica es que está organizada como un gráfico con siete filas y ocho columnas, aunque el número de columnas aumenta hacia la parte inferior del gráfico. Los químicos se refieren a cada fila como un período ya cada columna como un grupo. Cada elemento en un período tiene el mismo estado fundamental y los elementos se vuelven menos metálicos a medida que se mueve de izquierda a derecha. Los elementos del mismo grupo tienen diferentes estados fundamentales, pero tienen la misma cantidad de electrones en sus capas externas, lo que les da propiedades químicas similares.

número cuántico angular define la forma del orbital. El número cuántico magnético determina la orientación del orbital en el espacio. El número cuántico de espín es una propiedad intrínseca del momento angular del electrón.

III.I. II. Número Cuántico Principal n

El número cuántico principal n indica la capa o nivel de energía en el que se encuentra el electrón, lo cual no debe confundirse con la cantidad de electrones que posee el átomo en esa última capa. El valor de n se puede establecer entre 1 y n , donde n es el valor de la capa más externa que contiene un electrón. Este número cuántico solo puede ser positivo, distinto de cero y valores enteros.

Por ejemplo, el átomo de yodo tiene sus electrones más externos en el orbital $5p$. Por tanto, el número cuántico principal del yodo es 5 (diferente a que, en su capa más exterior, en su capa de valencia, posea 7 electrones).

III.I. II. III. Número Cuántico del Momento Angular l

El número cuántico de momento angular se utiliza para determinar la forma del orbital de electrones en particular. El número cuántico del momento angular también se denomina número cuántico azimutal o segundo número cuántico.

El valor del número cuántico de momento angular l está entre 0 y $n - 1$. Indica la subcapa del electrón. Y también se puede averiguar la forma del orbital atómico utilizando este número cuántico. Los valores de la subcapa s corresponden respectivamente a $l = 0$, $p = 1$, $d = 2$ y $f = 3$, etc. Considerando el ejemplo anterior, los valores l de yodo para $n = 5$ serán $l = 0, 1, 2, 3, 4$, puesto que van de cero a $n - 1$. Este, y los demás números presentados a continuación, podrían variar en función del orbital analizado, cuestión que no ocurre únicamente con el número cuántico principal.

III.I. II. IV. Número Cuántico Magnético ml

El número cuántico magnético, ml , representa los orbitales de una subcapa dada. Para un l dado, ml puede variar de $-l$ a $+l$. Una subcapa p ($l = 1$), por ejemplo, puede tener tres orbitales correspondientes a $ml = -1, 0, +1$. En otras palabras, define los P_x , P_y y P_z orbitales de la subcapa P . Sin embargo, los números ml no corresponden necesariamente a un orbital dado. El hecho de que haya tres orbitales simplemente es indicativo de los tres orbitales de una subcapa p . En general, para un l dado, hay $2l + 1$ valores posibles para ml ; y en una capa principal n , hay n^2 orbitales que se encuentran en ese nivel de energía.

Si los valores del número cuántico del momento angular son $l = 2$, entonces el valor de ml será $-2, -1, 0, +1, +2$. Si tomamos valores diferentes, por ejemplo, $l = 4$, entonces los valores serán $-4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4$, etc.

Continuando con el ejemplo que se ha venido utilizando, los valores ml del yodo son $ml = -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4$. Estos corresponden arbitrariamente¹⁵⁴ a los orbitales $5s$, $5p_x$, $5p_y$, $5p_z$, $4d_{x^2-y^2}$, $4d_{z^2}$, $4d_{xy}$, $4d_{xz}$ y $4d_{yz}$.

III.I. II. Número Cuántico de Espín Magnético

El número cuántico magnético de espín solo puede tener un valor de $+1/2$ o $-1/2$. El valor de $1/2$ es el número cuántico de espín s , que describe el espín del electrón. Debido al giro del electrón, genera un campo magnético. En general, un electrón con $m_s = +1/2$ se llama electrón alfa, y uno con $m_s = -1/2$ se llama electrón beta. Dos pares de electrones no pueden tener el mismo valor de espín.

Sin embargo, de estos cuatro números cuánticos, Bohr postuló que sólo el número cuántico principal, n , determina la energía del electrón. Por lo tanto, el orbital $3s$ ($l = 0$) tiene la misma energía que los orbitales $3p$ ($l = 1$) y $3d$ ($l = 2$), independientemente de la diferencia en los valores de l . Sin embargo, este

¹⁵⁴ Es decir, sin que sea la única notación posible para asignarlos a los orbitales que correspondan. Véase (LibreTexts, 2020).

postulado es válido solo para el átomo de hidrógeno de Bohr u otros átomos similares al hidrógeno.

Cuando se trata de sistemas multi-electrónicos, se deben considerar las interacciones electrón-electrón. Por lo tanto, el postulado descrito anteriormente se rompe porque la energía del electrón ahora está determinada tanto por el número cuántico principal n , como por el número cuántico del momento angular orbital l . Aunque la ecuación de Schrödinger para átomos multielectrónicos es extremadamente difícil de resolver matemáticamente, todavía es posible describir sus estructuras electrónicas a través de configuraciones electrónicas. A continuación, se presenta un ejemplo de lo visto en la sección III.I.II para el caso de la molécula de yodo.

Figura 16. Números Cuántico de la Molécula de Yodo según el Orbita analizado

Orbital	N	L	M	S
s	5	0	0	+1/2
s	5	0	0	-1/2
p	5	1	-1	+1/2
p	5	1	0	+1/2
p	5	1	1	+1/2
p	5	1	-1	-1/2
p	5	1	0	-1/2

Fuente: (your-online, 2022).

III.I. III. Configuración Electrónica de Estado Fundamental

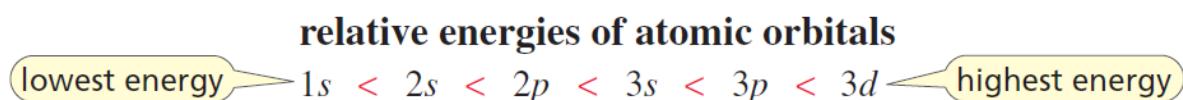
Como señala (Bruice, 2016, pág. 6), la configuración electrónica del estado fundamental de un átomo describe los orbitales atómicos ocupados por los electrones del átomo cuando están todos en los orbitales disponibles con la energía más baja. Si se aplica energía a un átomo en el estado fundamental, uno o más electrones pueden saltar a un orbital de mayor energía. Entonces, el átomo estaría en un estado excitado y tendría una configuración electrónica de estado excitado.

En la figura 15, las flechas, sin importar la dirección a la que apunten (si es hacia arriba es un espín positivo, si es hacia abajo es negativo¹⁵⁵), representan un electrón.

Existen tres reglas específicas que rigen qué orbital atómico ocupa un electrón:

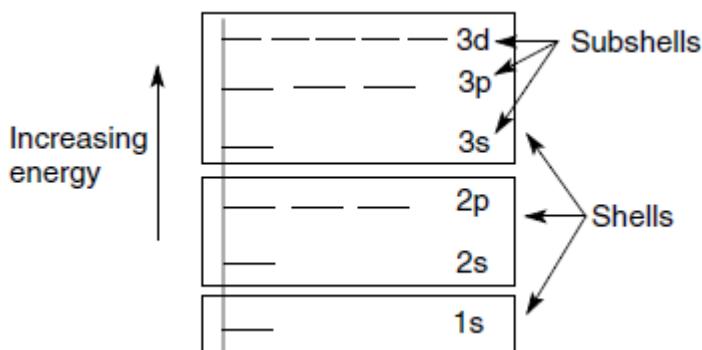
1. *El principio de Aufbau*, que establece que un electrón siempre entra en el orbital disponible con la energía más baja.

Figura 17



Fuente: (Bruice, 2016, pág. 6).

Figura 18

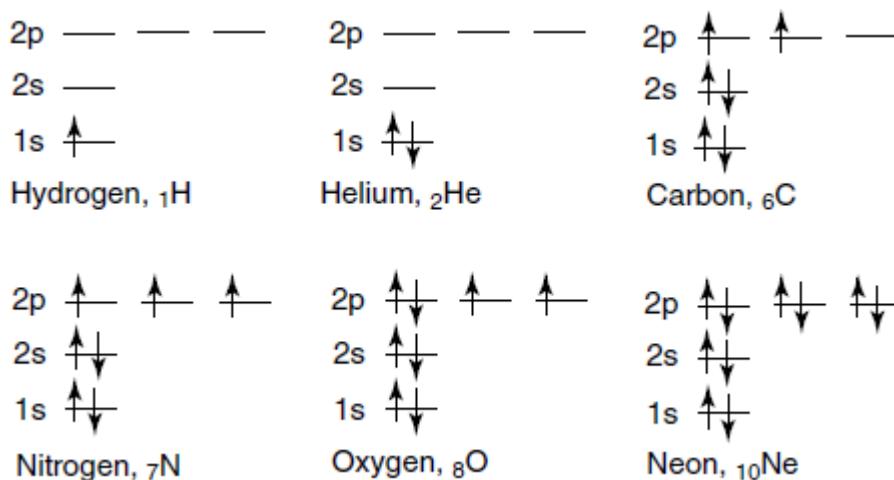


Fuente: (Bloch, 2006, pág. 5).

Como puede observarse en la figura anterior, la necesidad objetiva y material de estabilización de la materia, la cual expresa su teleología, permite mediante el mecanismo cuántico que los electrones “prefieran” ocupar los niveles de energía más bajos disponibles para ellos. Esto representa su estado más estable llamado estado fundamental.

Figura 19

¹⁵⁵ Esto es, el signo del valor del momento angular que transportan.



Fuente: (Bloch, 2006, pág. 5).

Como señala (Bloch, 2006, págs. 5-6), la figura anterior muestra la configuración electrónica de menor energía de seis elementos comunes. Cada subcapa *s* consta de un orbital. Cada subnivel *p* consta de tres orbitales. Debe considerarse que se utiliza el término orbital, no órbita, puesto que órbita es el movimiento que es descrito mediante un orbital, que es la función matemática que describe el comportamiento ondulatorio de un electrón. Como se dijo antes, cada orbital puede contener un máximo de dos electrones. Cuando se llenan los orbitales en una subcapa, los electrones van a la siguiente subcapa de mayor energía. Cada capa principal tiene solo un orbital *s*: 1s, 2s, 3s, etc.

Cada capa principal de nivel 2 y superior tiene tres orbitales *p*, p_x , p_y y p_z . Todos los orbitales *p* en la misma subcapa ($2p_x$, $2p_y$ y $2p_z$) tienen la misma energía.

El número máximo de electrones en una capa principal es $2n^2$, donde n es el número cuántico principal, 1, 2, 3, etc.

2. El Principio de Exclusión de Pauli.

Como señala (Bloch, 2006, pág. 6), dado que los electrones tienen cargas negativas, existe cierta resistencia para que dos electrones ocupen el mismo orbital, es decir, para emparejarse. Las especies de carga similar (dos cargas negativas) se repelen

entre sí. Por ejemplo, el átomo de helio tiene dos electrones para ser colocados en orbitales (véase la configuración electrónica del helio en la figura anterior). Un electrón puede colocarse en el orbital de menor energía, el orbital $1s$. El segundo electrón puede ir al orbital $1s$ o al orbital $2s$. La energía requerida para colocar el segundo electrón en el orbital $2s$ de mayor energía es mayor que la energía requerida (repulsión electrón-electrón) para aparear los electrones en el orbital $1s$. Por lo tanto, el segundo electrón entra en el orbital $1s$. Se dice que cada electrón tiene un giro (espín), como un trompo, y el giro puede ser en sentido horario o antihorario (espín positivo o negativo, respectivamente). La dirección de giro se indica con una flecha que apunta hacia arriba o hacia abajo. Dos electrones en el mismo orbital deben tener espines opuestos (principio de exclusión de Pauli). Los dos electrones del helio se muestran con espines opuestos ($\uparrow\downarrow$) en la figura anterior.

3. Regla de Hund

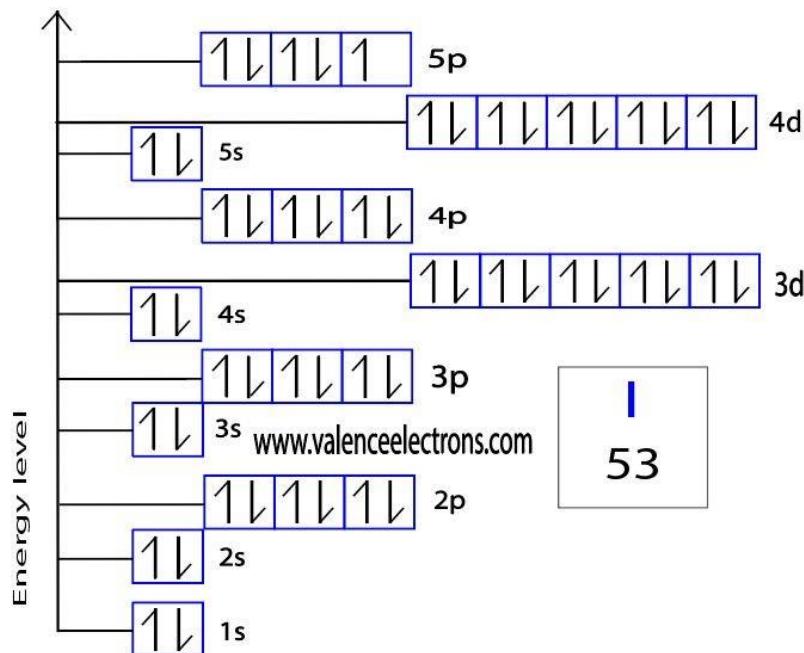
Como señala (Bruice, 2016, pág. 6), esta regla establece que cuando hay dos o más orbitales atómicos con la misma energía, un electrón ocupará un orbital vacío antes de emparejarse con otro electrón. De esta forma, la Naturaleza minimiza la repulsión electrónica.

Considérese, con base en (Bloch, 2006, pág. 6), al átomo de carbono con seis electrones, cuya configuración electrónica se muestra en la figura anterior. Usando el principio de Aufbau, los dos primeros electrones van al orbital $1s$. Los siguientes dos electrones van al próximo orbital $2s$ de mayor energía. Luego, los dos últimos electrones van a los orbitales $2p$ de mayor energía. Los dos últimos electrones podrían ir a un orbital p o cada uno podría ir a dos orbitales p diferentes. Para los orbitales degenerados (igual energía), es más eficiente energéticamente que los electrones entren en diferentes orbitales degenerados hasta que deban emparejarse (regla de Hund). Ahora considérese el oxígeno con ocho electrones. Cuando se agregan siete electrones, por el principio de Aufbau, la configuración electrónica será la misma que se muestra para el nitrógeno (véase la figura anterior). El último

electrón agregado se empareja con un electrón que ya está en un orbital $2p$. Sus giros deben ser opuestos (principio de exclusión de Pauli), como se muestra en la figura anterior.

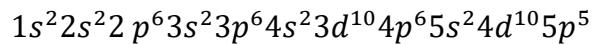
A través de las tres reglas antes expuestas se rigen e interpretan las figuras 15 y 19 antes presentadas.

Figura 20. Diagrama Orbital del Elemento Yodo



Fuente: (Sadik, 2022).

Así, con base en lo antes expuesto, resulta intuitivo que su configuración del estado fundamental¹⁵⁶, por ejemplo, del yodo, presentado en la figura anterior:



¹⁵⁶ El estado fundamental (el estado de menor energía) no debe confundirse con el estado excitado, que es el de mayor energía.

III.I. IV. Electrones de Valencia y Núcleo

Como señala (Bruice, 2016, pág. 7), un electrón de valencia es el electrón de la capa más exterior asociado al átomo, y que puede participar en la formación del enlace químico si la capa más exterior no está cerrada, es decir, si tiene interacción con su medio circundante. En un solo enlace covalente, los dos átomos del enlace contribuyen con un electrón de valencia para formar un par compartido (*i.e.*, un enlace covalente).

El principal factor que determina el comportamiento químico de un elemento es el número de electrones de valencia que tiene. Los electrones en las capas internas (debajo de la capa más externa) se denominan electrones centrales. Por ejemplo, el carbono tiene cuatro electrones de valencia y dos electrones centrales (figura 15). Los electrones de valencia participan en los enlaces químicos; los electrones del núcleo no lo hacen. Los elementos en la misma columna de la tabla periódica tienen propiedades químicas similares porque tienen el mismo número de electrones de valencia. Si se examina la tabla periódica, se verá que el litio y el sodio, que tienen propiedades químicas similares, están en la misma columna porque cada uno tiene un electrón de valencia.

III.I. V. Enlace Químico

Se denota como *enlace químico* a una atracción duradera entre átomos, iones o moléculas que permite la formación de compuestos químicos.

Figura 21. Tabla Periódica de Elementos Químicos

Periodic Table of Elements												VIII B						
IA												VIII B						
1	H 1.0079	II A											2 He 4.003					
2	Li 6.94	4	Be 9.0121															
3	11 Na 22.989	12 Mg 24.035																
4	19 K 39.098	20 Ca 40.08	21 Sc 44.955	22 Ti 47.90	23 V 50.941	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.847	27 Co 58.933	28 Ni 58.71	29 Cu 63.546	30 Zn 65.38	31 Ga 69.735	32 Ge 72.59	33 As 74.921	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.80
5	37 Rb 85.467	38 Sr 87.62	39 Y 88.905	40 Zr 91.22	41 Nb 92.906	42 Mo 95.94	43 Tc 98.906	44 Ru 101.07	45 Rh 102.90	46 Pd 106.4	47 Ag 107.86	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.69	51 Sb 121.75	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.30
6	55 Cs 132.90	56 Ba 137.33	57 La 138.90	72 Hf 178.49	73 Ta 180.94	74 W 183.85	75 Re 186.20	76 Os 190.2	77 Ir 192.22	78 Pt 195.09	79 Au 196.96	80 Hg 200.59	81 Tl 204.37	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)
7	87 Fr (223)	88 Ra 226.02	89 Ac (227)	104 Unq (261)	105 Unp (262)	106 Unh (263)	107 Uns (262)	108 Uno (265)	109 Une (266)	110 Unn (272)								
Lanthanide Series		58 Ce 140.12	59 Pr 140.90	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.4	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.92	66 Dy 162.5	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.96			
Actinide Series		90 Th 232.03	91 Pa 231.03	92 U 238.02	93 Np 237.04	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (254)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (260)			

Fuente: (Bloch, 2006, pág. 538).

Como señala (Bloch, 2006, pág. 9), los átomos forman enlaces transfiriendo o compartiendo electrones con otros átomos. Un átomo que pierde un electrón tiene carga positiva y se llama *cation*. Si un átomo gana un electrón, tiene carga negativa y se llama *anión*. Los átomos de los elementos de los grupos *IA* y *IIA* tienden a transferir electrones a los elementos de los grupos *VIB* y *VIIB*. El cation resultante del grupo *IA* o *IIA* forma un enlace iónico con el anión resultante del grupo *VIB* o *VIIB*, lo cual significa que los átomos pierden y ganan electrones para vincularse. Los elementos de los grupos *VIB* y *VIIB* tienden a compartir electrones si reaccionan con elementos de los grupos *IVB* a *VIIB*. Compartir electrones da como resultado *enlaces covalentes*. El carbono, en el grupo *IVB*, tiende a formar enlaces con muchos otros elementos. Una razón por la que hay tantos compuestos orgánicos es que los átomos de carbono pueden formar enlaces con otros átomos de carbono, lo que da como resultado una gran cantidad de compuestos. Esto desempeñó un papel fundamental en el origen de la vida.

III.I. VI. Valencias

Como señala (Bloch, 2006, pág. 8), la capacidad de enlace o el número de enlaces que es posible que existan en un átomo se llama la valencia del átomo.

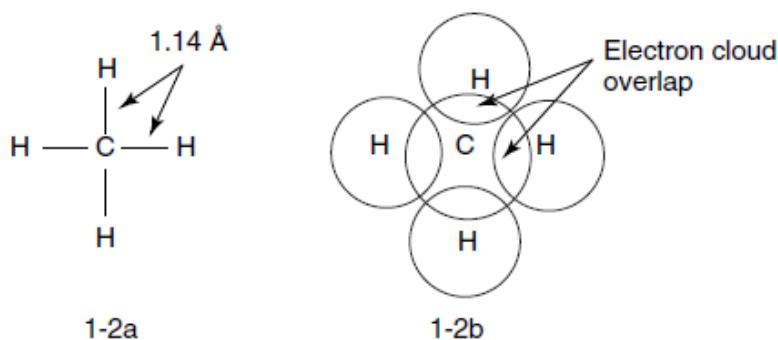
Como se muestra en la tabla periódica presentada, la valencia de los átomos de los grupos *IA* al *IVA* es la misma que el número de grupo. El litio (grupo *IA*) tiene una valencia de uno y tendrá un enlace simple con otro átomo. El carbono (grupo *IVB*) tiene una valencia de cuatro y habrá cuatro enlaces para cada átomo de carbono. El carbono se llama tetravalente. La valencia de los elementos en los grupos del *VB* al *VIIB* es 3, 2 y 1 (u ocho menos el número del grupo) respectivamente. Los elementos de los grupos del *VB* al *VIIB* pueden tener múltiples valencias positivas, pero esas situaciones no se discutirán aquí.

III.I. VII. Enlace Químico Covalente

Aquel enlace químico que involucra átomos que comparten pares de electrones.

Como se señala en (Bloch, 2006, pág. 4), un enlace químico covalente se forma a causa de la superposición de nubes de electrones¹⁵⁷, a diferencia de lo que ocurre con los núcleos de dos átomos diferentes (por ejemplo, el de un átomo de carbono y de otro de hidrógeno) que mantienen cierta distancia entre sí. Lo antes expuesto se presenta a continuación.

Figura 22. Formación de Enlaces como resultado de la Superposición de las Nubes de Electrones



¹⁵⁷ Una nube de electrones es la región espacial dentro del átomo que el electrón ocupa.

Fuente: (Bloch, 2006, pág. 4).

El área ocupada por los electrones (la nube de electrones) es mucho mayor que la implícita en las estructuras típicamente dibujadas (como la estructura 1-2^a de la figura anterior) en la generalidad de libros de texto de química orgánica. El área ocupada por electrones en una molécula está representada con mayor precisión por la estructura 1-2b de la figura anterior. En el ejemplo anterior se muestra un enlace covalente que forma una molécula de hidrógeno H_2 , donde dos átomos de hidrógeno comparten los dos electrones.

En general, cuanto mayor es la superposición de la nube de electrones, mayor es la densidad de electrones en el enlace y más fuerte es el enlace; la densidad del electrón es la medida de probabilidad de que un electrón se presente en un elemento infinitesimal que rodea cualquier punto dado (*i.e.*, que se encuentra en la órbita de dicho punto). Esto posee relevancia por cuanto la química orgánica involucra interacciones físicas y reacciones químicas entre moléculas dadas tales interacciones. Los electrones son los principales responsables de estas interacciones y reacciones.

III.I. VIII. Estructuras de Lewis

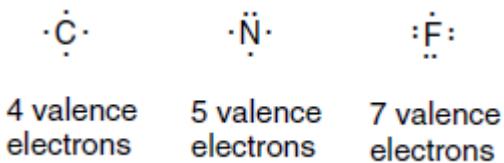
Son representaciones sumamente simplificadas del enlace covalente de electrones dentro de una molécula. Es usada para mostrar cómo los electrones se organizan alrededor de un simple átomo. El objetivo es obtener la “mejor” configuración posible. Para que el análisis atómico desde las estructuras de Lewis sea válido, debe cumplirse la regla del octeto y la carga formal.

La regla del octeto es una regla química empírica que refleja la teoría de que los elementos del grupo principal tienden a unirse de tal manera que cada átomo tiene ocho electrones en su capa de valencia, dándole la misma configuración electrónica de un gas noble (no aplica a todos los elementos, sino sólo al carbono, nitrógeno, oxígeno, halógenos, y a metales como el sodio o el magnesio).

Una carga formal es la visión covalente del enlace, es decir, es la carga asignada a un átomo en una molécula, suponiendo que los electrones en todos los enlaces químicos se comparten igual entre todos los átomos que componen la molécula.

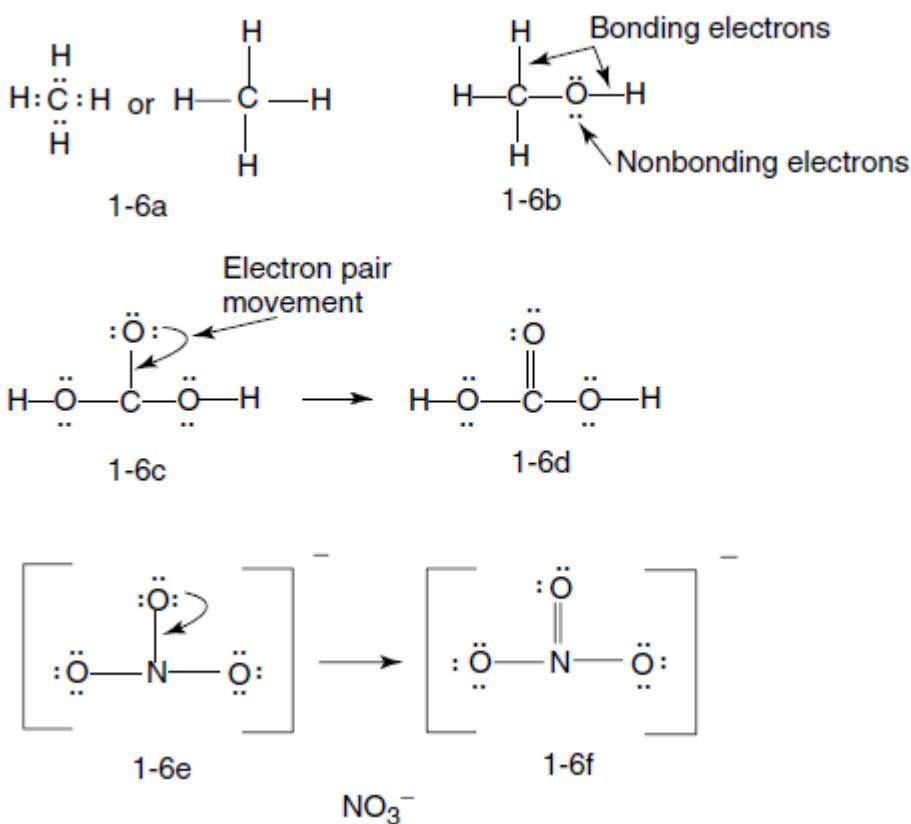
En el contexto de las estructuras de Lewis, el símbolo “dos puntos” se utiliza para indicar los electrones de valencia. Los electrones internos, los electrones centrales, no se muestran. Las estructuras de Lewis para los átomos de carbono, nitrógeno y flúor se muestran en la siguiente figura.

Figura 23. Estructuras de Lewis



Fuente: (Bloch, 2006, pág. 9).

Figura 24. Estructuras de Lewis para Moléculas y Iones



Fuente: (Bloch, 2006, pág. 10).

Las estructuras de Lewis de algunos compuestos se muestran en la figura 24. Una estructura de Lewis es una representación estructural de una molécula en la que se utilizan puntos para mostrar las posiciones de los electrones alrededor de los átomos y las líneas o pares de puntos representan enlaces covalentes entre átomos.

Con base en (Bloch, 2006, págs. 9-10), la forma de determinar en dónde deben localizarse los electrones se muestra a continuación, poniendo como ejemplo la molécula del hidrocarburo más simple, el metano, CH_4 . Existen cuatro simples reglas que deben seguirse:

1. Se suman los electrones de valencia (los que se encuentran en la última capa, o nivel de energía, del átomo en cuestión) de todos los átomos en una molécula. CH_4 tiene ocho electrones de valencia, cuatro del átomo de carbono y cuatro de los átomos de hidrógeno (uno de cada uno).

2. Se denota la estructura del compuesto conectando los átomos con un enlace simple (de dos electrones). Es posible que se deba conocer cómo se conectan los átomos, si ellos se pueden conectar en más de una forma. El metano se muestra como la estructura 1-6a de la figura 24. Cada átomo de hidrógeno está unido al átomo de carbono con un enlace sencillo.
3. Cada enlace consta de dos electrones. Así, se resta el número de electrones de enlace del número total de electrones de valencia. Hay ocho electrones en los enlaces y ocho electrones de valencia. En este caso, todos los electrones de valencia se asignan a los cuatro enlaces CH en CH_4 .
4. Si existen electrones adicionales sin asignar, deben colocarse en los elementos de la segunda fila para obtener octetos completos. Los pares de electrones que no participan en el enlace se denominan electrones no-enlazantes, como se muestra en las estructuras 1-6b y 1-6f. En CH_4 no existen electrones no-enlazantes y todos los átomos son *felices en dúo o felices en octeto*¹⁵⁸.
5. Finalmente, se mueven los electrones en pares (como se muestra con la flecha curva en las estructuras 1-6c y 1-6e) para “hacer felices” a todos los átomos en dúo u octeto, si es posible.

Este procedimiento se basa, como señala (Bruice, 2016, pág. 7), en la proposición de G. N. Lewis de que un átomo es más estable si su capa exterior está llena o contiene ocho electrones y no tiene electrones de mayor energía. De acuerdo con la teoría de Lewis, un átomo cederá, aceptará o compartirá electrones para lograr una capa exterior llena o una capa exterior que contenga ocho electrones. Esta teoría es precisamente lo que se denomina la *regla del octeto* (a pesar de que el hidrógeno necesita solo dos electrones para lograr una capa exterior llena, como se estableció antes).

¹⁵⁸ Cuando el hidrógeno tiene 2 electrones de valencia en su orbital 1s se le llamará “duet happy”. Cuando los orbitales de la capa de valencia están llenos, el átomo se llamará “octet happy”.

III.I. IX. Polaridad y No-Polaridad

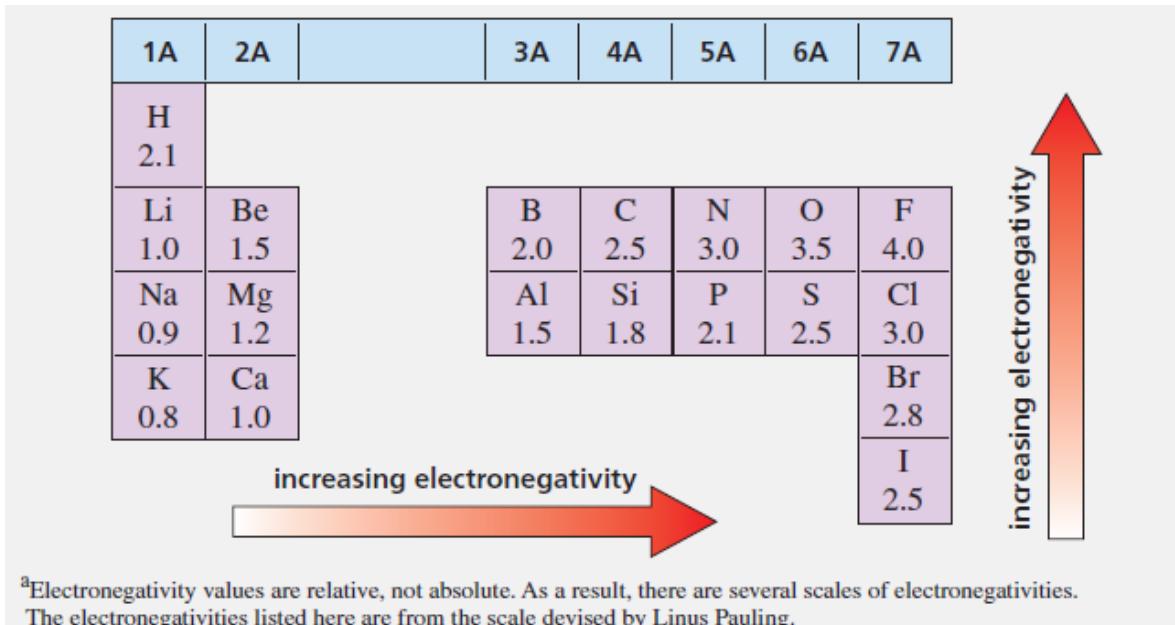
Como señala (Bloch, 2006, pág. 31), las estructuras de Lewis muestran los pares de electrones de enlace como líneas continuas (—) en las moléculas. Esta estructura puede implicar que los electrones se comparten por igual entre los dos átomos enlazados. Usualmente este no es el caso. Los átomos tienen diferentes afinidades por los electrones en un enlace. Pauling desarrolló una escala de electronegatividad relativa (EN), que se muestra en la tabla.

Figura 25. Valores de Electronegatividad de Pauling

IA	IIA		IIIB	IVB	V _B	VIB	VIIB
H 2.3							
Li 1.0	Be 1.5		B 2.0	C 2.5	N 3.0	O 3.5	F 4.0
Na 0.9	Mg 1.2		Al 1.5	Si 1.8	P 2.2	S 2.5	Cl 3.0
K 0.8							Br 2.8
Rb 0.8							I 2.5
Cs 0.7							

Fuente: (Bloch, 2006, pág. 31).

Figura 26. Valores de Electronegatividad de Pauling



^aElectronegativity values are relative, not absolute. As a result, there are several scales of electronegativities. The electronegativities listed here are from the scale devised by Linus Pauling.

Fuente: (Bruice, 2016, pág. 10).

La electronegatividad es una medida de la atracción de un átomo por los electrones en un enlace con ese átomo. El flúor es el átomo más electronegativo (4.0) y el cesio es el menos electronegativo (0.7), como cabría esperar, ya que estos elementos se encuentran en las esquinas opuestas de la tabla periódica. La electronegatividad aumenta yendo de izquierda a derecha en una fila y de abajo hacia arriba en una columna en la tabla periódica.

Como señala (Bruice, 2016, pág. 10), si la diferencia de electronegatividad entre los átomos enlazados es inferior a 0.5, entonces el enlace es un enlace covalente no-polar. Es decir, los átomos comparten los electrones de enlace por igual: los electrones representados por el enlace se distribuyen simétricamente alrededor de cada átomo. A continuación, se muestran ejemplos de enlaces covalentes no-polares.

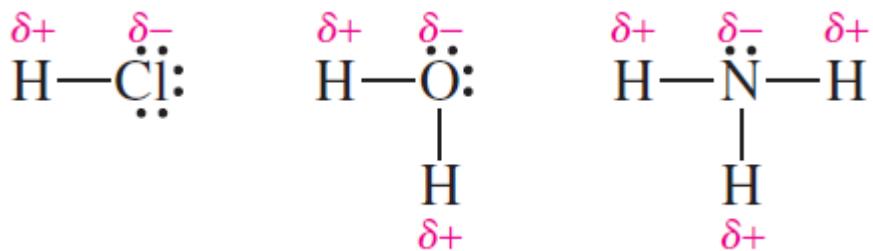
Figura 27. Enlaces Covalentes No-Polares



Fuente: (Bruice, 2016, pág. 10).

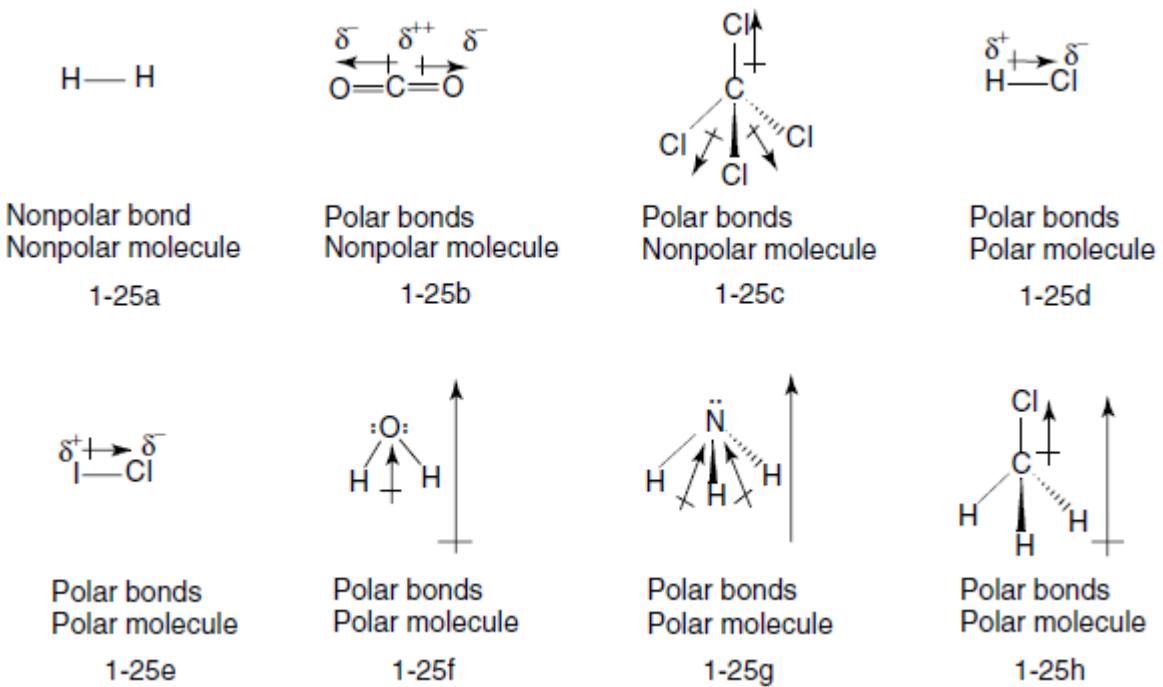
Si la diferencia de electronegatividad entre los átomos enlazados está entre 0.5 y 1.9, entonces el enlace es un enlace covalente polar. Los electrones de enlace están distribuidos asimétricamente porque los átomos de enlace tienen electronegatividades suficientemente diferentes; un extremo de un enlace covalente polar tiene una carga negativa parcial (δ^-) y un extremo tiene una carga positiva parcial (δ^+). El extremo negativo del enlace es el extremo con el átomo más electronegativo. Cuanto mayor sea la diferencia de electronegatividad entre los átomos enlazados, más polar será el enlace.

Figura 28. Enlaces Covalentes Polares



Fuente: (Bruice, 2016, pág. 10).

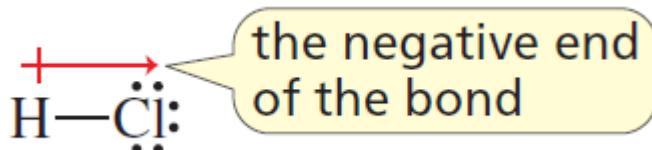
Figura 29



Fuente: (Bloch, 2006, pág. 32).

La dirección de la polaridad del enlace se puede indicar con una flecha. Por convención, los químicos dibujan la flecha en la dirección en que se atraen los electrones. Así, la punta de la flecha está en el extremo negativo del enlace; una línea perpendicular corta cerca de la cola de la flecha marca el extremo positivo del enlace (los físicos dibujan la flecha en la dirección opuesta).

Figura 30



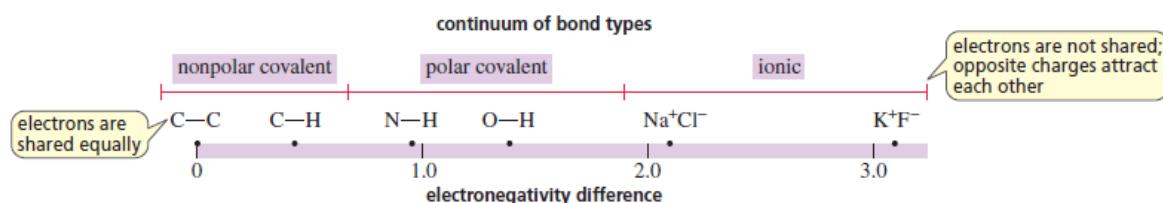
Fuente: (Bruice, 2016, pág. 10).

Si la diferencia de electronegatividad entre los átomos es mayor que 1.9, los átomos no comparten sus electrones. Uno de los átomos transfiere un electrón al otro y los iones resultantes (por ejemplo, Na^+ y Cl^-) se mantienen unidos por atracción electrostática, una fuerza de atracción entre cargas opuestas. El cloruro de sodio es

un ejemplo de un compuesto iónico (también conocido como sal). Los compuestos iónicos se forman cuando un elemento del lado izquierdo de la tabla periódica transfiere uno o más electrones a un elemento del lado derecho de la tabla periódica.

Como señala (Bruice, 2016, pág. 11), se puede pensar en los enlaces covalentes no polares, donde los electrones se comparten por igual, en un extremo del continuo de tipos de enlaces y los compuestos iónicos, donde no se comparten electrones, en el otro extremo. Los enlaces covalentes polares se encuentran en algún punto intermedio.

Figura 31



Fuente: (Bruice, 2016, pág. 11).

En síntesis, la polaridad ocurre cuando existe un diferencial lo suficientemente grande de electronegatividad entre átomos vinculados por un enlace químico. La forma de estas moléculas es asimétrica, ya sea porque contengan electrones solitarios o porque poseen átomos con diferentes electronegatividades enlazadas. Son moléculas que en un extremo de sí son ligeramente positivas, mientras que en el otro extremo son ligeramente negativas. Una molécula diatómica¹⁵⁹ que consta de un enlace covalente polar es una molécula polar.

III.I. X. Átomo Central

De manera general, el átomo central es aquel que simultáneamente posee el subíndice más bajo en la fórmula molecular y que puede formar la mayoría de los

¹⁵⁹ Compuesta únicamente de dos átomos.

enlaces. Si todos los átomos suelen formar el mismo número de enlaces, el átomo menos electronegativo suele ser el átomo central.

Como señala (Lupis, Gaye, & Bernard, 1970, pág. 497), el concepto básico del modelo de átomos centrales es describir la función de partición¹⁶⁰ en términos de probabilidades asociadas con diferentes composiciones de la capa vecina más cercana y en términos de la influencia de estas configuraciones en el campo que actúa sobre el átomo central bajo consideración. Esencialmente, la entidad de un conglomerado formado por un átomo central y su capa vecina más cercana reemplaza la entidad de un par.

Como se adelantó, cuando existe un átomo central, usualmente es el elemento menos electronegativo del compuesto, aunque esta regla admite excepciones. Así, se elige el elemento con la electronegatividad más baja, que no sea hidrógeno, como el átomo central de la estructura de Lewis. El hidrógeno nunca puede formar más de un enlace, lo que le impide servir como átomo central. Por lo tanto, por ejemplo, para el caso de $CHCl_3$, el carbono representa el átomo central. Este es el método más fiable, más no infalible.

En otras ocasiones, el elemento que aparece la menor cantidad de veces en el compuesto es el central. Por ejemplo, el oxígeno es el átomo central en el agua H_2O y el carbono es el átomo central en el dióxido de carbono CO_2 . Sin embargo, este método falla cuando se trata de compuestos que contienen elementos que conforman la molécula en cantidades iguales, como es el caso del cianuro de hidrógeno HCN . Este es el tercer método más fiable.

Adicionalmente, puede utilizarse una breve lista de elementos, ordenados en orden de prioridad, que permite que el determinar el átomo central sea simple y, cuando se combina con el método del párrafo anterior, elimina la necesidad de

¹⁶⁰ Se refiere a la función que describe las propiedades estadísticas de un sistema en equilibrio termodinámico. Las funciones de partición son funciones de las variables termodinámicas de estado, como la temperatura y el volumen.

consultar la tabla periódica en la mayoría de los casos. La lista es *C, Si, N, P, S* y *O*. Si se tiene un compuesto que contiene uno o más de estos elementos, el que aparece primero en la lista es el átomo central. Por ejemplo, en la molécula de fosfato de carbono $C_3O_{16}P_4$, el carbono es el átomo central porque aparece primero en la lista antes expuesta. También se puede decir que es el átomo central porque es el menos numeroso. Este es el segundo método más fiable.

En suma, el átomo menos electronegativo que no sea hidrógeno puede usarse como molécula central en la estructura de puntos de Lewis y, aunque no siempre será la representación adecuada, es válida como caso general. En (BYJU'S, 2022), se proporciona la electronegatividad de cada elemento de la tabla periódica. A continuación, se presentan algunos ejemplos que se rigen bajo los criterios antes descritos.

Tabla 1

<i>Estructura de Lewis</i>	<i>Átomo Central</i>
$SiBr_4$	<i>Si</i>
H_2CO	<i>C</i>
SH_2	<i>S</i>
I_2	<i>I</i>

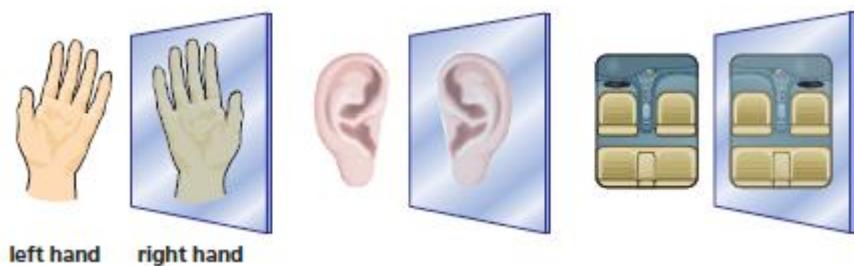
Como puede observarse, para los ejemplos anteriores únicamente resulta necesario conocer la electronegatividad para el caso de H_2CO , o bien, consultar la lista antes facilitada.

III.I. XI. Quiralidad Molecular y Organismos Espejo

Como señala (Bruice, 2016, pág. 150), ¿por qué no le es posible una persona ponerse el zapato derecho en el pie izquierdo? ¿por qué no le es posible ponerse el guante derecho en la mano izquierda? Desde la lógica formal, *i.e.*, de las formas, la razón es porque las manos, los pies, los guantes y los zapatos tienen formas para

diestros y para zurdos. Se dice que un objeto con forma derecha e izquierda es quiral, una palabra derivada de la palabra griega *cheir*, que significa “mano”. Un objeto quiral tiene una imagen especular no superponible. En otras palabras, su imagen reflejada no se parece a la imagen del objeto mismo. Una mano es quiral porque cuando una persona mira su mano izquierda en un espejo, ve una mano derecha, no una mano izquierda.

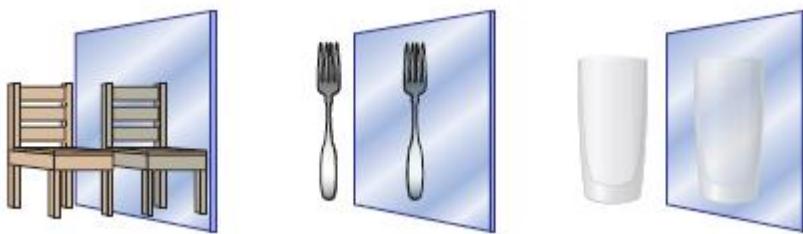
Figura 32. Objetos Quirales



Fuente: (Bruice, 2016, pág. 150).

Por el contrario, una silla no es quiral; el reflejo de la silla en el espejo se ve igual que la silla misma. Se dice que los objetos que no son quirales son aquirales. Un objeto aquiral tiene una imagen de espejo superponible.

Figura 33. Objetos Aquirales



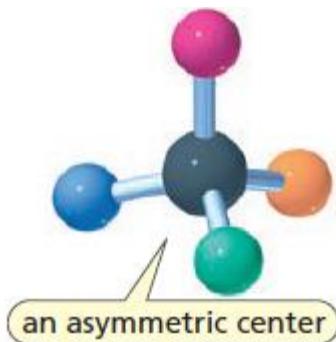
Fuente: (Bruice, 2016, pág. 151).

La metáfora del reflejo en el espejo es, como toda metáfora, una manera simple de expresar un hecho profundo. Como señala (Weisstein, 2022), la operación matemática de intercambiar todos los puntos de un objeto matemático (por ejemplo, un conjunto de datos con determinada estructura, como lo es una matriz)

con sus imágenes especulares (la imagen de un objeto que se obtiene reflejándolo en un espejo de manera que se invierten los signos de una de sus coordenadas) se conoce como *reflexión*. Se dice que los objetos que no cambian de mano bajo la reflexión son anfquirales o quirales; los que lo hacen se dice que son quirales.

Así, como señala (Bruice, 2016, pág. 151), los objetos no son las únicas cosas que pueden ser quirales. Las moléculas también pueden ser quirales. La causa habitual de quiralidad en una molécula es un centro asimétrico¹⁶¹. Un centro asimétrico (también llamado centro quiral) es un átomo unido a cuatro grupos diferentes.

Figura 34

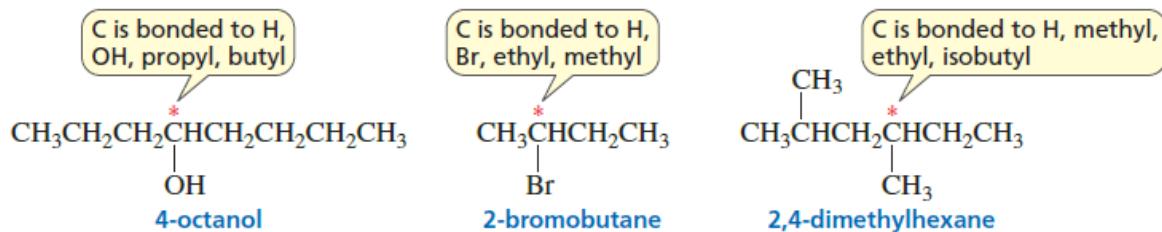


A molecule with an asymmetric center is chiral.

Fuente: (Bruice, 2016, pág. 151).

Cada uno de los siguientes compuestos presentados en la figura 34 tiene un centro asimétrico que se indica con una estrella.

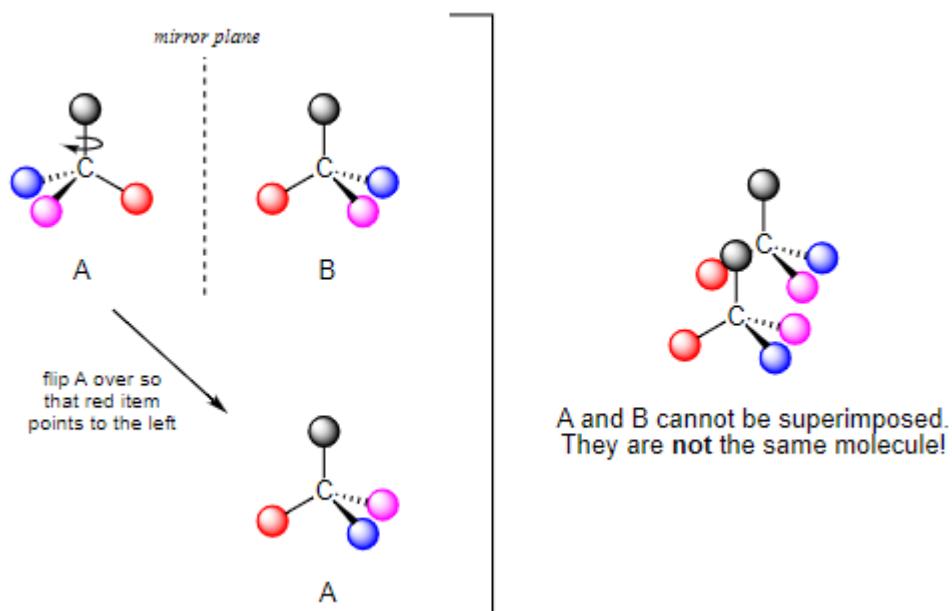
Figura 35



¹⁶¹ Existen otras características que causan la quiralidad son relativamente poco comunes.

Fuente: (Bruice, 2016, pág. 151).

Figura 36. Molécula de Carbono Tetraédrica, con cuatro sustituyentes diferentes indicados por bolas de cuatro colores diferentes



Fuente: (Vollhardt & Schore, 2022, pág. 231).

Sobre la quiralidad de las biomoléculas debe decirse que, desde Watson y Crick, se sabe que la estructura de doble hélice del ADN está torcida hacia la derecha y no hacia la izquierda, de lo cual hablaba Haldane a nivel de las moléculas en general en la sección II.VI. Sin embargo, ¿a qué se debe este fenómeno? Esta explicación es relevante en cuanto refuerza la teoría de Oparin-Haldane aquí investigada. Para la comprensión de lo que sigue, es necesario introducir el concepto de desintegración beta de electrones¹⁶². Según (Lawrence Berkeley National Laboratory, 2000), las partículas beta son electrones o positrones (electrones con carga eléctrica positiva o antielectrones). La desintegración beta ocurre cuando, en un núcleo con demasiados protones o demasiados neutrones, uno de los protones o neutrones se transforma en el otro.

¹⁶² Del inglés "beta-decay electrons", donde "decay" significa el rompimiento en partes de un objeto.

Como señalan (Noyes, Bonner, & Tomlin, 1977, pág. 21), desde que en 1957 se descubrió que los electrones que sufren desintegración beta son quirales, surgieron investigaciones (fundamentalmente Vester et al. en 1957 y Ulbricht en 1959) que plantearon especulativamente que este fenómeno explicaba la quiralidad específica de las moléculas biológicas. La investigación de los autores de 1977 señalaba (p. 22) que “Hasta el momento, no tenemos evidencia experimental directa de que los electrones polarizados longitudinalmente de la mano 'natural' produzcan una descomposición asimétrica que conduzca a la quiralidad terrestre¹⁶³ en cualquier aminoácido que no sea la leucina. Aunque hemos indicado que la radiación beta de ~4C podría haber proporcionado precisamente ese sesgo manual de la quiralidad correcta necesaria para explicar el enigma encontrado por primera vez por Pasteur (1848), estamos lejos de poder demostrar que lo hizo (...) Pero la leucina está codificada en el código de ARN para la síntesis de proteínas no solo por las dos primeras letras de su codón¹⁶⁴, sino que también tiene dos codón adicionales (...) Esto refuerza la afirmación de que la leucina estaba 'al principio' en la abiogénesis.”

Posteriormente, serían (House, Rich, & Zitzewitz, 1984, págs. 419-420) quienes encontrarían la primera evidencia experimental a favor de la hipótesis antes planteada. En las páginas citadas se exponen los resultados experimentales, los cuales indican que la conexión propuesta entre la direccionalidad de las partículas beta en la desintegración radiactiva que viola la paridad y el signo (L) de la quiralidad biológica (la hipótesis de Vester-Ulbricht [V-U]), investigada por los autores midiendo la asimetría predicha teóricamente en la formación de positrónio

¹⁶³ Se refieren aquí los autores a la hipótesis que los electrones en los rayos cósmicos, que en su mayoría se encuentran torcidos hacia la izquierda, destruyeron preferentemente a los precursores torcidos a la izquierda del ADN actualmente conocido, en la época de la Tierra primordial donde aparecieron los sistemas prebióticos proliferantes.

¹⁶⁴ Como se señala en (National Human Genome Research Institute, 2022), un codón es una secuencia de ADN o ARN de tres nucleótidos (un trinucleótido) que forma una unidad de información genómica que codifica para un aminoácido determinado o señala la terminación de una síntesis de proteína (señales de detención). Hay 64 codones diferentes: 61 especifican aminoácidos y 3 se usan como señales de detención.

triplete¹⁶⁵ en enantiómeros¹⁶⁶ de aminoácidos por positrones de baja energía bajo inversión de la helicidad¹⁶⁷ de los positrones, es verdadera. Los autores encontraron que la asimetría en la leucina¹⁶⁸ era consistente con la predicción teórica. El aparato utilizado en dicha investigación era lo suficientemente sensible para probar la asimetría predicha en moléculas ópticamente activas que tienen átomos pesados en sus centros quirales. Así, establecieron la conexión entre estos resultados y la asimetría en la radiólisis¹⁶⁹ por electrones de desintegración beta. Los autores plantearon que, a la luz de los resultados, no sólo no existía evidencia teórica, sino tampoco experimental, para descartar la hipótesis en cuestión.

¹⁶⁵ Un positrónio es un sistema cuasi-estable formado por un electrón y su antipartícula, el positrón, unidos formando un átomo exótico. Un átomo exótico es un átomo análogo a un átomo normal, en el cual a una o a más partículas, tanto de cargas negativas (electrones) como positivas (protones), las sustituyen partículas elementales diferentes. Esta sustitución puede ser de electrones, de protones o de ambos. Ya que los nuevos sistemas son altamente inestables, las vidas medias de los átomos exóticos tienden a ser extremadamente cortas.

¹⁶⁶ Moléculas compuestas por moléculas quirales.

¹⁶⁷ Como señalan (Macq, Crowe, & Haddock, 1958, pág. 2061), la helicidad (la cantidad o grado de curva helicoidal, que implica un signo, que es el sentido de la curvatura) de un electrón o positrón de alguna partícula se mide determinando el sentido de la polarización [como se señala en (Encyclopedia Britannica, 2022), la polarización eléctrica es el ligero cambio relativo de carga eléctrica positiva y negativa en direcciones opuestas dentro de un aislante, o dieléctrico, inducido por un campo eléctrico externo. La polarización ocurre cuando un campo eléctrico distorsiona la nube negativa de electrones alrededor de los núcleos atómicos positivos en una dirección opuesta al campo. Esta ligera separación de carga hace que un lado del átomo sea algo positivo y el lado opuesto algo negativo. En algunos materiales cuyas moléculas están permanentemente polarizadas por fuerzas químicas, como las moléculas de agua, parte de la polarización es causada por moléculas que giran en la misma alineación bajo la influencia del campo eléctrico. Una de las medidas de polarización es el momento dipolar eléctrico, que es igual a la distancia entre los centros ligeramente desplazados de carga positiva y negativa multiplicada por la cantidad de una de las cargas] circular de su bremsstrahlung (de *bremsen* "para frenar" y *Strahlung* "radiación"; es decir, "radiación de frenado" o "radiación de desaceleración", es radiación electromagnética producida por la desaceleración de una partícula cargada cuando es desviada por otra partícula cargada, típicamente un electrón por un núcleo atómico). En suma, la helicidad de un positrón se mide determinando el sentido del ligero cambio relativo de carga eléctrica positiva y negativa (en direcciones opuestas) dentro de un material aislante al realizar el positrón su trayectoria circular (alrededor del núcleo atómico exótico) con relación al sentido de la radiación electromagnética que emite al desacelerarse (la de la partícula, en este caso, el positrón). Por tanto, la helicidad de una partícula es positiva ("diestra") si la dirección de su giro (en este caso, circular) es la misma que la dirección de su movimiento. Es negativa ("zurda") si las direcciones de giro y movimiento son opuestas.

¹⁶⁸ Uno de los veinte aminoácidos que utilizan las células para sintetizar proteínas.

¹⁶⁹ Disociación de moléculas por radiación ionizante. Es la escisión de uno o varios enlaces químicos como resultado de la exposición al flujo de alta energía.

Finalmente, en términos de la evidencia de la hipótesis de la desintegración beta de protones como fuente de quiralidad, (Dreiling, Lewis, Mills, & Gay, 2016, pág. 4) aportaron nueva e importante evidencia de ella mediante un experimento práctico. Este consistió en enfocar luz láser polarizada circularmente en un cristal de arseniuro de galio especialmente preparado para producir electrones cuyos giros eran paralelos o antiparalelos a su dirección de movimiento al ser emitidos por el cristal, esencialmente esta luz eran rayos beta artificiales (producidos en condiciones de laboratorio). Luego dirigieron estos electrones para que golpearan las moléculas objetivo de una sustancia llamada bromocanfor¹⁷⁰, que viene en variedades tanto para diestros como para zurdos.

Como se señaló, haciendo referencia a (Noyes, Bonner, & Tomlin, 1977, pág. 21), para que esta hipótesis sea teóricamente válida debe asumirse como verdadera la teoría Oparin-Haldane del caldo primigenio, que es la forma científica-técnica de caracterizar históricamente el proceso de abiogénesis.

En suma, como plantea (Gerlach, 2013, pág. 1), los objetos quirales poseen diferentes lateralidades, es decir, no son espejo-simétricos. Así, la lateralidad implica identidad en la forma de dos objetos, excepto por su proyección en un espejo. Geométricamente hablando, es quiral cualquier figura geométrica o grupo de puntos para los cuales su imagen en un espejo plano, realizada idealmente, no puede coincidir consigo misma. Dos manos derechas iguales y similares son homoquiralmente similares. La mano derecha e izquierda iguales y similares son heteroquiralmente similares. También se les llama enantiomorfos, tal como los introdujeron los escritores alemanes. Cualquier objeto quiral y su imagen en un espejo plano son heteroquiralmente similares.

La quiralidad como sinónimo multilingüe accesible para la mano posiblemente se haya elegido porque esta última, en el uso coloquial, tiene la connotación de la

¹⁷⁰ Cuya composición es alta enantiómeros. Véase <https://www.sigmaaldrich.com/CR/es/product/aldrich/16571>.

preferencia de una mano sobre la otra (lateralidad); sin embargo, son sinónimos. En los artículos científicos, el término relacional quiralidad o lateralidad a menudo se confunde con la medida de dos valores del sentido individual (absoluto¹⁷¹) de lateralidad, como zurdo o diestro, un término atributivo arbitrario que depende del común acuerdo. En el caso de las manos se trata de una convención cultural que ha sido interiorizada por la humanidad a través de su educación psicosocial.

Las recomendaciones de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada de 1996 finalmente distinguieron entre quiralidad, la propiedad geométrica relacional, y el sentido de quiralidad “como la propiedad que especifica formas enantiomórficas con referencia a un espacio orientado”, es decir, como una medida atributiva.

Como señala (Efimov, 2018, pág. 223), en las proteínas, la cadena polipeptídica forma varias hélices y superhélices de lateralidad derecha e izquierda, horquillas de lateralidad derecha e izquierda, y algunas otras estructuras que no son superponibles, aunque no son imágenes especulares entre sí como el L-amino¹⁷², ya que los L-aminoácidos no se convierten en los D-aminoácidos. Esta propiedad de las estructuras proteicas se denominará aquí *pseudoquiralidad* o *pseudolateralidad*. Se ha demostrado que hay dos tipos de lateralidad en las proteínas: lateralidad helicoidal y lateralidad de disposición. Algunas estructuras de proteínas exhiben ambos tipos de lateralidad. La lateralidad se observa en todos los niveles de organización estructural de proteínas, desde hélices α , hebras β , horquillas, unidades $\beta\alpha\beta$ hasta motivos estructurales complejos, superhélices y estructuras supramoleculares en proteínas fibrosas y poliméricas. Hay varias estructuras que

¹⁷¹ Y no debe olvidarse que el concepto de quiralidad es relacional.

¹⁷² Como se señala en (APTUS PLANT TECH, 2018), los aminoácidos son los componentes básicos de toda la vida y la Naturaleza sólo funciona con L-aminoácidos. Lo más importante que hay que entender sobre los aminoácidos es la diferencia entre los L-aminoácidos (giran a la izquierda) y los D-aminoácidos (giran a la derecha). Las dos son esencialmente imágenes especulares entre sí, esto se llama quiralidad. En un entorno natural, los L-aminoácidos se producen a través de un proceso llamado “hidrólisis enzimática”. A medida que las bacterias crecen y se reproducen en el suelo, emiten enzimas digestivas que descomponen las moléculas grandes, como las proteínas, en moléculas más pequeñas, como los aminoácidos.

tienen una lateralidad única en las proteínas, por ejemplo, hélices α , esquinas $\alpha\alpha$, unidades $\beta\alpha\beta$, unidades abcd, etc. Esta propiedad de la cadena polipeptídica tiene un valor particular en el plegamiento de proteínas y el modelado de proteínas, porque reduce drásticamente el número de pliegues posibles. Lo que implica que los sistemas orgánicos, aunque no son sistemas mecánicos, emplea también el principio de mínima acción.

III.I. XII. Bacteriófagos

Como se verifica en (Kasman & Porter, 2021), un bacteriófago es un virus que infecta exclusivamente a las bacterias. Los bacteriófagos son vectores de clonación (conocidos también como vectores moleculares), es decir, son moléculas transportadoras que transfieren y replican ADN. Están compuestos de proteínas que encapsulan un genoma de ADN o ARN y pueden tener estructuras simples o más elaboradas. Se encuentran entre las entidades más comunes y diversas de la biosfera. (Clokie, Millard, Letarov, & Heaphy, 2011, pág. 31) señalan que los bacteriófagos o fagos son los organismos más abundantes en la biosfera y son una característica omnipresente de la existencia procariótica. Cuando los bacteriófagos aparecieron, se suscitó un debate sobre si estos eran organismos vivos o no. Este debate fue el punto de partida de Haldane para elaborar y exponer su visión sobre el origen de la vida como salto de lo inorgánico a lo orgánico y de este último a la vida, por lo cual su estudio es fundamental, dados los fines de la presente investigación.

Es importante resaltar que, en el contexto del rol que los bacteriófagos desempeñaron en el origen de la vida, en la actualidad el uso que hacen los científicos de los bacteriófagos permite, mediante la introducción en los mismos de ADN recombinante (molécula de ADN artificial formada deliberadamente *in vitro* -ambiente de laboratorio, condiciones controladas- por la unión se secuencias de ADN provenientes de dos organismos distintos que normalmente no se encuentran juntos), lograr modificaciones genéticas que permiten la adición de

nuevas secuencias de ADN al organismo, conllevando la modificación de rasgos existentes o la expresión de nuevos rasgos.

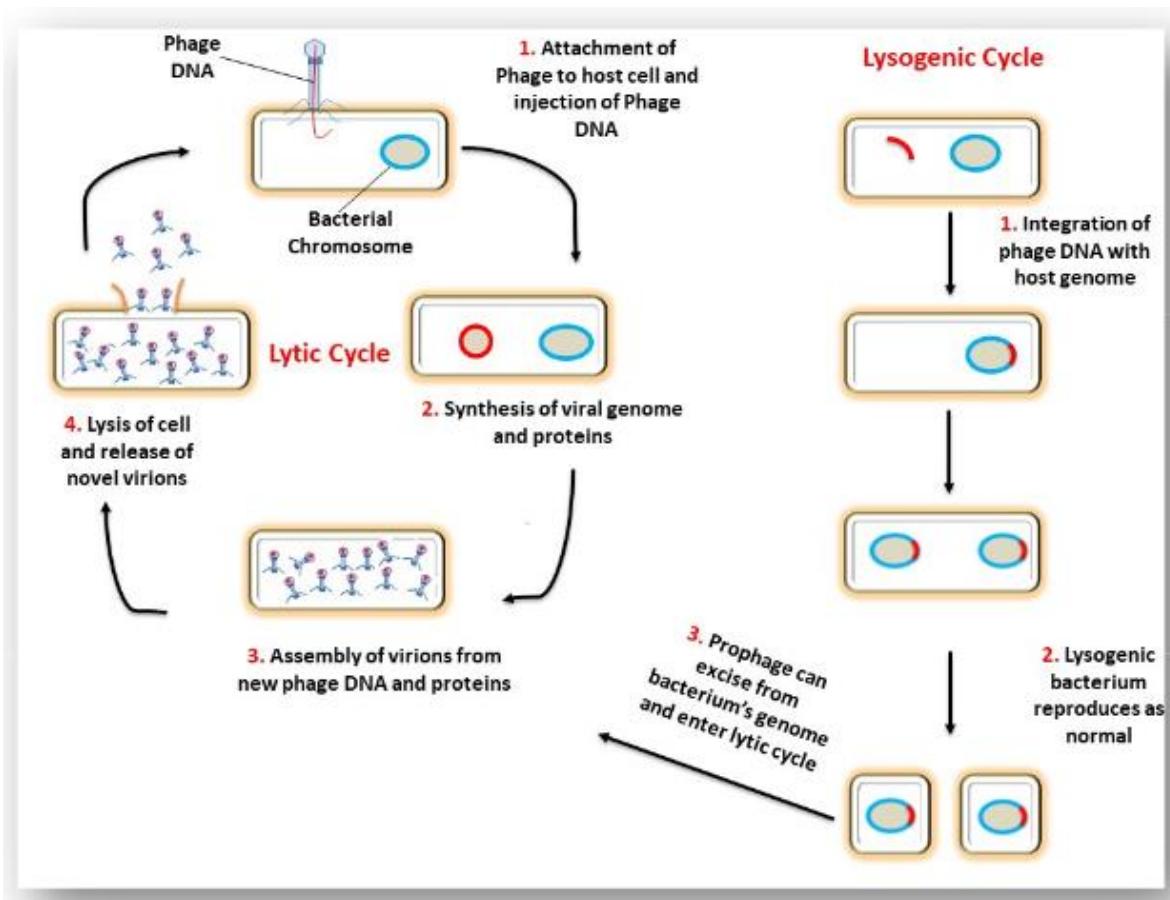
Los procesos mediante los cuales los bacteriófagos desempeñan sus funciones en el ciclo natural se denominan *lisis* y *lisogenia*. El primer proceso, la lisis, está relacionado con que, como se señala en (Encyclopedia Britannica, 2022), la función principal de las proteínas complemento¹⁷³¹⁷⁴ es ayudar en la destrucción de patógenos perforando sus membranas externas (lisis celular) o haciéndolas más atractivas para las células fagocíticas como los macrófagos (un proceso conocido como opsonización). Algunos componentes de las proteínas complemento también promueven la inflamación al estimular a las células para que liberen histamina y al atraer células fagocíticas al sitio de la infección. De forma simplificada y compacta, la lisis celular es el proceso de ruptura de la membrana celular de células o bacterias que produce la salida del material celular, provocado por lisinas.

¹⁷³ Como se señala en (National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information, 2021), el complemento se descubrió hace muchos años como un componente termolábil (la labilidad de un compuesto se refiere a la capacidad de esa sustancia para sufrir un cambio; así, el término lábil al calor describe a un ente que es capaz de cambiar o destruirse cuando se somete al calor; la enterotoxina producida por *Escherichia coli* es termolábil, es decir, se inactiva a altas temperaturas) del plasma (el plasma, como señala (Yawn, 2020), sirve como medio de transporte para suministrar nutrientes a las células de los diversos órganos del cuerpo y para transportar los productos de desecho derivados del metabolismo celular a los riñones, el hígado y los pulmones para su excreción; también es un sistema de transporte para las células sanguíneas y desempeña un papel fundamental en el mantenimiento de la presión arterial normal; el plasma ayuda a distribuir el calor por todo el cuerpo y a mantener la homeostasis o estabilidad biológica, incluido el equilibrio ácido-base en la sangre y el cuerpo) normal que aumenta la opsonización (la opsonización por anticuerpos es el proceso por el que se marca a un patógeno para su ingestión y destrucción por un fagocito, los cuales son células presentes en la sangre y otros tejidos animales capaces de captar microorganismos y restos celulares -en general, toda clase de partículas inútiles o nocivas para el organismo- e introducirlos en su interior con el fin de eliminarlos, en un proceso conocido como fagocitosis) de las bacterias por parte de los anticuerpos y permite que los anticuerpos eliminen algunas bacterias. Se decía que esta actividad “complementaba” la actividad antibacteriana del anticuerpo, de ahí el nombre.

¹⁷⁴ (Haldane, The Origin of Life, 2022, págs. 6-7), al definir a los bacteriófagos como “(...) una parte que se ha soltado. Desde este punto de vista, el bacteriófago es un engranaje, por así decirlo, en la rueda del ciclo de vida de muchas bacterias. Un mismo bacteriófago puede actuar sobre diferentes especies y es, por consiguiente, una suerte de “pieza de repuesto” que se puede instalar en varias máquinas diferentes.”, parece estar implicando que los bacteriófagos son un tipo de o se asemejan a una proteína complemento.

Por otro lado, como se señala en (Encyclopedia Britannica, 2022), la lisogenia es un tipo de ciclo de vida que tiene lugar cuando un bacteriófago infecta a ciertos tipos de bacterias. En este proceso, el genoma (la colección de genes en el núcleo del ácido nucleico de un virus) del bacteriófago se integra de manera estable en el cromosoma de la bacteria huésped y se replica en conjunto con ella. No se producen descendientes de virus. En cambio, el virus infectante permanece latente dentro del cromosoma de la bacteria hasta que la bacteria se expone a ciertos estímulos, como la luz ultravioleta. Después de este evento de inducción, el virus entra en un ciclo de vida en el que su genoma se escinde del cromosoma huésped y comienza a multiplicarse, formando nuevos virus descendientes. Finalmente, el huésped bacteriano se destruye (lisa) y las partículas de virus se liberan al medio ambiente e infectan nuevas células bacterianas; este proceso fue explicado por primera vez por el biólogo francés André Lwoff a principios de la década de 1950.

Figura 37. Ciclo de Vida de Lisis y Lisogenia de los Bacteriófagos



Fuente: (Stone, Campbell, Grant, & McAuliffe, 2019).

Como señalan (Naureen, y otros, 2020, págs. 1-5), los fagos o bacteriófagos son el parásito obligado¹⁷⁵ de las bacterias y tienen interacciones complejas con sus huéspedes. Los fagos pueden vivir, modificar y dar forma a las comunidades bacterianas provocando cambios en su abundancia, diversidad, fisiología y virulencia. Además, los fagos median en la transferencia lateral de genes, modifican el metabolismo del huésped y reasignan compuestos bioquímicos derivados de bacterias a través de la lisis celular, por lo que desempeñan un papel importante en el ecosistema. Los fagos coexisten y coevolucionan con las bacterias y han desarrollado varios mecanismos antidefensivos en respuesta a las estrategias de defensa bacterianas contra ellos. Los fagos deben su existencia a sus anfitriones bacterianos, por lo que provocan alteraciones en los genomas de sus anfitriones al transferir genes de resistencia y genes que codifican toxinas para mejorar la aptitud de los anfitriones.

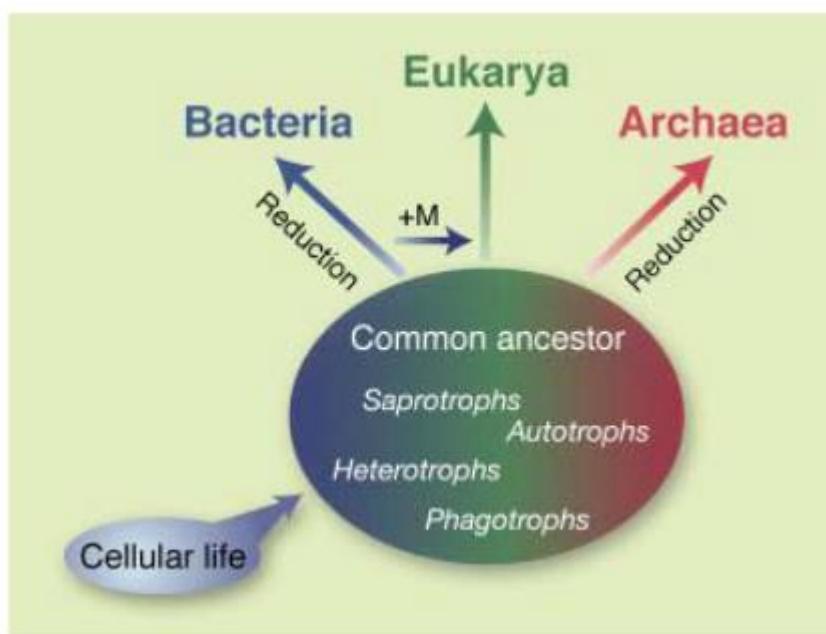
Aunque el papel exacto de los fagos naturales en la formación de una comunidad microbiana no se comprende por completo, es posible que seleccionen preferentemente algunas de las especies bacterianas y eliminen otras mediante diversos mecanismos, como la selectividad del huésped, la transferencia horizontal de genes, el impulso de la evolución bacteriana y la mediación de competencias entre comunidades bacterianas. La presión selectiva recíproca ejercida por los fagos sobre las bacterias y viceversa sugiere que las interacciones fago-bacteria tienen un impacto decisivo en la diversidad, virulencia y evolución de las bacterias.

¿Qué rol pueden haber jugado los bacteriófagos entonces en el surgimiento de la vida (entendida esta como materia orgánica con cierto nivel de complejidad)? Para ello, debe introducirse un elemento de análisis adicional.

¹⁷⁵ Los autores hacen referencia a que el fago es el parásito característico de las bacterias.

Según lo establecido por (Penny, 2006, pág. 1011), el ancestro común de los eucariotas, las bacterias y las arqueas¹⁷⁶ (estos últimos dos son los organismos procariotas¹⁷⁷), es decir, de eucariotas y procariotas, pudo haber sido una comunidad de organismos que contenía lo siguiente: autótrofos que producían compuestos orgánicos a partir del CO_2 , ya sea fotosintéticamente o por reacciones químicas inorgánicas; heterótrofos que obtuvieron compuestos orgánicos por fuga de otros organismos; saprótrofios que absorbieron nutrientes de organismos en descomposición; y fagótrofos que eran lo suficientemente complejos para envolver y digerir presas. Estos compuestos del ancestro mitocondrial poseían vínculos endosimbióticos¹⁷⁸, denotados como $+M$.

Figura 38



Fuente: (Penny, 2006, pág. 1011).

¹⁷⁶ Las arqueas son los organismos de evolucionaron hasta convertirse en organismos eucariotas. A esta afirmación se le conoce como *hipótesis del huésped arqueal*. Como se señala en (Cunha, Tauana Junqueira, 2014), existe evidencia experimental reciente que respalda dicha hipótesis.

¹⁷⁷ Véase (Universidad Politécnica de Madrid, 2022, pág. 7).

¹⁷⁸ Un endosimbionte o endobionte es cualquier organismo que vive dentro del cuerpo o las células de otro organismo con mayor frecuencia, aunque no siempre, en una relación mutualista. En este caso sí existía mutualismo.

Es necesario señalar que la lógica subyacente al planteamiento de Penny es equivalente a la lógica de Oparin-Haldane, en el sentido de ser una “sopa” diversa y compleja. Pero además, es también técnicamente compatible con lo planteado por Oparin y Haldane, por cuanto los organismos autótrofos son aquellos que producen compuestos orgánicos complejos (como carbohidratos, grasas y proteínas), los organismos heterótrofos son aquellos organismo que no pueden producir su propio alimento (sino que se nutre de otras fuentes de carbono orgánico), los organismos saprótrofos son organismos que para nutrirse dependen de los residuos de otros organismos y, finalmente, los fagótrofos son organismos que obtienen los nutrientes por ingestión de organismos enteros o partes sólidas de ellos. Como puede verificarse, lo planteado por Penny es lógica y técnicamente compatible con lo planteado por Oparin y Haldane, por cuanto una vez la “sopa primordial” fue lo suficientemente desarrollada es altamente probable que verificara lo planteado por Penny.

Así, a causa de la relación mutualista entre los componentes de la versión evolucionada de la “sopa” Oparin-Haldane que plantea Penny, es muy probable que, por cuanto los bacteriófagos desempeñaron (y siguen haciéndolo) un rol fundamental en la evolución de los organismos procariotas (específicamente de las bacterias), hayan desempeñado también, aunque de forma mediata¹⁷⁹, un rol, al menos importante (incluso podría haber sido fundamental), en el surgimiento de la vida.

¹⁷⁹ Por cuanto los ancestros comunes de los organismos eucariotas son las arqueas, dado el hecho de que en la “sopa” planteada por Penny existe una relación mutualista entre los diversos tipos de organismos. Así, es muy probable que las arqueas fueran influenciadas de alguna forma relevante por los bacteriófagos. Esto es una especulación legítima, por cuanto (Grasis, 2018, pág. 1) señala que los bacteriófagos también infectan a las arqueas. Adicionalmente, (Pietilä, Demina, Atanasova, Oksanen, & Bamford, 2014, pág. 1) señalan que “(...) los virus arqueales revelan nuevos conocimientos sobre el mundo viral, como las profundas relaciones evolutivas entre los virus que infectan a los huéspedes de los tres dominios de la vida. Todos los organismos celulares son susceptibles a las infecciones virales, lo que convierte a los virus en una fuerza evolutiva importante que da forma a la vida celular.” Sin embargo, aún falta mucho por descubrir con relación al mecanismo a través del cual esto ocurre.

III.I. XIII. Protocélulas

Como señala (Davey, 2022), las protocélulas son estructuras que se forman a partir de la agregación de componentes abióticos (no-vivos). A pesar de ello, muestran ciertas características similares a las células vivas¹⁸⁰. Las protocélulas son básicamente una colección esférica de lípidos autoorganizados¹⁸¹ y ordenados endógenamente¹⁸². La primera estructura que surgió en el mundo prebiótico que podría denominarse protocélula fue el coacervado, descubierto por Oparin. Esta es una microgota esférica sin membrana que puede surgir espontáneamente de soluciones orgánicas débiles¹⁸³. Los coacervados se mantienen unidos por fuerzas

¹⁸⁰ Como se señala en el mismo lugar, una célula posee, generalmente, las siguientes tres características: 1. Una membrana estable y semipermeable que encapsula los componentes celulares, 2. Material genético que puede transmitirse en la formación celular y que controla el comportamiento y la función celular, 3. Generación de energía a través de vías metabólicas que permiten el crecimiento, el automantenimiento y la reproducción.

¹⁸¹ En el sentido de los sistemas complejos, es decir, la autoorganización es el proceso en el que surge alguna forma de orden general (en el sentido que se generan interrelaciones con cierto grado de complejidad -el suficiente para que la totalidad sea más que sus partes- entre todos sus componentes, los de la totalidad de referencia) a partir de interacciones locales, de carácter más simple, entre partes de un sistema que inicialmente no poseía el orden general ya descrito (lo que implica, lógicamente, la existencia de un proceso de complejización gradual de tales relaciones, tal como la que generó el origen la vida desde los planteamientos de Oparin y Haldane aquí expuestos).

¹⁸² Sin necesidad de interacción con el exterior. Sin embargo, siendo rigurosos, esta endogeneidad es relativa (nunca absoluta), puesto que siempre, de una u otra forma, el exterior influye (aunque sea mínimamente) en la autoconfiguración del sistema complejo analizado. Esto se afirma bajo el principio dialéctico-materialista señalado en (Nabi, SOBRE LA VISIÓN MARXISTA DE LA EXISTENCIA COMO ESTRUCTURA ORGÁNICA OBJETIVA (BORRADOR), 2022) conocido como *Ley de Conexión Universal y Acción Recíproca*. El único sistema que es absolutamente endógeno es la existencia como totalidad, es decir, el sistema de sistemas o sistema universal, puesto que en caso contrario se requeriría la intervención de un agente externo y, lógicamente, este agente sólo podría ser alguna variedad de deidad, lo que haría incurrir al sistema filosófico que lo plantea en alguna variedad de idealismo subjetivo.

¹⁸³ Lo que caracteriza a un ácido débil es su propiedad de disociación, en concreto, que cuando se disuelven en una solución, estos ácidos no se disocian completamente (*i.e.*, sólo parcialmente) en sus diferentes iones constituyentes. Adicionalmente, cuando un ácido débil se disuelve en agua, se desarrolla un equilibrio entre las concentraciones del propio ácido débil y sus iones constituyentes. Un ácido débil no está completamente ionizado en solución. Precisamente por ello los ácidos débiles pueden complejizarse hasta formar compuestos orgánicos ácidos, como se verifica en (Clark, 2020). En el mismo sentido, algunos compuestos producen iones de hidróxido cuando se disuelven al reaccionar químicamente con moléculas de agua. En todos los casos, estos compuestos reaccionan solo parcialmente (en el sentido definido para ácidos débiles), por lo que se clasifican como bases débiles.

hidrófobas (repelentes de moléculas de agua) y son análogos a la formación de gotas de aceite en el agua.

Las protocélulas muestran ciertas características en común con las células. Sin embargo, habrían tenido que lograr estas funciones de maneras diferentes y más simples. En el caso del transporte de membrana, las células modernas utilizan maquinaria proteica compleja. Las protocélulas pueden haber logrado el transporte de membrana (que es crucial para el intercambio de contenido) de forma pasiva a través de procesos como la ósmosis. De esta forma, podrían haber intercambiado iones y pequeñas moléculas con su entorno circundante.

Como sus membranas eran semipermeables, los nucleósidos podrían haberse intercambiado, entre otras cosas. El intercambio de información, uno de los requisitos previos para la vida, habría sido relativamente fácil entre una protocélula y otra. La gemación de vesículas¹⁸⁴ podría haber sido otro mecanismo que podría conducir al intercambio molecular y genético.

¹⁸⁴ Según (Watkinson, Boddy, & Money, 2016, pág. 51), la secreción de proteínas es una característica importante de los hongos y otras entidades orgánicas que es fundamental para su ecología y muy usada para fines biotecnológicos. La liberación de enzimas [como señalan (Lewis & Stone., 2022), las enzimas (en su gran mayoría) son proteínas que actúan sobre las moléculas de sustrato (es típicamente la especie química que se observa en una reacción química, que reacciona con un reactivo -es una sustancia o compuesto agregado a un sistema para causar una reacción química, o prueba si ocurre- para generar un producto -la especie formada a partir de reacciones químicas-) y disminuyen la energía de activación necesaria para que ocurra una reacción química al estabilizar el estado de transición], se regula en tiempo y espacio según los sustratos disponibles y la condición del hongo u otra entidad orgánica. Como (ScienceDirect, 2022), la secreción de proteínas, una característica celular universal, juega un papel fundamental en la inmunidad innata y adaptativa. De hecho, la caracterización funcional y fenotípica de las células inmunitarias (p. ej., linfocitos efectores o macrófagos) implica análisis cuantitativos y cualitativos de la expresión de proteínas secretoras (p. ej., citocinas, anticuerpos, ligandos y receptores). Como señalan (Bonifacino & Glick, 2004, pág. 153), el trabajo de George Palade et al. (1975) sobre secreción proteínica estableció que las proteínas secretoras recién sintetizadas pasan a través de una serie de orgánulos encerrados en membranas, incluido el retículo endoplasmático (ER), el complejo de Golgi y los gránulos secretores, en su camino hacia el espacio extracelular (la parte de un organismo multicelular fuera de las células, que generalmente se considera fuera de las membranas plasmáticas y está ocupada por líquido). Las proteínas destinadas a residir en la membrana plasmática, las endosomas o los lisosomas comparten las primeras estaciones de esta vía (es decir, el ER y el aparato de Golgi) con las proteínas secretoras. Es importante destacar que las proteínas

Se cree que las protocélulas facilitaron la reproducción del ARN y, por lo tanto, el intercambio de información genética en un momento anterior al advenimiento del ADN y las proteínas (la hipótesis del mundo del ARN). Como se supone que el ARN habría estado en una concentración demasiado baja para ser capaces de intercambiar información por sí mismos, habrían necesitado compartimentos para replicarse. Las protocélulas habrían proporcionado ese entorno y habrían iniciado el proceso de la vida.

Las protocélulas no sólo son de interés en las investigaciones sobre el origen de la vida, sino también en el diseño de células sintéticas, las cuales tienen una amplia variedad de usos como tecnología. Así, señalan (Vibhute, y otros, 2020, pág. 2797) que la formación de protocélulas citomiméticas¹⁸⁵ que capturan los aspectos fisicoquímicos de las células vivas es un objetivo importante en la biología sintética ascendente¹⁸⁶. En la investigación citada se recrea el citoplasma abarrotado¹⁸⁷ en

secretoras a menudo se encuentran dentro de pequeñas vesículas rodeadas de membranas intercaladas entre los principales orgánulos de la vía. Estas observaciones inspiraron la hipótesis del transporte vesicular, que establece que la transferencia de moléculas de carga (una molécula de carga es cualquier proteína que se transporta dentro de las vesículas del sistema secretor de una célula -es decir, desde el retículo endoplásmico hasta el aparato de Golgi y la membrana plasmática-) entre los orgánulos de la vía secretora está mediada por el transporte de vesículas [este transporte es la actividad celular responsable por el transporte de moléculas entre el medio extracelular y el interior de la célula y entre los diferentes organelos celulares; como señala (Yeagle, 2016, pág. 394), este transporte de vesículas deja intacta la integridad del retículo endoplásmico y del aparato de Golgi, lo que implica un proceso de clasificación eficaz que separa, por ejemplo, las proteínas de membrana del retículo endoplásmico intrínsecas de las proteínas de membrana que son transportadas por las vesículas de transporte -esta es una muestra del principio de mínima acción que funciona en la Naturaleza, sea a nivel de sistemas teleológicos o sistemas mecánicos-]. De acuerdo con esta hipótesis, las vesículas brotan de un compartimento "donante" ("gemación de vesículas") mediante un proceso que permite la incorporación selectiva de carga en las vesículas en formación mientras retiene las proteínas residentes en el compartimento donante ("clasificación de proteínas"). Posteriormente, las vesículas se dirigen a un compartimento "aceptor" específico ("dirigido a vesículas"), en el que descargan su carga tras la fusión (unificación orgánica -orgánica en el sentido de un todo coherente-) de sus membranas limitantes ("fusión de vesículas").

¹⁸⁵ La naturaleza le lleva al ser humano millones de años de ventaja en cualquier campo, por lo que es más ventajoso copiarla que intentar superarla. Así, nace la biomimética, la ciencia que estudia la naturaleza para replicarla a nivel tecnológico para resolver aquellos problemas que ésta ya ha resuelto a través de sus sistemas y procesos (sean estos teleológicos o mecánicos). Protocélulas biomiméticas son aquellas diseñadas en condiciones de laboratorio para replicar a las células vivas.

¹⁸⁶ Que busca ir de los organismos más simples a los más complejos.

protocélulas basadas en liposomas y se estudia la cinética de la expresión génica libre de células¹⁸⁸ en estos contenedores abarrotados. Se descubrió que la difusión de componentes clave se ve afectada no solo por el abarrotamiento macromolecular sino también por la actividad enzimática en la protocélula. Sorprendentemente, la difusión dependiente del tamaño en condiciones de abarrotamiento produjo dos máximos distintos para la síntesis de proteínas, lo que refleja el impacto diferencial del abarrotamiento en la transcripción y traducción¹⁸⁹. Los datos experimentales obtenidos por los investigadores muestran, por primera vez, que el abarrotamiento macromolecular induce un cambio de control de

¹⁸⁷ El citoplasma es todo el material dentro de una célula eucariota, encerrado por la membrana celular, excepto el núcleo celular. La expresión “citoplasma abarrotado” hace referencia a la densidad macromolecular del citoplasma. Como se verifica en (Acerenza & Graña, 2006, págs. 583-584), la fuerza impulsora que conduce al estado celular abarrotado podría ser el aumento en la tasa de crecimiento producido por una mayor concentración de proteína citoplasmática. Las consideraciones fisicoquímicas descritas anteriormente proporcionan evidencia de que algunos de los cambios en las propiedades de las proteínas, en la evolución de un citoplasma diluido a uno abarrotado, podrían conferir al organismo una ventaja evolutiva. Adicionalmente, señala (Ellis, 2001, pág. 603), este abarrotamiento no parece ser un epifenómeno porque una alta no-linealidad de los efectos de abarrotamiento genera una exquisita sensibilidad de las propiedades macromoleculares a pequeños cambios en su entorno que es plausiblemente un *sine qua non* para el estado de vida o, en otras palabras, el abarrotamiento macromolecular altera las propiedades de las moléculas en una solución cuando hay altas concentraciones de macromoléculas como las proteínas. Es difícil imaginar que los sistemas bioquímicos pudieran operar de manera efectiva si la concentración total de macromoléculas dentro de las células fuera relativamente poco abarrotada. El creciente número de nuevas proteínas descubiertas por los análisis de secuencias genómicas hace que este sea un momento particularmente apropiado para que más investigadores añadan multitud al menú de conceptos en los que basan sus estudios de los constituyentes macromoleculares de las células vivas.

¹⁸⁸ Como señalan (Silverman, Karim, & Jewett, 2020, pág. 151), la biología libre de células es la activación de procesos biológicos sin el uso de células vivas intactas. Se ha utilizado durante más de 50 años en las ciencias de la vida como una herramienta fundamental de investigación, pero un renacimiento técnico reciente ha facilitado sistemas de expresión génica libres de células de alto rendimiento (gramos de proteína por litro) a partir de bacterias modelo, el desarrollo de plataformas libres de células de organismos no-modelo y estrategias multiplexadas (un proceso multiplexado es un proceso biológico que funciona en muchos elementos distintos -p. ej., células, moléculas de ADN, metabolitos- que coexisten en el espacio y el tiempo) para evaluar rápidamente el diseño biológico. Estos avances brindan oportunidades emocionantes para transformar profundamente la biología sintética al permitir nuevos enfoques para el diseño basado en modelos de redes de genes sintéticos, la detección rápida y portátil de compuestos, la biofabricación bajo demanda, la construcción de células de abajo hacia arriba (esto está directamente vinculado con las investigaciones relativas al origen de la vida) y la próxima generación de equipos para educación.

¹⁸⁹ Con ello, se refleja también la no-uniformidad y el carácter esencialmente concreto (no-apriorístico y de formalidad relativa -no absoluta-) de los procesos complejos y de la existencia en general.

reacción a control de difusión¹⁹⁰ y que este cambio depende del tamaño de las macromoléculas involucradas¹⁹¹.

Figura 39

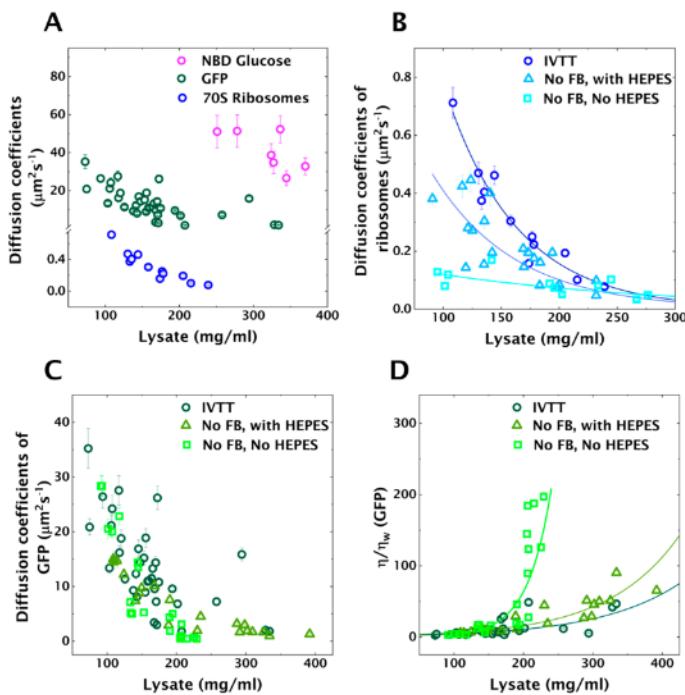


Figure 2. Diffusion coefficients as a function of crowding (lysate concentration) determined using FRAP in protocells. The error bars represent standard deviation calculated by estimating the uncertainties in fit parameters (see Methods). (A) Diffusion coefficients of NBDG, GFP and Atto488 labeled 70S ribosomes. (B) Diffusion coefficients of Atto488 labeled 70S ribosomes in crowded protocells in three different conditions (the solid lines are exponential fits): (i) in the presence of IVTT; (ii) metabolically inactive with buffered pH (HEPES at pH 8); (iii) metabolically inactive without buffered pH. (C) Diffusion coefficients of GFP under the same three conditions as B. (D) Effective viscosity determined using GFP diffusion coefficients and Stokes-Einstein equation. The solid lines are exponential fits.

Fuente: (Vibhute, y otros, 2020, pág. 2799).

Figura 40

¹⁹⁰ Control de reacción es el control del proceso que conduce a la transformación química de un conjunto de sustancias químicas en otro. Por otro lado, control de difusión es el control del movimiento aleatorio (como recurso gnoseológico, tal como se especificará en la sección III.II.II) de partículas a través del espacio, generalmente debido a un gradiente de concentración. La difusión es un proceso espontáneo (en el sentido antes definido) y es el resultado de los movimientos térmicos aleatorios entre dos partículas.

¹⁹¹ Estos resultados destacan la necesidad de controlar el entorno físico en el diseño de células sintéticas y muestran que el tamaño de los elementos del sistema (que es una forma más sofisticada y general de “el número de componentes -o grados de libertad- del sistema” que ocurre en los sistemas mecánicos y en los sistemas estadísticos) es relevante en la evolución y complejización del sistema.

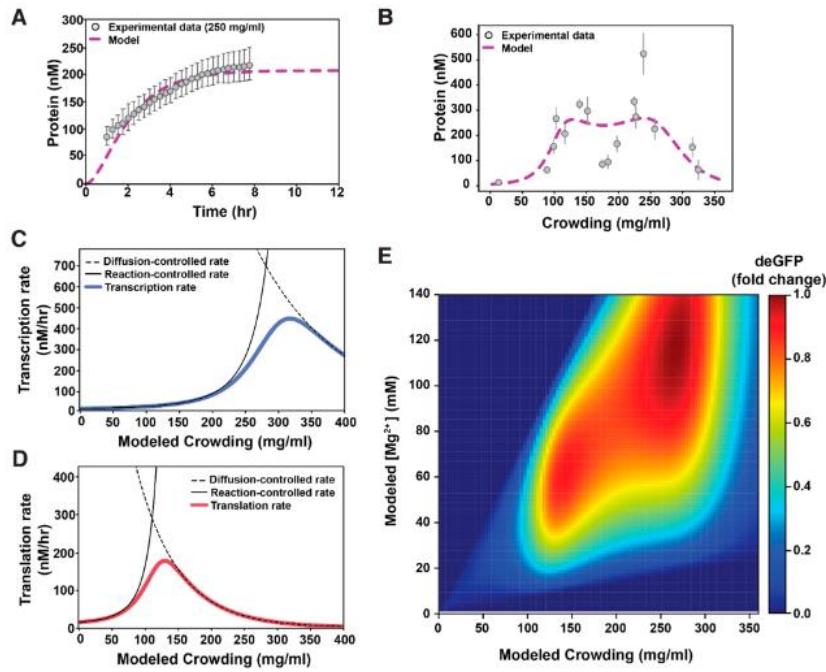


Figure 4. Mathematical modeling of gene expression as macromolecular crowding is increased. (A) The model fit to experimental time-lapse data at 250 mg/mL of macromolecular crowding to obtain values for k_{dep} and Res ($RMSE = 10.1$). The error bars in the experimental data correspond to standard deviation when measuring fluorescence in multiple liposomes ($n = 19$). (B) The model fit to experimental protein yield at 4 h, for varying concentrations of macromolecular crowding conditions to obtain values for $\Delta u_{x/r}$. The error bars in the experimental data correspond to standard deviation over liposomes imaged corresponding to each lysate concentration. The number of liposomes corresponding to each lysate concentration ranged between 4 and 23. (C and D) Black dashed lines represent the diffusion-controlled rates calculated from the experimental data in Figure 2A. Black full lines represent the reaction-controlled rates calculated from the experimental data in Figure 4B; blue and red full lines represent the transition from reaction-to-diffusion control for transcription and translation, respectively. (E) Modeled fold change in deGFP produced for different amounts of modeled macromolecular crowding and final $[Mg^{2+}]$ in shrunk liposomes. The fold change is calculated with respect to the maximum amount of protein produced corresponding to ~ 260 mg/mL of lysate.

Fuente: (Vibhute, y otros, 2020, pág. 2802).

Como señalan (Lyu, y otros, 2018, pág. 1), una red de reacción de ADN es como un algoritmo biológico que puede responder a 'señales de entrada moleculares', como moléculas biológicas, mientras que la célula artificial es como un micro-robot cuya función está impulsada por la red de reacción de ADN encapsulada. En la investigación citada, se describe la viabilidad de utilizar una red de reacción de ADN como núcleo computacional de una protocélula, que realizará una respuesta inmune artificial de manera concisa para eliminar un desafío patógeno imitado. Tal protocélula impulsada por una red de reacción de ADN puede realizar la conexión de computación lógica y reconocimiento biológico debido a la programabilidad natural y las propiedades biológicas del ADN. Por lo tanto, las moléculas de entrada biológicas pueden participar fácilmente en el cálculo molecular y el proceso de cálculo puede aislarlo espacialmente y protegerse mediante una

membrana bicapa artificial. Los autores consideran que la estrategia propuesta en su documento (que consiste en usar ADN RN¹⁹² para alimentar células artificiales) sentará las bases para comprender los principios básicos de diseño de nanodispositivos basados en algoritmos de ADN que, a su vez, inspirarán la construcción de células artificiales, o protocélulas, que encontrarán un lugar en futuras investigaciones biomédicas.

Figura 41

¹⁹² El ADN RN o ADN de Redes de Reacción (“Reaction Networks” en inglés), como señalan (Fu, y otros, 2018, pág. 547), son redes de lógica artificial (que buscan replicar en laboratorio los circuitos lógicos que objetivamente ocurren en la Naturaleza, en este caso, en aquellos procesos de reacción o cadenas reactivas (cadenas que involucran reactivos; un reactivo es toda sustancia que interactuando con otra -también reactivo- en una reacción química da lugar a otras sustancias de propiedades, características y conformación distinta, denominadas productos de reacción o simplemente producto) en los que está involucrado el ADN] proponen el uso de moléculas para realizar cálculos básicos, con el objetivo final de construir computadoras submicroscópicas. Los ADN, como moléculas programables de origen natural, se adoptaron por primera vez para construir dichos algoritmos en 1994, cuando Adleman usó una hebra de ADN como una herramienta informática paralela para resolver un problema de ruta hamiltoniano simplificado [problema en la teoría matemática de grafos acerca de si un camino hamiltoniano (un camino en un grafo dirigido o no dirigido que visita cada vértice exactamente una vez) o si existe un ciclo hamiltoniano en un grafo dado (sea dirigido o no dirigido); un grafo dirigido o digrafo es un tipo de grafo en el cual las aristas tienen un sentido definido, a diferencia del grafo no-dirigido, en el cual las aristas son relaciones simétricas y no apuntan en ningún sentido], con la ayuda de algunas biotecnologías como la ligadura y la reacción en cadena (redes de reacción) de la polimerasa.

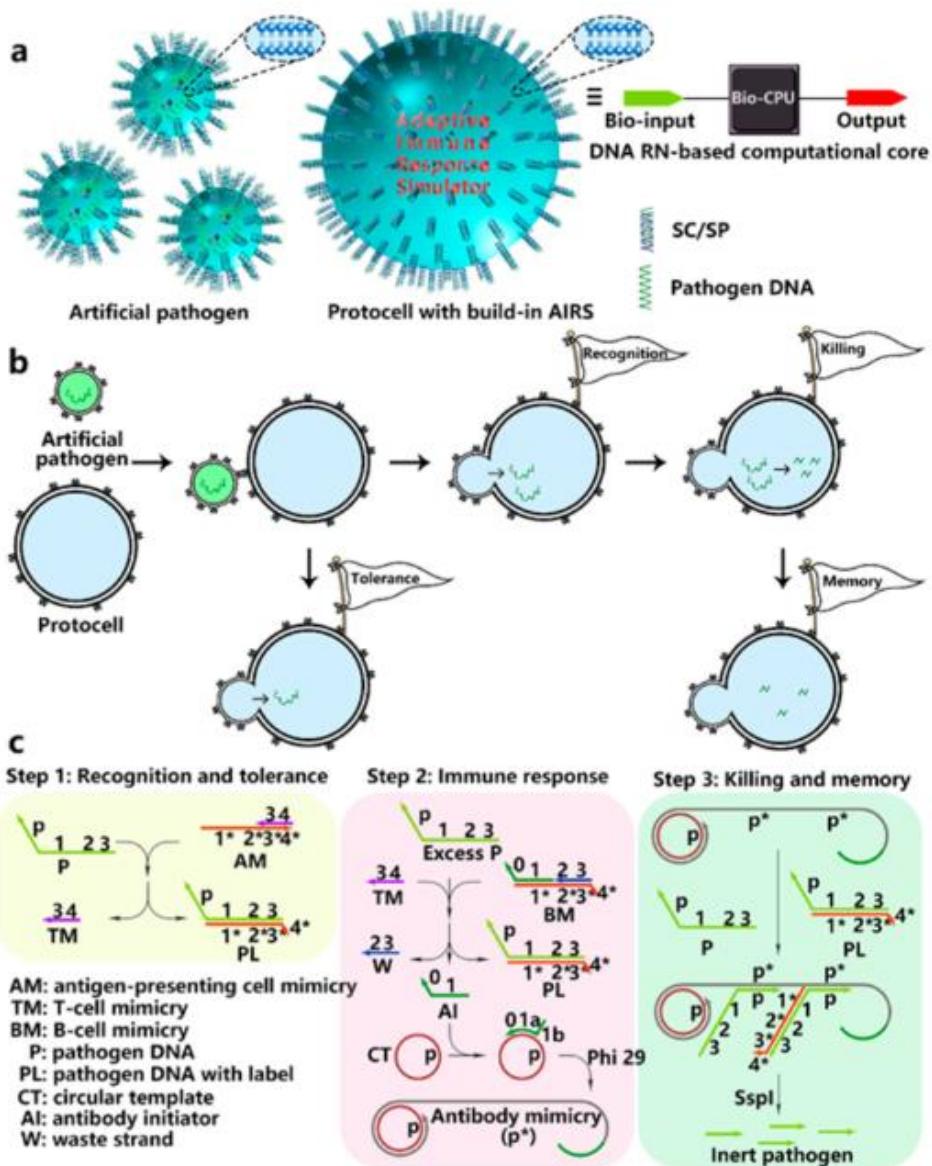


Figure 1.

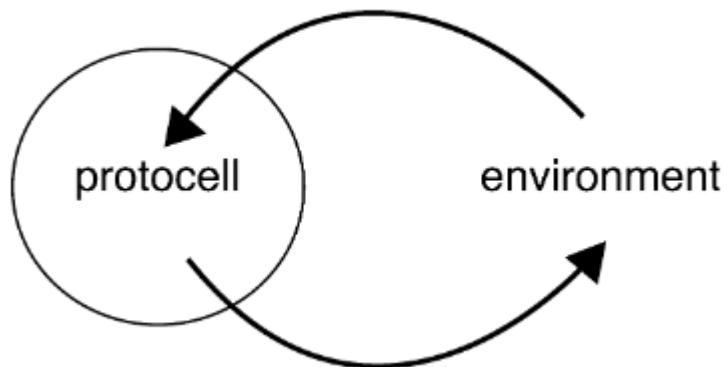
Schematic figure of protocells with built-in DNA RN-based computational core. (a) The artificial pathogen consists of a bilayer-membrane structure, loaded pathogen DNA and cholesterol-modified dsDNA inserted on the membrane. The protocell consists of a bilayer-membrane structure, encapsulated AIRS, and cholesterol-modified dsDNA on the membrane. (b) Cartoon figures that illustrate the infection mimicry between artificial pathogen and protocell, followed by triggered AIRS inside of a protocell to eliminate the infected pathogen DNA as the result of DNA RN-based computation. (c) Working principle of the DNA computational core (AIRS) built inside the protocell. Step 1: recognition and tolerance. Step 2: immune response. Step 3: killing and memory. Abbreviations used in this paper are listed in Table S2.

Fuente: (Lyu, y otros, 2018, pág. 15).

Como señalan (Del Bianco & Mansy, 2012, pág. 2126), el primer lugar para comenzar cuando se construye una protocélula es darle identidad al sistema, identidad similar a la de una célula. Dado que la vida no está en equilibrio termodinámico con el medio ambiente¹⁹³, se requiere una separación entre los dos (figura 43). Existen varias formas de lograr la segregación entre las protocélulas y el medio ambiente.

Figura 42

¹⁹³ Sin embargo, es evidente que no estar en equilibrio termodinámico con el ambiente es lo que permite su evolución, así como la ausencia de equilibrio termodinámico de las protocélulas (cuya forma primitiva, y por consiguiente más pura, son los coacervados) en su relación con el ambiente fue lo que permitió el surgimiento de la vida misma. Por tanto, sí es un equilibrio, de naturaleza dinámica, pero no de naturaleza mecánica. No todo equilibrio es un equilibrio en el sentido mecánico y los equilibrios de los sistemas complejos (por ejemplo, los sistemas cuánticos disipativos, que son sistemas cuánticos en que el sistema físico en cuestión interactúa con su medio, por lo que hay disipación -fuga- de energía y, por consiguiente, alejamiento del equilibrio clásicamente concebido) son equilibrios complejos en cuanto son equilibrios (en el sentido de condiciones necesarias para la evolución dinámica) entre sistemas que exigen el desequilibrio entre ellos (en su relación recíproca). Un ejemplo clásico de esto es el modo de producción capitalista o, más específicamente, la formación económico-social [la unidad del modo de producción (que es la unidad de las fuerzas productivas y de las relaciones de producción) y de la superestructura ideológica y política (de la superestructura en general)] capitalista. El capitalismo necesita (entendiendo necesidad como un fenómeno sujeto a ley) de profundos desequilibrios sociales (tanto nacionales como supranacionales) para que su dinámica de largo plazo (que consiste en la acumulación, concentración y centralización del capital) se lleve a cabo; sin embargo, a pesar de que este es su equilibrio complejo, periódicamente tal equilibrio se rompe y se generan las crisis de sobreproducción, que interrumpe temporalmente su dinámica de largo plazo, pero simultáneamente establece las condiciones para que la intensidad de tal dinámica, una vez terminada la interrupción temporal (la crisis), se agudice (esto lo realiza a través de la centralización del capital -que los capitalistas se devoren unos a otros, generando que la riqueza social, que en el capitalismo adopta la forma de capital, se localice en menos manos-, fenómeno que caracteriza la dinámica entre capitalistas durante las crisis de sobreproducción). Es un equilibrio a través del desequilibrio [hecho reflejado en las condiciones de reproducción ampliada, teorizadas por Marx y específicas por (Rosdolsky, 2004, págs. 491-554)].



Fuente: (Del Bianco & Mansy, 2012, pág. 2125).

Figura 43

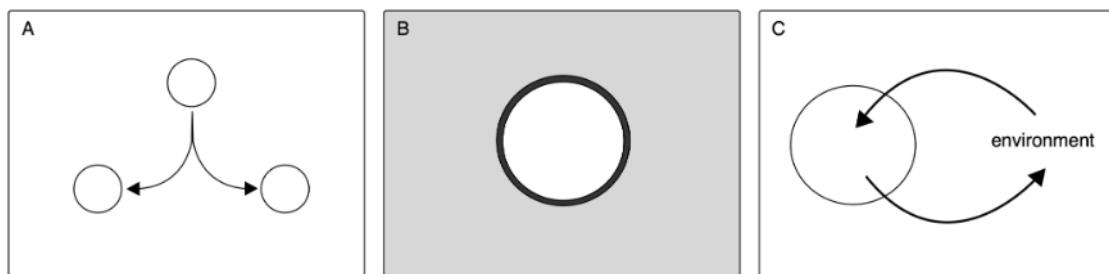


FIGURE 1. There are several features of life that could be mimicked chemically in the laboratory. For example, living systems replicate (A), have identity (B), and interact with the environment (C). Panel B emphasizes the boundary structure (dark gray) between the inside of a (proto)cell (white) and the environment (light gray).

Fuente: (Del Bianco & Mansy, 2012, pág. 2126).

Adicionalmente, (Del Bianco & Mansy, 2012, pág. 2128) señalan que, si el medio ambiente afectó significativamente a las protocélulas, ¿podrían las protocélulas también haber afectado el medio ambiente? La historia de la vida en la Tierra parece sugerir que las primeras células de la Tierra habrían influido en la Tierra primitiva. El hecho de que la Tierra pasó de ser anaeróbica a aeróbica debido a la actividad de la vida ilustra el impacto que la vida puede tener en el medio ambiente. Aunque la actividad protocelular probablemente tuvo un efecto más limitado en el medio ambiente, la simple existencia de protocélulas habría significado que el medio ambiente se habría utilizado como fuente de nutrientes químicos y como un espacio para disipar especies químicas no deseadas que

interfieren con las necesidades de la protocélula. (Figura 44). En otras palabras, las protocélulas habrían cambiado la composición de su entorno secuestrando, transformando y liberando selectivamente moléculas específicas. Sin embargo, la escala de tal efecto, particularmente durante las primeras etapas de la evolución, no está clara.

Figura 44

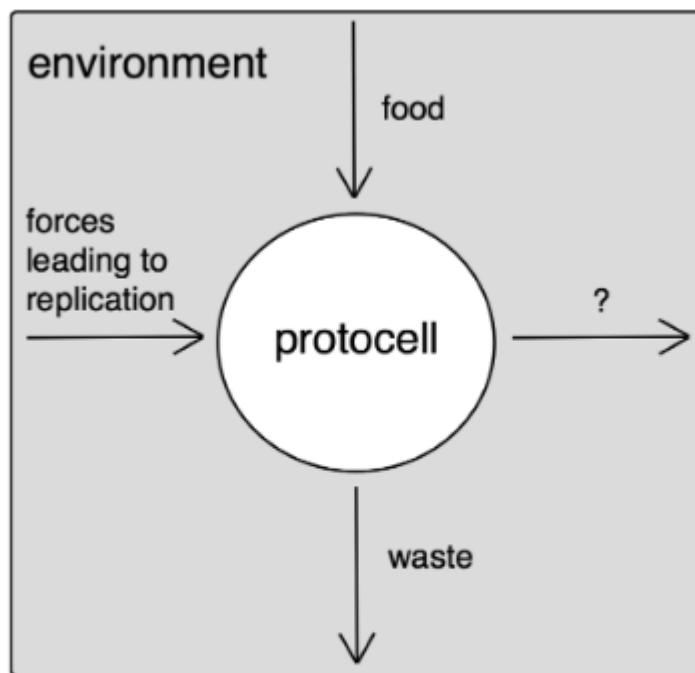


FIGURE 3. Potential interactions between a protocell and the environment. A protocell consumes molecules from the environment and releases waste molecules into the environment. Both processes change the chemical composition of the surroundings. Environmental fluctuations impact the behavior of the protocell, potentially leading to protocell replication. There likely were additional ways in which protocells impacted the environment.

Fuente: (Del Bianco & Mansy, 2012, pág. 2128).

El descubrimiento de las protocélulas por parte de Oparin es uno de los mejores legados de la sociedad soviética que, aunque con multiplicidad de aspectos

perfectibles que explican parcialmente su derrumbe¹⁹⁴, fue un legítimo y valioso esfuerzo por la construcción de un mundo mejor.

III.I. XIV. Tioésteres de Aminoácidos

Para comprender el concepto de tioésteres de aminoácidos es necesario comprender antes algunos otros conceptos.

Una clase química es una clasificación de elementos o compuestos de acuerdo con el grupo funcional o la estructura química pertinente. Una estructura química (o fórmula estructural) es determinada por la geometría molecular y, cuando es factible y necesario, por la estructura electrónica (el estado de movimiento de electrones en un campo electrostático creado por un núcleo estacionario) de la molécula objetivo o del sólido objetivo.

Un sustituyente es uno o un grupo de átomos que reemplaza (a uno o más) átomos de hidrógeno en la cadena principal de un hidrocarburo, convirtiéndose así en un resto en la nueva molécula resultante. En química orgánica y bioquímica, los términos “sustituyente” y “grupo funcional”, así como “cadena lateral” y “grupo colgante”, se usan casi indistintamente para describir esas ramas de la estructura principal, aunque se hacen ciertas distinciones en química de polímeros¹⁹⁵. En los

¹⁹⁴ Otros aspectos tienen que ver con su interacción con el exterior, con el mundo del capitalismo occidental.

¹⁹⁵ Específicamente, la diferencia clave entre el grupo funcional y el sustituyente es que el grupo funcional es una parte activa de una molécula, mientras que el sustituyente es una especie química que puede reemplazar un átomo o un grupo de átomos en una molécula. Un grupo funcional es un tipo específico de sustituyente que provoca la actividad de una molécula. Esto significa que las reacciones que experimenta una determinada molécula están determinadas por el grupo funcional. Sin embargo, un sustituyente puede ser una especie química activa (un compuesto activo es una pequeña molécula que inhibe, estimula o altera específicamente la producción o actividad de un objetivo; el término especie química se usa comúnmente para referirse de forma genérica a átomos, moléculas, iones, radicales, etc., que sean el objeto de consideración o estudio) o una especie química inactiva [que puede no inhibir, ni estimular ni alterar la producción o actividad de un objetivo, o bien, como se verifica en (Ross, y otros, 2012, pág. 3), la distinción entre sustancia activa o inactiva puede establecerse en términos de que la inhibición, estímulo o alteración en cuestión sobrepuje o no determinado umbral, respectivamente]. Supóngase se están preparando dos budines de ciruela. En el budín A se agrega azafrán y en el B se agrega cardamomo. Supóngase además que los budines de ciruela son compuestos químicos, así como que el cardamomo y el azafrán son grupos funcionales. Ambos tendrán un sabor diferente, puesto que ambos compuestos

polímeros, las cadenas laterales se extienden desde la estructura del esqueleto. En las proteínas, las cadenas laterales están unidas a los átomos de carbono alfa¹⁹⁶ del esqueleto de aminoácidos. Un resto es una parte de una molécula que recibe un nombre porque también se identifica como parte de otras moléculas. Un grupo químico o grupo funcional es un sustituyente o resto en una molécula que causa las reacciones características de la molécula.

Un tiol es un compuesto organosulfurado (compuesto orgánico que contiene azufre) con la forma $R - SH$, donde R representa un alquilo u otro sustituyente orgánico. El propio grupo funcional $- SH$ se denomina grupo tiol, grupo sulfhidrilo o grupo sulfanilo. Los tioles son el análogo de azufre de los alcoholes (es decir, el azufre ocupa el lugar del oxígeno en el grupo hidroxilo de un alcohol), y la palabra es una mezcla de "tio-" con "alcohol", donde la primera palabra deriva del griego *θεῖον* (theion) que significa "azufre". Un tiol es un compuesto que contiene el grupo funcional formado por un átomo de azufre y un átomo de hidrógeno ($- SH$).

Siendo el azufre análogo de un grupo hidroxilo ($- OH$), este grupo funcional es llamado grupo tiol o grupo sulfhidrilo. Tradicionalmente los tioles son denominados mercaptanos.

El sulfhidrilo o tiol se forma cuando un haloalcano¹⁹⁷ se calienta con una solución de hidrosulfuro de sodio. Así, el método de producción de tioles es similar al de éteres y alcoholes. Además, las reacciones, en este caso, son más rápidas y

tienen diferentes propiedades, lo cual se explica porque ambos tienen diferentes grupos funcionales. El cardamomo es un grupo funcional y con este ingrediente viene aparejada una preparación y reacción frente a otros ingredientes, lo que en términos de la química orgánica equivale a una composición y reacción de un grupo funcional concreto. Cuando no se dispone de azafrán se le agrega colorante alimentario, resultando por ello que el cardamomo es sustituido por otro grupo funcional, obteniéndose, por tanto, un nuevo compuesto. Eso es precisamente una sustitución molecular (o atómica, según sea el caso). $CH_3CH_2OH - OH$ es un grupo funcional. Una sustitución es, por ejemplo, $CH_3CH_2COOH -$, donde OH es sustituido por $COOH$.

¹⁹⁶ En química orgánica, el carbono alfa (C_α) se refiere al primer átomo de carbono que se une a un grupo funcional, como un carbonilo. El segundo átomo de carbono se llama carbono beta (C_β), y el sistema de nombres continúa en orden alfabético griego.

¹⁹⁷ Compuesto químico derivado de un alcano por sustitución de uno o más átomos de hidrógeno por átomos de halógeno.

productivas, ya que los aniones de azufre son nucleófilos¹⁹⁸ superiores en comparación con los átomos de oxígeno.

Los aminoácidos son estructuras moleculares con un grupo amino¹⁹⁹ ($-NH_2$) en uno de los extremos de la molécula y un grupo carboxilo²⁰⁰ ($-COOH$) en el otro extremo. Así, como señalan (Reitner & Thiel, 2011, pág. 876), los tioésteres se forman cuando un tiol se une a un ácido carboxílico ($R' - COOH$) en condiciones ambientales ácidas y de alta temperatura. La forma general se escribe como un grupo orgánico (R) enlazado con azufre e hidrógeno, por lo tanto, $R - SH$. En este proceso se libera H_2O y finalmente se forma un tioéster: $R - S - CO - R'$.

Históricamente, como se señala en (Big Chemical Encyclopedia, 2022), el descubrimiento de una ruta prebiótica general hacia los tioésteres de aminoácidos ocurrió en 1998, cuando Arthur L. Weber, quien en la actualidad trabaja en el Instituto Seti del Centro de Investigación Ames en Moffett Field, informó que la síntesis exitosa de tioésteres de aminoácidos a partir de sustratos de formosa (formaldehído y glicolaldehído) y la síntesis de amoníaco de alanina y homoserina fue posible cuando al tiol se añadieron catalizadores a la mezcla de reacción.

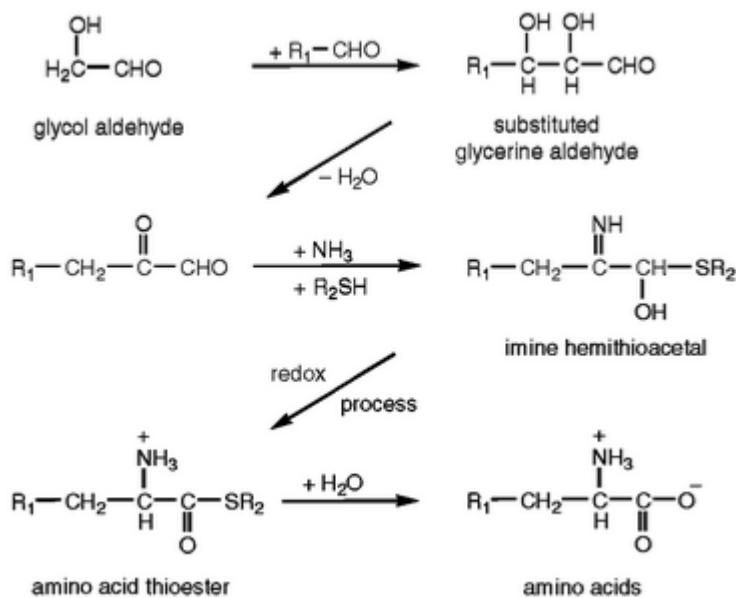
Sobre la base de sus resultados experimentales, Weber sugirió que el proceso mostrado en la siguiente figura es una ruta prebiótica general hacia los tioésteres de aminoácidos.

Figura 45

¹⁹⁸ Es una especie química que reacciona cediendo un par de electrones libres (electrones que no están unidos al núcleo de un átomo y se mueven libremente cuando se aplica energía externa) a otra especie, combinándose y enlazándose covalentemente con ella. Un nucleófilo, concepto cinético, es también por definición una base de Lewis, concepto termodinámico.

¹⁹⁹ Un grupo amino es un grupo funcional derivado del amoníaco o alguno de sus derivados alquilados por eliminación de uno de sus átomos de hidrógeno, por ejemplo, ($-NH_2$). La fórmula puede variar según la procedencia de la molécula (según si procede de amoníaco o de alguno de sus derivados).

²⁰⁰ Un grupo carboxilo es un grupo Funcional con la estructura ($-COOH$).



Fuente: (Big Chemical Encyclopedia, 2022).

III.I. XV. Suavizamiento de las Cadenas de Nucleótidos

Como señalan (Paik, Roskens, & Perkins, 2013, pág. 1), el proceso de transcripción de ADN se encuentra restringido por torsión y esta restricción consiste el anclamiento²⁰¹ los extremos del ADN a dos superficies separadas a través de enlaces múltiples²⁰², los cuales pueden ser, principalmente, enlaces covalentes o iónicos, enlaces de hidrógeno o enlaces químicos débiles²⁰³.

Como señala (Harris, 2015), cuando el ADN está en equilibrio y no bajo ninguna tensión de torsión²⁰⁴, una rotación completa de la doble hélice contiene 10.6 pares de bases. Sin embargo, cuando se replica, toda la cadena de ADN debe dividirse en dos nuevas cadenas²⁰⁵. Esta separación introduce una cantidad significativa de

²⁰¹ El uso de esta palabra es válido, por cuanto es la acción y efecto de anclar; sin embargo, en la actualidad de la lengua castellana esta palabra ha caído en desuso. Véase (Real Academia Española, 2021).

²⁰² Aunque separadas, siempre localizadas en la estructura física de la célula.

²⁰³ Véase (Biology Discussion, 2022).

²⁰⁴ La tensión generada por la torsión antes descrita.

²⁰⁵ Aquí se ve, de nuevo, la importancia del desequilibrio en la evolución de todo sistema, entendiendo el equilibrio en su sentido clásico, puesto que, desde una visión compleja, este desequilibrio es una forma más sofisticada de equilibrio.

tensión torsional en la bobina de ADN²⁰⁶. Esto puede concebirse como el cable del auricular de un teléfono clásico que está completamente enredado debido a todas las rotaciones del auricular a lo largo del tiempo. Este proceso de enredo del ADN se llama superenrollamiento. La única forma de disminuir la tensión a un nivel tolerable y manipulable por la estructura molecular (al momento de emplear la información comprimida) es romper el ADN, interrumpiéndose la continuidad de uno de sus dos segmentos (los que conforman la doble hélice) y volver a unir este segmento roto (descontinuado) en otra localización de la doble hélice²⁰⁷. Las enzimas topoisomerasas hacen precisamente eso. La necesidad de disminuir a determinado nivel la creciente tensión torsional se debe a que, superado cierto umbral, la tensión sería tan grande que se detendría el proceso de replicación del ADN.

²⁰⁶ Con “bobina de ADN” el autor se refiere a los enrollamientos de ADN que existen en diferentes partes de la célula. La bobina de interés aquí es la que reside en el núcleo. Como es ampliamente conocido, las moléculas de ADN llevan instrucciones genéticas para nuestras células. La mayor parte del tiempo, el ADN está estrechamente enrollado alrededor de las proteínas. (Ngo, Zhang, Zhou, Yodh, & Ha, 2015, pág. 1136) señalan que el ADN enrollado actúa como un mecanismo de comprensión con la finalidad de optimizar el espacio físico disponible en la célula. Así, cada célula puede almacenar muchas instrucciones. Esto es equivalente, salvando las distancias, a lo que realizan los programas computacionales de comprensión, por ejemplo, WinRAR, WinZip y otros programas populares equivalentes. Los enrollamientos de ADN en el núcleo son denominados *cromosomas*. Los cromosomas son tramos muy largos de ADN que están cuidadosamente empaquetados por proteínas. La combinación de ADN y las proteínas que empaquetan el ADN se llama *cromatina*. Como señalan (Teves & Henikoff, 2014, pág. 215), los cambios en los estados de torsión también afectan la estructura de la cromatina a escala fina; la investigación sugiere además que la torsión del ADN media la estructura y estabilidad del nucleosoma [como señala (National Human Genome Research Institute, 2022), un nucleosoma es la subunidad de repetición básica de la cromatina condensada dentro del núcleo de la célula. En los seres humanos, se deben condensar aproximadamente seis pies (1.8 metros) de ADN dentro del núcleo con un diámetro menor al de un cabello humano, y los nucleosomas cumplen una función clave en ese proceso. Un nucleosoma único consta de alrededor de 150 pares de bases de secuencia de ADN enrollado alrededor de un centro de proteínas llamadas histonas. Al formar los cromosomas, los nucleosomas se pliegan repetidamente sobre sí mismos para estrechar y empaquetar el ADN condensado].

²⁰⁷ Las enzimas que realizan esta función se denominan *topoisomerasas*. La descrita anteriormente se denomina *topoisomerasa 1*. La *topoisomerasa 2* es una generalización del procedimiento anterior que hace la Naturaleza, puesto que en lugar de cortar una de las hélices, corta simultáneamente ambas hélices y las ata (las vuelve a unir) de otra forma. Sin embargo, aunque la *topoisomerasa 2* sea más general que la 1, ambas son utilizadas por la Naturaleza en diferentes procesos. Esto es el enfoque topológico de la enzimología, tal como se señala en (Nabi, HACIA UNA INTERPRETACIÓN DIALÉCTICA-MATERIALISTA DE LA TOPOLOGÍA GENERAL: GÉNESIS HISTÓRICA-TEÓRICA DE LA TOPOLOGÍA DESDE LA GEOMETRÍA Y LA TEORÍA DE CONJUNTOS, 2022, págs. 44-45).

Una vez comprendida restricción por torsión establecida en el proceso de transcripción del ADN puede exponerse la relevancia del suavizamiento de las cadenas de nucleótidos. (Luan & Aksimentiev, 2008, págs. 1-3) señalan que las simulaciones Monte Carlo por ellos realizadas revelaron que el ablandamiento (suavizamiento) de la tensión puede ocurrir en el proceso de estiramiento del ADN restringido por torsión.

Una característica sorprendente de las curvas de fuerza-extensión²⁰⁸ es una disminución monótona de la fuerza de tracción en la región de transición después del aumento inicial de la fuerza de fluencia f_y , es decir, un efecto de ablandamiento de la deformación. Microscópicamente, el efecto de ablandamiento de la tensión es causado por la ruptura de las interacciones de emparejamiento de pares de bases y el apilamiento de bases. Por lo tanto, dependiendo de la trayectoria histórica del proceso de estiramiento²⁰⁹, la misma fuerza de estiramiento puede llevar al dsADN²¹⁰ a diferentes conformaciones.

III.I. XVI. El ADN y Algunos Elementos Sobre su Dialéctica Materialista

Como señala (Sánchez-Palencia, 2015, págs. 152-157), el ADN es una molécula extremadamente larga, formada por dos hebras, cada una de las cuales es una cadena de polinucleótidos retorcidos en espiral. La composición de cada cadena es extremadamente variada, y es ahí donde está contenida la información.

²⁰⁸ Con “curva” los autores hacen una referencia geométrica a los entrelazamientos de ADN, los cuales por definición implican una determinada fuerza (la requerida para desenrollamiento) y extensión (longitud resultante del desenrollamiento).

²⁰⁹ Dependiendo de la “historia”, en palabras de los autores. Se refieren ellos aquí a las características concretas y acumuladas que el proceso de estiramiento (desenrollamiento) del ADN ha tenido desde el inicio de la transcripción hasta el momento por ellos referido.

²¹⁰ Como se señala en (natureEDUCATION, 2014), el ADN de doble cadena es aquel que consta, como su nombre lo sugiere, de dos cadenas de polinucleótidos cuyas bases nitrogenadas están conectadas por enlaces de hidrógeno. Dentro de esta disposición, cada hebra refleja a la otra como resultado de la orientación antiparalela de los esqueletos (estructuras) de azúcar-fosfato, así como de la naturaleza complementaria del apareamiento de bases A-T (adenina-timina) y C-G (citocina-guanina). Es una estructura de ADN que entrelaza dos estructuras de doble hélice, donde la doble hélice es, precisamente, una cadena de ADN.

Cada nucleótido se compone de penta-fosfato²¹¹ y de una base nitrogenada. Las dos estructuras de hebras se forman de pentosa-fosfato²¹², y las bases nitrogenadas se colocan cara a cara en el interior de la hélice. Estas bases nitrogenadas, una de cada hebra, se emparejan por medio de enlaces de hidrógeno. Este tipo de enlace químico es extremadamente débil y consiste en el emparejamiento por exceso/carencia²¹³. La consecuencia inmediata es que las dos hebras están débilmente unidas una a la otra y por tanto son fácilmente separables. Pero cuando una hebra queda aislada, todas sus bases nitrogenadas tienen átomos de hidrógeno de menos o de más, y están “ávidas” por realizar una pequeña reacción química para completar los huecos o deshacerse de los excesos²¹⁴. Un punto muy importante es que hay cuatro tipos de estas bases de hidrógeno, que se designan con los nombres de adenina (A), citosina (C), guanina (G) y timina (T).

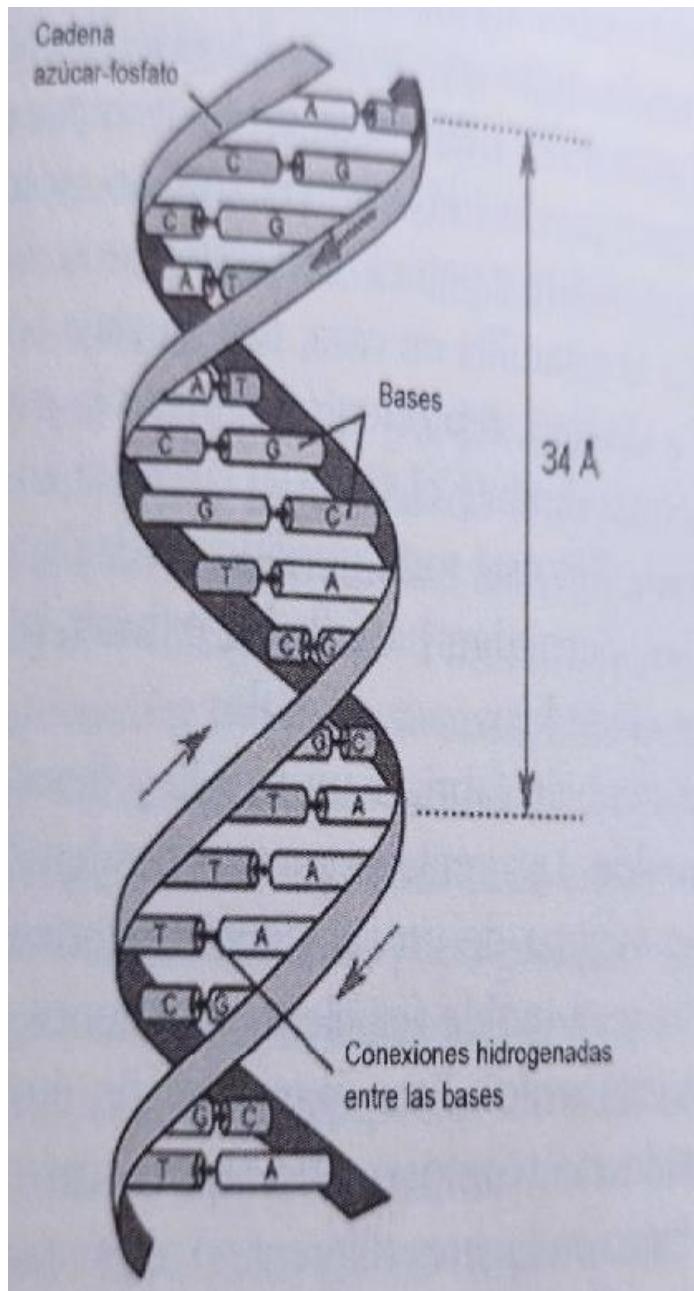
Figura 46. Molécula de ADN

²¹¹ Molécula de señalización intracelular involucrada en la respuesta a estrés (conocida también como respuesta estricta, es la respuesta de bacterias y cloroplastos a inanición de aminoácidos, limitación de ácidos grasos, limitación de hierro, choque térmico y otras condiciones de estrés) en bacterias que causan la inhibición de la síntesis de ARN cuando hay escasez de aminoácidos. Esta inhibición disminuye la traducción en la célula, conservando los aminoácidos presentes. Además, provocan la sobreregulación de muchos otros genes involucrados en la respuesta al estrés, como los genes para la absorción de aminoácidos (del medio circundante) y la biosíntesis.

²¹² Esta es una ruta alternativa a la glucólisis, que también se encuentra en el citosol (líquido que se localiza dentro de las células; constituye la mayoría del fluido intracelular y está separado por membranas en distintos compartimentos). Su función principal es proporcionar un suministro de azúcares de pentosa, esenciales en la síntesis de nucleótidos y ácidos nucleicos, así como también proporcionar la forma reducida de nicotinamida adenina dinucleótido fosfato (NADPH es la estructura química resultante de que la nicotinamida adenina dinucleótido fosfato, denotada NAD, sufra una reacción Redox; es una coenzima fundamental para el metabolismo y se denomina dinucleótido porque consta de dos nucleótidos unidos a través de sus grupos fosfato; un nucleótido contiene una nucleobase de adenina y el otro nicotinamida) utilizada en una variedad de rutas biosintéticas. Con “ruta” debe entenderse el curso usualmente seguido por un proceso químico.

²¹³ Exceso de un átomo de hidrógeno de un lado, falta por el otro.

²¹⁴ Decir “están ávidas por” es, posiblemente, un tanto excesivo, puesto que las uniones de hidrógeno son débiles, puede decirse en aras de mayor precisión que “están listas para” o “son propensas a”.



Fuente: (Sánchez-Palencia, 2015, pág. 153).

Resulta de ello que, si se tiene una de las hebras, se puede determinar automáticamente cuál le corresponde a dicha hebra. Una molécula de ADN no sólo lleva información, sino que la lleva dos veces, el “mensaje informático” queda cifrado bajo dos formas diferentes pero equivalentes (se puede pasar de una a la otra de modo automático).

En la figura anterior, el mensaje se da en la secuencia T, C, T, G, A, A, G... de una de las hebras, que se transcribe automáticamente, según la regla de complementariedad antes descrita, en A, G, A, C, T, T, C... para la otra hebra, como se verifica en la figura en cuestión.

¿Se parece el proceso antes descrito a algún otro proceso conocido? Quizás no a uno muy conocido, pero sí a uno que puede construirse y describirse fácilmente. Supóngase que se tiene un objeto de gran valor, pero frágil, por ejemplo, una estatuilla, la cual es reproducible con ayuda de un molde. Con la estatuilla se fabrica un molde y con el molde se puede rehacer la estatuilla. Se puede dejar la estatuilla en casa, irse de viaje con el molde y, una vez llegados al destino, reproducir fielmente la estatuilla. Pero, si el molde se deteriora durante el viaje, se fabricará a la llegada una estatuilla deteriorada. A pesar de ello, no está todo perdido. Todavía se tiene el original intacto en casa, pero algo ha fallado, exhibir la estatuilla ante las amistades que viven lejos, por ejemplo.

Se puede también fabricar un molde y llevarse de viaje la estatuilla y su molde. Las ventajas no son desdeñables. Por supuesto, se puede ser víctima de un accidente importante que haga pedazos la estatuilla y su molde. Pero para aquello se podría llamar “deterioro rutinario”²¹⁵ se estaría a salvo. Si, durante el viaje, la estatuilla o el molde se deterioran (o incluso ambos, en lugares diferentes), podrán repararse fácilmente con la ayuda de la pieza intacta. Es más, a la llegada, puede regalarse a las amistades indistintamente o la estatuilla o el molde, y cada uno puede reproducir la pieza que le falte; a continuación, todos se encontrarán en nuestra situación inicial, en posesión de una estatuilla y de un molde, y se puede, con una y otro, recomenzar el proceso de propagación de la pareja estatuilla/molde entre amigos y conocidos.

Así es, precisamente, cómo funciona el ADN. Las dos hebras de la hélice se comportan una como la estatuilla, la otra como su molde. Cuando una de las

²¹⁵ Entiéndase por esto que se rompan ambas cosas, pero en lugares diferentes.

hebras se encuentra sola fabrica automáticamente a la otra, en cuanto los materiales están a su disposición²¹⁶.

En el ADN, la estatuilla y su molde no tienen necesidad de una intervención exterior, fabrican cada uno su pareja en cuanto los materiales químicos se encuentran a su alcance. Naturalmente, sucede igual con la reparación de defectos, excepto si se producen en el mismo lugar en las dos hebras (una verdadera catástrofe). He aquí como las propiedades de autoreparación y de replicación idéntica del ADN, aparentemente casi intencionales (la doble hélice podría considerarse en sí misma casi un ser vivo), son resultado de determinadas propiedades químicas, cuya teleología no implica una voluntad o intelecto.

Esto es posible gracias a la estructura extremadamente compleja y particular de la molécula del ADN, la cual está fundamentada en sus propiedades termodinámicas-químicas de carácter muy general. Es esta generalidad, en conjunto con el ambiente cambiante en que se desarrolla, lo que permite la existencia de múltiples ADN, uno para cada espécimen viviente y que no se agoten las posibilidades de diferenciación, puesto que, por ejemplo, es poco probable que en el curso de la próxima generación humana nazca un bebé con el mismo ADN que, digamos, Cleopatra.

Esta constitución de la doble hélice se inscribe naturalmente en el marco de los principios generales de la dialéctica, específicamente en aquel que estipula que la contradicción es una fuerza creadora. En efecto, “contradicción” debe comprenderse en el sentido de tendencias antagónicas. En el caso de la doble hélice, la avidez de cada base hidrogenada por formar pareja con su compañera no es en modo alguno simétrica.

Si, por un lado, hay un átomo de hidrógeno de más, la tendencia es a entrar en reacción química con una base que tenga un átomo de hidrógeno de menos y

²¹⁶ Ya se había dicho que las bases hidrogenadas separadas de su pareja estaban “ávidas por” o, mejor dicho, “listas para” emparejarse en cuanto les fuera posible.

viceversa. Por eso las dos hebras no tienen la misma estructura, no son iguales, sino complementarias, como una estatuilla y su molde. Esta complementariedad engendra las propiedades de autoreparación y de replicación que hacen a las moléculas de ADN objetos naturales tan sobresalientes.

Desde este punto de vista, la doble hélice guarda parecido con otros objetos, como la lámpara triodo y las ondas electromagnéticas. Tanto en el caso de una lámpara de triodo y de las ondas electromagnéticas, el tiempo desempeña un papel muy importante, por cuanto las tendencias antagónicas que dan lugar a la evolución que gesta la nueva entidad se sitúan dentro de un marco temporal.

La replicación (idéntica) de una molécula de ADN interviene en particular durante la multiplicación de las células a partir de un huevo fecundado (mitosis); es distinta a la reproducción (por ejemplo, sexual) dando lugar al huevo fecundado, donde, por supuesto, las moléculas de ADN juegan un papel muy importante, poniendo en marcha otras propiedades (meiosis).

III.II. SOBRE EL CAOS Y LA ALEATORIEDAD EN LAS CIENCIAS

III.II. I. Introducción

Como se adelantó, es fundamental hacer un análisis riguroso sobre una afirmación en particular que realiza Oparin en su estudio sobre el origen de la vida, equivalente a otra realizada por Haldane en su estudio sobre el mismo fenómeno:

1. “De más está decir que en esa solución de sustancias orgánicas tan simples, como eran las aguas del océano primitivo, las reacciones no se realizaban en determinada escala, no seguían ningún orden. Por el contrario, poseían un carácter desordenado y caótico.” (Oparin, 2021, pág. 27).
2. “Los primeros seres vivos o semivivientes probablemente fueron grandes moléculas sintetizadas bajo la influencia de la radiación solar, y solo capaces de reproducirse en el medio favorable en el que se originaron.

Presumiblemente, cada uno requería una variedad de moléculas altamente

especializadas antes de poder reproducirse, y dependía del azar para obtenerlas." (Haldane, The Origin of Life, 2022, pág. 9).

La esencia común a estos dos argumentos es la concepción que la imposibilidad de establecer un orden causal entre las reacciones químicas y las combinaciones moleculares se concibe como caos y, frente a este hecho, se debe transitar por el reino de las probabilidades. Como se demostrará a continuación, el azar y el caos es únicamente un recurso gnoseológico del investigador frente a la complejidad de la Naturaleza, más no es una característica inherente y objetiva de la misma.

III.II. II. Determinismo en los Sistemas Probabilísticos

Pero ¿qué son las probabilidades? Debe comenzar por definirse qué es lo acontecimiento o evento. Un acontecimiento es, según (Rosental & Iudin, 1971, pág. 4), el concepto fundamental de la teoría de las probabilidades y de la estadística que designa la realización de cierta posibilidad al darse un determinado complejo de condiciones. Si el acontecimiento se produce de manera inevitable en presencia del complejo dado de condiciones, se denomina fidedigno. Si ante esas mismas condiciones, es notorio que el acontecimiento no puede ocurrir, se denomina imposible. El acontecimiento que puede ocurrir o no, se llama casual. Los acontecimientos casuales únicos sólo pueden caracterizarse cualitativamente. De los acontecimientos casuales que se producen en masa, cabe dar no solo una caracterización cualitativa, sino también una caracterización cuantitativa valiéndose del cálculo de la probabilidad de que aparezca el acontecimiento en cuestión en presencia de un determinado complejo de condiciones. Como planteó Hegel desde una perspectiva idealista y luego probaría Marx científicamente desde el materialismo, la verdad reside en la totalidad y, por consiguiente, un fenómeno casual sólo es una verdad incompleta, individual, parcial, sin desplegarse como verdad plena, es apariencia, y es precisamente el conocimiento de este despliegue de sí como verdad plena el que permite su estudio en masa.

Definido lo que es un acontecimiento, ¿qué es la teoría de las probabilidades? Según (Rosental & Iudin, 1971, págs. 454-455), es la ciencia sobre los acontecimientos casuales masivos, es decir, acontecimientos casuales equivalentes unos a otros en el sentido de algunas propiedades determinadas o capaces de repetirse muchas veces, si se reproducen las condiciones correspondientes. La probabilidad de tal o cual acontecimiento se calcula por vía experimental. La relación indicada es expresada por una magnitud que es estable (sobre todo si el número de experimentos es grande) y se denomina probabilidad del acontecimiento casual en masa dado. La probabilidad de tal o cual acontecimiento se calcula por vía experimental. El cálculo matemático de probabilidades permite determinar la probabilidad de unos acontecimientos partiendo de la de otros sucesos iniciales relacionados con los primeros. Una de las propiedades fundamentales de los acontecimientos casuales en masa sobre las que se basa la teoría de las probabilidades consiste en la estabilidad de las frecuencias relativas de tales acontecimientos (ley de los grandes números), es decir, la relación entre el número de pruebas (u observaciones) en que el acontecimiento se produce y el número global de las mismas (pruebas u observaciones).

Esa teoría permite hallar una regularidad objetiva en los fenómenos casuales. No obstante, dichas regularidades poseen un carácter estadístico (Regularidades estadística y dinámica). De ahí que la investigación de los acontecimientos probables descubra con mayor detalle el concepto de regularidad, así como el problema de la correlación entre la causalidad y la necesidad. Es necesario, además, insistir en que el carácter probable de los acontecimientos constituye una propiedad objetiva de los mismos y no un resultado de nuestras observaciones sobre tales acontecimientos.

Así, señalan (Rosental & Iudin, 1971, pág. 397) que la regularidad estadística de un fenómeno consiste es la forma de la conexión causal en que el estado concreto de un sistema no determina unívocamente todos sus estados subsiguientes, sino que

lo hace tan sólo con cierta probabilidad, la cual constituye la medida objetiva de la posibilidad de que se realicen las tendencias al cambio existentes en lo pasado. La regularidad estadística rige en todos los sistemas no autónomos que dependen de condiciones exteriores en modificación constante y que poseen gran cantidad de elementos. En rigor, toda regularidad es estadística, lo cual se debe a que la materia es inagotable y todo sistema consta de un conjunto innumerable de elementos. Además, todo sistema es abierto y se halla en interacción con el medio circundante. De ahí que toda regularidad dinámica sea estadística, con una probabilidad de realizarse próxima a la unidad, pues los influjos exteriores y muchas conexiones internas del sistema no influyen sobre él de manera especial. La regularidad estadística, en principio, no puede reducirse a la dinámica. Ello se debe a que: 1) la materia es inagotable y los sistemas no son cerrados, 2) no es posible que lleguen a realizarse muchas tendencias de desarrollo que figuran en los estados anteriores de los sistemas, 3) en el proceso de desarrollo de las posibilidades y tendencias, surgen estados cualitativamente nuevos. De ahí que todo proceso de desarrollo suficientemente complejo se subordine a la regularidad estadística, mientras que la regularidad dinámica constituye, tan sólo, una expresión aproximada de las distintas etapas de dicho proceso.

Una cuestión similar ocurre en los sistemas mecánicos clásicos cuando su número de componentes aumenta drásticamente, parecería en una primera mirada que el caos reina en tales sistemas y no es posible determinar un patrón o regularidad, sin embargo, como señalan (Landau & Lifshitz, 1950, pág. 1), aunque "A primera vista se podría concluir que al aumentar el número de partículas deben crecer de manera inimaginable la complejidad y el embrollamiento de las propiedades de un sistema mecánico, y que en el comportamiento de un cuerpo macroscópico no podemos descubrir ni tan sólo trazas de regularidad. Sin embargo, esto no es así y veremos en lo que sigue que al aumentar el número de partículas se manifiestan nuevas leyes de un carácter peculiar."

En el contexto de la estadística aplicada, como señalan (Robert & Casella, 2010, pág. 58) en referencia a la aleatoriedad generada a través de métodos computacionales (para el caso de los autores, a través del programa R) en general y, en particular, a la aleatoriedad relativa a los números aleatorios generados mediante distribuciones uniformes, “Estrictamente hablando, todos los métodos que veremos (y esto incluye *runif*) producen números pseudoaleatorios en los que no hay aleatoriedad involucrada. no hay aleatoriedad involucrada – basado en un valor inicial u_0 de una secuencia uniforme $\mathcal{U}(0, 1)$ y una transformación D , el generador uniforme produce una secuencia $(u_i) = (D^i(u_0))$ de valores en $(0, 1)$, pero el resultado tiene las mismas propiedades estadísticas que una secuencia *iid*.²¹⁷

Establecido el fundamento material, objetivo y determinista del azar del que habla Haldane, debe realizarse la misma tarea respecto al caos del que habla Oparin.

Recordando a Einstein, es posible afirmar que Dios no juega a los dados, pero nosotros, la humanidad, en ocasiones nos vemos obligados a ellos por la complejidad de los fenómenos que estudiamos y nuestras propias limitaciones.

III.II. III. Determinismo en los Sistemas Caóticos

Como señala (Stone M. A., 1989, págs. 123-124), el determinismo científico, del tipo Laplace-Russell²¹⁸, aboga por dos tesis:

1. Todos los sistemas deterministas son predecibles.
2. Todos los sistemas en la naturaleza son deterministas.
3. De 1 y 2 se desprende que: Todos los sistemas en la naturaleza son predecibles.

En la actualidad se sabe que 2 es una hipótesis empírica, una que la mecánica cuántica ha demostrado que es falsa²¹⁹.

²¹⁷ Esto es, una sucesión de variables aleatorias independientes entre sí y que siguen sin excepción la misma distribución de probabilidad.

²¹⁸ Puede llamarse a este tipo de determinismo como determinismo formalista-logicista, determinismo FL de ahora en adelante.

La premisa 1 a menudo se considera una verdad definitoria. Sin embargo, esta premisa por sí misma no dice nada acerca de por qué todos los sistemas deterministas son supuestamente predecibles. Por ello, debe examinarse cómo la relación entre determinismo y previsibilidad es considerada tradicionalmente.

De acuerdo con el determinismo científico del tipo FL, hacer una predicción implica aplicar medidas del estado actual de un sistema al aparato matemático de la teoría científica relevante que genera una descripción deseada de algún estado futuro del sistema. Llámense "entrada" a las mediciones del estado actual del sistema, "algoritmo" al aparato matemático y "salida" a la predicción generada sobre un estado futuro del sistema. En términos más generales, la predicción es lo que permite determinar un estado desconocido de un sistema a partir de un estado conocido, y se lleva a cabo aplicando el estado conocido como entrada a un algoritmo predictivo o, en términos del análisis matemático, evaluando el estado conocido como entrada en la función que representa al algoritmo en cuestión.

Así, señala (Stone M. A., 1989, pág. 126) que difícilmente puede estarse convencido sobre que, en principio, sea posible una medición perfecta²²⁰. Sin embargo, incluso si lo fuera, hay más tela que cortar en tal afirmación. Las mediciones están limitadas no solo por la precisión de nuestros instrumentos, sino también por los números que la humanidad puede representar y usar en los cálculos. Por lo tanto, aunque es cierto que algún sistema puede usarse como un algoritmo predictivo, también es igualmente cierto que algunos sistemas serán deterministas, pero no determinados por un algoritmo del tipo correcto y, por lo tanto, serán no-predecibles.

²¹⁹ Y así como ella, otra gran variedad de sistemas complejos, por ejemplo, los sistemas complejos que surgen en el estudio de los fenómenos meteorológicos, en los cuales fueron descubiertos formalmente los sistemas complejos mismos.

²²⁰ De hecho, no puede considerarse que en principio una medición es perfecta. Esto es así por un motivo metodológico y un motivo puramente instrumental: por un lado, violaría la noción de *dudagnoseológica*, por otro lado, si las mediciones son perfectas los instrumentos no necesitarían evolucionar.

Como indica (Stone M. A., 1989, págs. 127-128), dado que el algoritmo de forma abierta²²¹ esencialmente replicará todos los estados del sistema en la transición del estado de entrada a la predicción de salida, no hay garantía de que el algoritmo produzca una salida más rápido de lo que el propio sistema alcanza el estado final; el algoritmo requiere un "esfuerzo computacional proporcional al tiempo deseado". En otras palabras, es posible que no sea posible predecir el resultado final que se desea conocer antes que este se suscite en la realidad objetiva. Así, la "predicción" puede no producirse hasta después del hecho y, por lo tanto, no es necesariamente una predicción en sentido estricto. Lo mismo ocurre incluso si se caracteriza la noción de predictibilidad de una manera independiente del tiempo. Para ello debe reconstruirse el punto anterior en estos términos: se espera que se logre una predicción con información menos que completa sobre el sistema; eso es lo que convierte al esfuerzo del investigador en una predicción y no solo en una inspección. Puesto que un algoritmo de forma abierta simplemente replicará toda la información relevante sobre el sistema bajo consideración, significa desde la perspectiva del determinismo FL (formalista-logicista) no existe concepción alternativa alguna para lo que es una predicción, por lo tanto, los resultados del proceso algorítmico no pueden considerarse como una predicción en ningún escenario.

Una característica de los sistemas caóticos es que los puntos que se encuentran cerca unos de otros en el espacio de estados en un momento dado no permanecen cerca unos de otros en su evolución: los puntos cercanos en el espacio de estados divergirán a un ritmo exponencial, lo que lleva a la concepción de que los sistemas caóticos exhiben dependencia sensible de las condiciones iniciales²²². Por lo tanto,

²²¹ Un algoritmo de forma abierta es, normalmente, una ecuación que debe resolverse.

²²² Popularmente esto se conoce como efecto mariposa. Formalmente, como se señala en (Devaney, 2022, pág. 61), un mapa funcional $f: J \rightarrow J$ posee dependencia sensible a las condiciones iniciales de J si existe un $\delta > 0$ tal que, para todo $x \in J$ y todo vecindario N de x , existe $y \in N$ y $n \geq 0$ tal que $|f^n(x) - f^n(y)| > \delta$. Intuitivamente, un mapa posee una dependencia sensible de las condiciones iniciales si, para cada punto x en J , existen puntos arbitrariamente cercanos a x cuyas órbitas [una órbita es una trayectoria curvilínea que describe un objeto en su movimiento alrededor de un

los sistemas caóticos amplifican el error. Ya sea que estemos hablando de un algoritmo de forma cerrada o de un algoritmo de forma abierta al intentar predecir dichos sistemas, cualquier error en la entrada se amplificará exponencialmente en la salida. Por lo tanto, la demanda de que si un sistema es predecible podamos obtener cualquier grado arbitrario de precisión en nuestra predicción de salida no puede ser satisfecho en el caso de caos determinista. Un algoritmo de forma abierta podría darnos tal precisión si tuviéramos una entrada sin error, pero en principio nuestras representaciones siempre deben contener algún error.

¿Por qué no es posible simplemente exigir que la entrada sea siempre de mayor precisión que la precisión deseada de la salida? ¿No eliminaría esto el problema de la amplificación del error? No. Entre dos estados diferentes de un sistema siempre hay cierta distancia y por “distancia” no debe entenderse necesariamente a la distancia espacial, sino a que siempre hay alguna medida que separa a los dos estados.

Como señala (Stone M. A., 1989, pág. 129), los sistemas caóticos son, sin embargo, inteligibles, puede preservarse al distinguir cuidadosamente el concepto “explicación” del concepto “predicción”. Decir que los sistemas caóticos son impredecibles no significa que la ciencia no pueda explicarlos. En un sistema caótico, aún es posible descubrir el algoritmo que conduce al sistema, aún es posible saber qué cantidades constituirán las dimensiones del espacio de estado, e incluso esta cantidad de información proporciona la base para una explicación

centro; formalmente, una órbita es el conjunto de las $n - \text{ésimas}$ evaluaciones iterativas de un conjunto de datos x en un mapa funcional f de la forma $f(x), f^2(x), f^3(x), \dots$ (debe enfatizarse que $f^n(x)$ no significa elevar a una potencia determinada, así como tampoco un determinado orden de derivación de la función, sino un determinado orden de iteración en la evaluación de x en el mapa funcional f) eventualmente se separan de la órbita de x por al menos δ bajo la iteración de f . Debe también enfatizarse que no todos los puntos cercanos a x necesitan eventualmente separarse de x bajo iteración, pero debe haber al menos uno de esos puntos en cualquier vecindad de x . Si un mapa posee una dependencia sensible de las condiciones iniciales, entonces, para todos los propósitos prácticos, la dinámica del mapa desafía el cálculo numérico. Los pequeños errores de cálculo que se introducen mediante el redondeo pueden magnificarse con la iteración. Los resultados del cálculo numérico de una órbita, sin importar cuán precisos sean, pueden no tener ningún parecido con la órbita real.

científica sofisticada. Pero la tarea de las ciencias en cuanto al estudio del caos ha avanzado en otra dirección.

Un modelo completo de un sistema organizado es simplemente el conjunto de ecuaciones necesarias para hacer predicciones. El conocimiento que es posible obtener sobre los sistemas caóticos debe ser capturado por alguna otra técnica de modelado. Los sistemas caóticos disipativos²²³ con espacios de estado de dimensión bastante baja son un buen ejemplo de esta técnica de modelado. Debido a que estos sistemas son disipativos, convergen en un atractor en el espacio de estados. En otras palabras, si los caminos de los elementos del sistema se trazan a través del espacio de estados a lo largo del tiempo, estos caminos convergerán en una forma geométrica reconocible (*i.e.*, que existe un patrón geométrico identifiable), y para un tipo dado de sistema caótico, el atractor siempre será el mismo (los sistemas caóticos tendrán un atractor²²⁴ común). En los sistemas organizados hay esencialmente tres atractores a los que convergerá el sistema: un punto fijo (por ejemplo, un péndulo amortiguado), un ciclo límite (por ejemplo, un péndulo sin fricción) o un toro de tres o más dimensiones. Los atractores caóticos que no se limitan a tales formas convencionales se denominan atractores “extraños”. Sin embargo, una vez que un científico ha descubierto el atractor de un sistema caótico, entonces tiene un modelo del sistema, y ese modelo le servirá como explicación.

²²³ Que tienen contacto con el exterior y que están alejados del equilibrio en su sentido clásico, como los sistemas cuánticos disipativos.

²²⁴ Como se señala en (Devaney, 2022, pág. 325), en términos generales, un atractor es un conjunto invariante (conjunto o variable que no sufre alteraciones al aplicar sobre sí un determinado conjunto de transformaciones) en el que convergen todas las órbitas cercanas. Por lo tanto, los atractores son los conjuntos que es posible visualizar cuando la “salida” (input) de un sistema dinámico se muestra en la pantalla de una computadora. Hasta ahora, todos los atractores que se han descubierto han sido puntos fijos (punto x_0 tal que $f(x_0) = x_0$) o periódicos (en el contexto de funciones iteradas y sistemas dinámicos, un punto periódico de una función es un punto al que regresa el sistema después de un cierto número de iteraciones de función o una cierta cantidad de tiempo).

Por ejemplo, supóngase que una de las dimensiones (variables que describen un determinado fenómeno) del espacio de estado de algún modelo es la temperatura. Entonces, el científico no puede predecir exactamente cuál será la temperatura (no puede determinar con precisión dónde se encuentra el sistema en el atractor en un momento dado), pero puede determinar, a partir del atractor, las zonas de temperatura que visitará el sistema. Este tipo de información no representa ignorancia en el hecho de la completa aleatoriedad, aunque tampoco previsibilidad del tipo de laplaciana (puesto que no se pueden conocer con exactitud los estados futuros del sistema). Parece sensato entonces reconocer la imprevisibilidad de los sistemas caóticos y, simultáneamente, ampliar la noción de "explicación científica". El mero determinismo de un sistema no necesita enviar al científico a la búsqueda de la previsibilidad absoluta para producir un resultado útil en términos aplicados ni gnoseológicamente válido.

El desorden y el caos sólo existen desde la perspectiva subjetiva, es decir, desde la posición del intelecto que conceptualiza y hace juicios, no es una propiedad objetiva de la Naturaleza, es decir, no existe a nivel de la estructura interna del sistema estudiado a través de su fenomenología. Para poder acceder a la esencia, que no es nunca (al menos para el caso de fenómenos con cierto nivel mínimo de complejidad) directamente observable, se estudian las formas del fenómeno, por lo que sin una forma definida puede resultar imposible aprehender la esencia de tal o cual fenómeno, más no por ello dicha esencia no existe objetivamente, así como asociada a ella una determinada teleología. Por supuesto, el lector no debe angustiarse ante este hecho, puesto que la imposibilidad de ver alguno o algunos árboles no impide ver con claridad el bosque.

Por ejemplo, la relevancia del orden con relación a la complejidad (en el sentido antes referido) de los sistemas bioquímicos, se observa en lo planteado por (Shepherd, Greenall, Probert, Noy, & Leake, 2020). Los autores señalan que la

“física de la vida”²²⁵ se caracteriza por características complejas y emergentes (en el sentido de la complejidad de sistemas) con una heterogeneidad típicamente sustantiva de componentes moleculares en un sistema²²⁶. Señalan que los desafíos de eliminar tal heterogeneidad, por ejemplo, como se muestra en los estados estructurales dinámicos del ADN, se pueden superar mejor estudiando una molécula a la vez, ahora factible con estudios *in vitro*, en células vivas y en simulaciones computacionales²²⁷. En el estudio referido, los autores se centraron en una estrategia computacional que involucra simulaciones de dinámica molecular en cuatro construcciones distintas de ADN para investigar el efecto de la secuencia en la aparición²²⁸ de motivos estructurales en respuesta a niveles fisiológicos de torsión y estiramiento mecánico²²⁹. Los autores encontraron evidencia de que las

²²⁵ Hacen aquí al abordaje de la bioquímica desde el instrumental de la física, más no por ello deja de ser bioquímica orgánica, puesto que lo que define a una ciencia no es su mecanismo, sino su teleología concreta (su causa final, su fin práctico), *i.e.*, específica al sistema estudiado.

²²⁶ Esto muestra una vez más, tal como se ha expuesto reiteradamente en esta investigación, la ilusión de la homogeneidad como fundamento de los procesos evolutivos complejos, de la índole que sean, es decir, sin importar el tipo de sistema analizado.

²²⁷ Sin embargo, dada la linealidad en los fundamentos de los instrumentos hasta la fecha desarrollados, el robustecimiento e incremento del poder predictivo reside parcialmente en poder homogeneizar (o linealizar, según el proceso que se analice y las necesidades específicas de la investigación), aunque esto sea puramente un recurso metodológico (e incluso un recurso gnoseológico, que será válido como gnoseología en la medida en que sea concebido dicho recurso como una forma de simplificar los requerimientos de recursos para operativizar tal o cual metodología y/o lidiar con las limitaciones metodológicas existentes, más nunca como reduccionismo, es decir, como una visión de que la química -o cualquier otra ciencia- puede ser reducida a la física -o a cualquier otra ciencia-) y, por consiguiente, hasta cierto punto artificial. Esta superación de la complejidad debe ser, para que sea verdaderamente científica, una superación en el sentido de que las predicciones de largo plazo relativas al sistema analizado sean posibles, puesto que, como es ampliamente sabido, la característica de los sistemas complejos es que, hasta la fecha, no es posible realizar de ellos tal clase de predicciones.

²²⁸ La secuenciación de ADN consiste en determinar el orden de los nucleótidos en un oligonucleótido de ADN. La secuencia de ADN constituye la información genética heredable que forman la base de los programas de desarrollo de los seres vivos. Dicho de otra forma, como señala (*Encyclopedia Britannica*, 2022), la secuenciación de ADN es una técnica utilizada para determinar la secuencia de nucleótidos del ADN (ácido desoxirribonucleico). La secuencia de nucleótidos es el nivel más fundamental de conocimiento de un gen o genoma. Es el plano que contiene las instrucciones para construir un organismo, y ninguna comprensión de la función genética o la evolución podría estar completa sin obtener esta información.

²²⁹ Esto implica la búsqueda por caracterizar completamente el estiramiento (desenrollamiento) de las moléculas de ADN en términos de su mecanismo. Por supuesto, es claro que los sistemas bioquímicos no son sistemas mecánicos sino sistemas teleológicos, pero es también evidente que la

diferencias de secuencia (de orden) contribuyen significativamente a la aparición, o no, de motifs mecánicamente estables²³⁰. La presencia de dichos motifs puede ayudar potencialmente en el reconocimiento y la transcripción.

III.III. UNA HIPÓTESIS SOBRE LA PARADOJA DEL VALOR C

III.III. I. Generalidades Conceptuales

III.III. I.I. Sobre la Composición Química del ADN

Para que las subsecciones posteriores sean comprensibles para aquellos lectores que estudien esta investigación con fines puramente filosóficos o de cultura general, es necesario realizar un preámbulo en el que se expongan los conceptos fundamentales que se requerirán para la comprensión del resto de esta sección.

comprensión de la teleología de un sistema sólo puede refinarse estudiando el mecanismo y refinando los conocimientos que se tienen sobre dicho mecanismo.

²³⁰ Como señala (D'haeseleer, 2006, pág. 423), los motifs de secuencia son patrones breves y recurrentes en el ADN que se supone que tienen una función biológica. A menudo indican sitios de unión específicos de secuencia para proteínas como nucleasas y factores de transcripción (TF). Otros están involucrados en procesos importantes a nivel de ARN, incluida la unión de ribosomas, el procesamiento de ARNm (empalme, edición, poliadenilación) y la terminación de la transcripción. Puesto que el empalme y edición de ARNm son conceptos cuyo significado es relativamente intuitivo, se debe explicar nada más en qué la poliadenilación del ARNm. Como se señala en (Khan Academy, 2022), cuando se produce inicialmente un transcripto de ARN en una célula eucariote, se considera un pre-ARNm y se debe procesar para obtener un ARN mensajero (ARNm). Al inicio del transcripto de ARN se añade un cap 5' y al final, una cola de poli-A en 3'. En el empalme, algunas secciones del transcripto de ARN (intrones) se eliminan y las secciones restantes (exones) se vuelven a unir. Algunos genes pueden experimentar empalme alternativo, lo que conduce a la producción de diferentes ARNm maduros a partir del mismo transcripto inicial. Ambos extremos de un pre-ARNm se modifican con la adición de grupos químicos. El grupo del inicio (extremo 5') se llama cap y el grupo del final (extremo 3') se llama cola. El cap y la cola protegen el transcripto, ayudan a que sea exportado del núcleo y traducido en los ribosomas (las "máquinas" que fabrican proteínas) que se encuentran en el citosol (líquido que se localiza dentro de las células; constituye la mayoría del fluido intracelular y está separado por membranas en distintos compartimentos). El cap 5' se agrega al primer nucleótido del transcripto durante la transcripción. El cap es un nucleótido modificado de guanina (G) que protege al transcripto de la degradación. También ayuda al ribosoma a unirse al ARNm y a comenzar a leerlo para hacer una proteína. ¿Cómo se añade la cola poly-A? El extremo 3' del ARN se forma de la siguiente manera: cuando durante la transcripción aparece una secuencia llamada *señal de poliadenilación* en la molécula del ARN, una enzima corta el ARN en dos en ese sitio. Otra enzima añade de 100 a 200 nucleótidos de adenina (A) en el extremo cortado para formar una cola de poli-A. La cola le brinda al transcripto mayor estabilidad y lo ayuda a ser exportado del núcleo hacia el citosol. Así, la *poliadenilación* es la adición de una cola poli(A) a un transcripto de ARN, típicamente un ARN mensajero (ARNm).

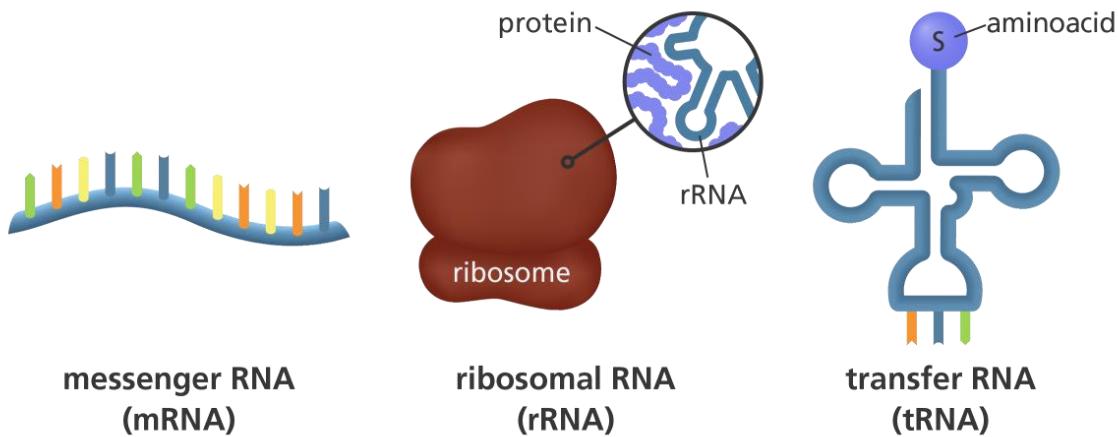
Como se señala en (Encyclopaedia Britannica, 2022), los genes están compuestos de ácido desoxirribonucleico (ADN), excepto en algunos virus, que tienen genes que consisten en un compuesto estrechamente relacionado llamado ácido ribonucleico (ARN). Una molécula de ADN se compone de dos cadenas de nucleótidos que se enrollan entre sí para parecerse a una escalera retorcida. Los lados de la escalera están formados por azúcares y fosfatos, y los peldaños están formados por pares enlazados de bases nitrogenadas. Estas bases son adenina (A), guanina (G), citosina (C) y timina (T). Una A en una cadena se une a una T en la otra (formando así un peldaño de escalera A-T); de manera similar, una C en una cadena se une a una G en la otra. Si los enlaces entre las bases se rompen, las dos cadenas se desenrollan y los nucleótidos libres dentro de la célula se adhieren a las bases expuestas de las cadenas ahora separadas. Los nucleótidos libres se alinean a lo largo de cada cadena de acuerdo con la regla de emparejamiento de bases: A se une a T, C se une a G. Este proceso da como resultado la creación de dos moléculas de ADN idénticas a partir de una original y es el método por el cual se transmite la información hereditaria. de una generación de células a la siguiente.

Figura 47. Estructura de Hélice Única del ARN



Fuente: (yourgenome.org, 2022).

Figura 48. Ilustración de los Tres Tipos Principales de ARN: ARNm, ARNr y ARNt



Fuente: (yourgenome.org, 2022).

III.III. I.II. Sobre el Ciclo Celular

La pregunta que servirá como base de partida es: ¿qué es el ciclo de una célula? El ciclo celular, o ciclo de división celular, es la serie de eventos que tienen lugar en una célula que hace que se divida en dos células hijas". Estos eventos incluyen la duplicación de su ADN (o replicación de ADN) y algunos de sus orgánulos y, posteriormente, la partición de su citoplasma²³¹ y otros componentes en dos células hijas en un proceso llamado división celular.

En las células con núcleo (eucariotas, es decir, células animales, vegetales, fúngicas y protistas), el ciclo celular se divide en dos etapas principales: la interfase y la fase mitótica (M) (que incluye la mitosis y la citocinesis, como se verá más adelante).

Durante la interfase, la célula crece, acumula los nutrientes necesarios para la mitosis y replica su ADN y algunos de sus orgánulos. Durante la fase mitótica, los cromosomas, orgánulos y citoplasma replicados se separan en dos nuevas células hijas. Para garantizar la replicación adecuada de los componentes celulares y la división, existen mecanismos de control conocidos como *puntos de control del ciclo celular* después de cada uno de los pasos clave del ciclo que determinan si la célula puede avanzar a la siguiente fase.

²³¹ Parte de la célula que rodea el núcleo y que está limitada por la membrana exterior.

En las células sin núcleo (procariotas, es decir, bacterias y arqueas), el ciclo celular se divide en los períodos B, C y D. El período B se extiende desde el final de la división celular hasta el comienzo de la replicación del ADN. La replicación del ADN ocurre durante el período C. El período D se refiere a la etapa entre el final de la replicación del ADN y la división de la célula bacteriana en dos células hijas.

En el ciclo de interfase una célula atraviesa por tres subfases, las cuales son:

1. La fase G1, fase de brecha 1 o fase de crecimiento 1, es la primera de las cuatro fases del ciclo celular que tiene lugar en la división celular eucariota.
2. La fase S (fase de síntesis) es la fase del ciclo celular en la que se replica el ADN, que se produce entre la fase G1 y la fase G2. Dado que la duplicación precisa del genoma es fundamental para una división celular exitosa, los procesos que ocurren durante la fase S están estrictamente regulados y ampliamente conservados.
3. La fase G2, la fase de brecha 2 o fase de Crecimiento 2, es la tercera subfase de la interfase en el ciclo celular que precede directamente a la mitosis²³². Sigue a la finalización exitosa de la fase S, durante la cual se replica el ADN de la célula. La fase G2 termina con el inicio de la profase, la primera fase de la mitosis en la que la cromatina de la célula se condensa en cromosomas. La fase G2 es un período de rápido crecimiento celular y síntesis de proteínas durante el cual la célula se prepara para la mitosis. Curiosamente, la fase G2 no es una parte necesaria del ciclo celular, ya que algunos tipos de células (particularmente los embriones jóvenes de *Xenopus* y algunos tipos de cáncer) proceden directamente de la replicación del ADN a la mitosis.

²³² Es una parte del ciclo celular en la que los cromosomas replicados se separan en dos nuevos núcleos. La división celular por mitosis da lugar a células genéticamente idénticas en las que se mantiene el número total de cromosomas. Por lo tanto, la mitosis también se conoce como división ecuacional. En general, la mitosis está precedida por la fase S de la interfase (durante la cual se produce la replicación del ADN) y a menudo le siguen la telofase y la citocinesis; que divide el citoplasma, los orgánulos y la membrana celular de una célula en dos nuevas células que contienen proporciones aproximadamente iguales de estos componentes celulares. Nótese que, al igual que con el caso del caldo primigenio y de las condiciones iniciales en la formación de las galaxias antes expuestas, la uniformidad es imperfecta.

III.III. I.III. Sobre la Transcripción de ADN

Adicionalmente, debe explicarse a grandes rasgos la transcripción del ADN o ácido (sustancia química que emite iones de hidrógeno en el agua y forma sales cuando se combina con ciertos metales) desoxirribonucleico (nombre que obedece a que este ácido se encuentra en el núcleo de las células, específicamente en los ribosomas -que es el sitio para la síntesis de proteínas en la célula-).

Este es el primer proceso de la expresión genética²³³, mediante el cual se transfiere la información contenida en la secuencia del ADN hacia la secuenciación de proteína²³⁴ utilizando diversos ARN²³⁵ como intermediarios.

Durante la transcripción genética, las secuencias de ADN son copiadas a ARN mediante una enzima llamada ARN polimerasa (ARNp) la cual sintetiza un ARN mensajero que mantiene la información de la secuencia del ADN. De esta manera, la transcripción del ADN también podría llamarse síntesis del ARN mensajero (ARNm); en suma, la transcripción es el proceso por el cual se genera una copia ARNm de la estructura molecular ARN a partir la secuencia de un gen, dejando el núcleo de la célula y entrando en el citoplasma, donde dirige la síntesis de la proteína, que codifica (National Human Genome Research Institute, 2019).

En términos operativos, señala (nature, 2014) que la transcripción es el proceso mediante el cual la información de una hebra de ADN se copia en una nueva molécula de ARNm. El ADN almacena de forma segura y estable el material genético en los núcleos de las células como referencia o plantilla. Mientras tanto, el ARNm es comparable a una copia de un libro de referencia porque lleva la misma

²³³ La expresión génica es el proceso mediante el cual la información codificada en un gen se utiliza para dirigir el montaje de una molécula de proteína; la célula lee la secuencia del gen en grupos de tres bases; cada uno de estos grupos de tres bases -codón- corresponde a uno de los 20 aminoácidos diferentes usados para construir las proteínas.

²³⁴ Proceso práctico de determinar la secuencia de aminoácidos de toda o parte de una proteína o péptido, lo cual sirve para identificar a la proteína o caracterizar sus modificaciones postraduccionales (cambio químico ocurrido en esta después de su síntesis por los ribosomas). Muchas proteínas no podrían ejercer sus funciones si no sufrieran estos cambios.

²³⁵ El ácido ribonucleico o ARN es una molécula similar a la de ADN; a diferencia del ADN, el ARN es de cadena sencilla; una hebra de ARN tiene un eje constituido por un azúcar (ribosa) y grupos de fosfato de forma alterna. Véase (National Human Genome Research Institute, 2019).

información que el ADN, pero no se usa para el almacenamiento a largo plazo y puede salir libremente del núcleo. Aunque el ARNm contiene la misma información, no es una copia idéntica del segmento de ADN, porque su secuencia es complementaria a la plantilla de ADN.

La transcripción la lleva a cabo la enzima ARNp²³⁶ y una serie de proteínas accesorias llamadas factores de transcripción²³⁷. Los factores de transcripción pueden unirse a secuencias de ADN específicas llamadas secuencias potenciadoras y promotoras para reclutar ARNp en un sitio de transcripción apropiado. Juntos, los factores de transcripción y la ARNp forman un complejo llamado complejo de iniciación de la transcripción. Este complejo inicia la transcripción, y la ARNp inicia la síntesis de ARNm emparejando bases complementarias con la hebra de ADN original. La molécula de ARNm se alarga y, una vez que la hebra se sintetiza por completo, se termina la transcripción. Las copias de ARNm recién formadas del gen sirven luego como planos para la síntesis de proteínas durante el proceso de traducción.

III.III. I.IV. Sobre las Unidades de Medida de las cadenas de ADN

Es necesario también hablar sobre las unidades de medida de las cadenas de ADN.

La primera unidad de medida a abordar es el picómetro. Un *picómetro* es

$\frac{1}{1,000,000,000,000}$ metros.

²³⁶ Los factores de transcripción o factores de unión a una secuencia específica de ADN, son proteínas localizada en los promotores de genes (un promotor es una región de ADN que controla la iniciación de la transcripción de una determinada porción del ADN a ARN; un promotor por lo tanto, promueve la transcripción de un gen), que se unen a secuencias cortas de ADN (elementos en cis o llamados también unión de factores de transcripción), controlando la transcripción de la información genética de ADN a ARNm dentro de las secuencias cortas en cuestión mediante su interacción con el complejo de pre-iniciación (el complejo de pre-iniciación, abreviado como CPI, es un gran complejo de proteínas necesarias para que tenga lugar la transcripción genética en eucariotas y arqueas. El complejo de pre-iniciación ayuda en el correcto posicionamiento de la ARN polimerasa II sobre el sitio de inicio de la transcripción, produce la desnaturización del ADN y coloca al ADN en el sitio activo de la ARN polimerasa II para que se produzca la transcripción).

²³⁷ Lo cual realiza induciendo o inhibiendo el reclutamiento de la enzima ARNp II (la que hace la transcripción de información genética de ADN a RNA) a genes específicos.

La siguiente unidad de medida es el *par de bases*, que es una unidad fundamental de ácidos nucleicos de doble cadena que consta de dos nucleobases²³⁸ unidas entre sí por enlaces de hidrógeno. Forman los componentes básicos de la doble hélice del ADN y contribuyen a la estructura plegada tanto del ADN como del ARN.

Dictados por patrones de enlaces de hidrógeno específicos, los pares de bases "Watson-Crick" (o "Watson-Crick-Franklin") (guanina-citosina y adenina-timina) permiten que la hélice del ADN mantenga una estructura helicoidal (en forma de hélice) regular que depende sutilmente en su secuencia de nucleótidos. La naturaleza complementaria de esta estructura basada en pares proporciona una copia redundante de la información genética codificada dentro de cada hebra de ADN.

La estructura regular y la redundancia de datos proporcionada por la doble hélice del ADN hacen que el ADN sea muy adecuado para el almacenamiento de información genética, mientras que el emparejamiento de bases entre el ADN y los nucleótidos entrantes proporciona el mecanismo a través del cual la ADN polimerasa replica el ADN y la ARN polimerasa transcribe el ADN en ARN.

Muchas proteínas de unión al ADN pueden reconocer patrones específicos de

²³⁸ Las nucleobases, también conocidas como bases nitrogenadas o, a menudo, simplemente bases, son compuestos biológicos que contienen nitrógeno que forman nucleósidos (son glicosilaminas que se pueden considerar como nucleótidos sin un grupo fosfato) que, a su vez, son componentes de los nucleótidos, y todos estos monómeros constituyen los componentes básicos de los ácidos nucleicos [los ácidos nucleicos son grandes polímeros (biomoléculas, y su estudio es el estudio de la síntesis, caracterización y propiedades de las moléculas poliméricas o macromoléculas, que son moléculas grandes compuestas por subunidades químicas repetitivas conocidas como monómeros) formados por la repetición de monómeros denominados nucleótidos, unidos mediante enlaces fosfodiéster, estos cumplen la importante función de almacenamiento y la expresión de información genómica (aquella contenida en los genes)]. La capacidad de las nucleobases para formar pares de bases y apilarse una sobre otra conduce directamente a estructuras helicoidales de cadena larga, como el ácido ribonucleico (ARN) y el ácido desoxirribonucleico (ADN). Cinco nucleobases, adenina (A), citosina (C), guanina (G), timina (T) y uracilo (U), se denominan primarias o canónicas. Funcionan como las unidades fundamentales del código genético, con las bases A, G, C y T que se encuentran en el ADN, mientras que A, G, C y U se encuentran en el ARN. En una analogía con los espacios vectoriales, son el equivalente al conjunto de vectores linealmente independientes conformados por la unidad en su respectiva coordenada y por el cero en sus $n - 1$ coordenadas restantes.

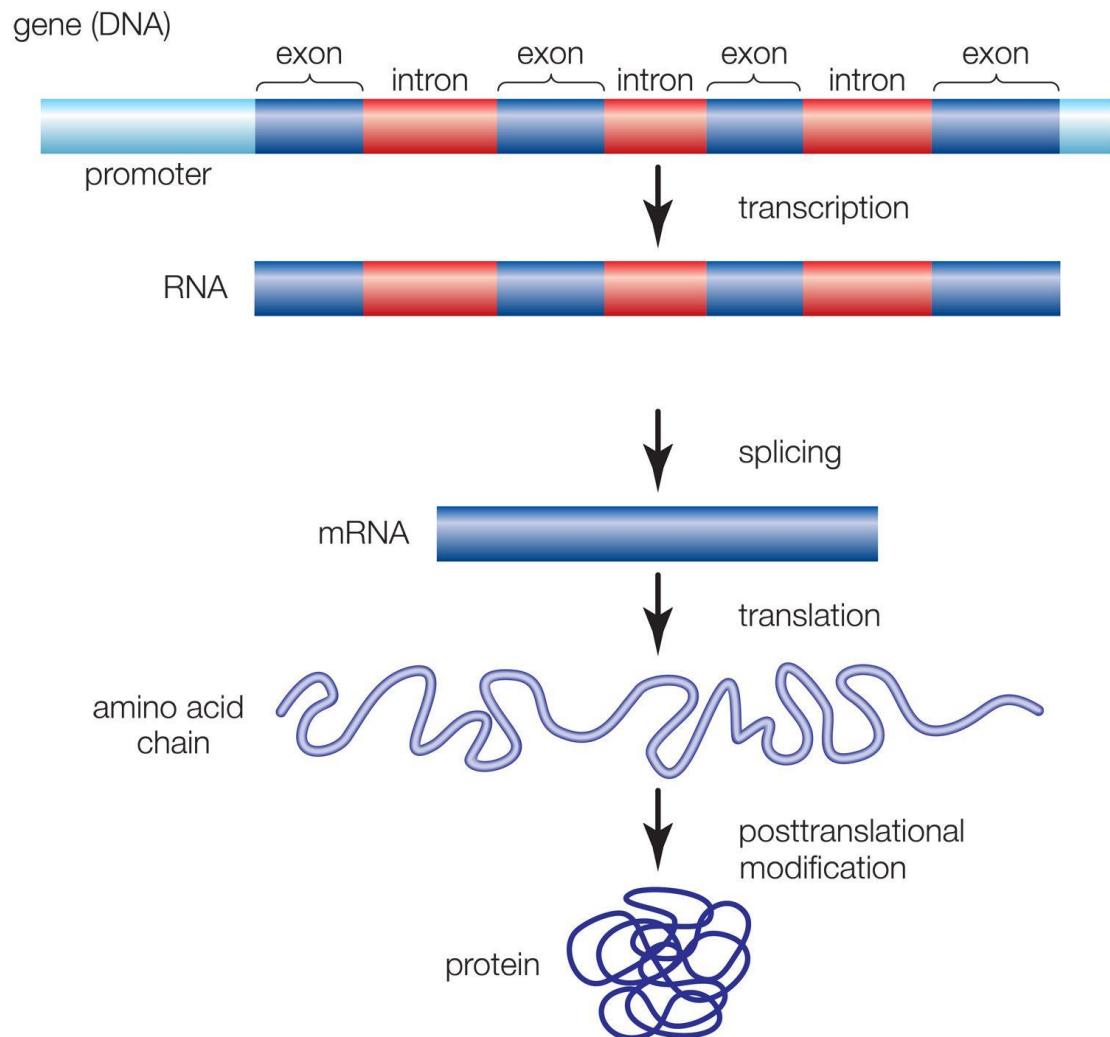
apareamiento de bases que identifican regiones reguladoras particulares de los genes.

Un par de bases *bp* equivale a 340 picómetros *pm* de longitud a lo largo de la hebra. Finalmente, un mega par de bases equivale a 1,000,000 de pares de bases y se abrevia *Mb*.

III.III. I.V. Material Complementario

A continuación, se presentan representaciones visuales de estructuras y procesos sobre los cuales se hará sistemáticamente referencia desde la sección III.II.II., en adelante.

Figura 49. Gen, Intrón y Exón

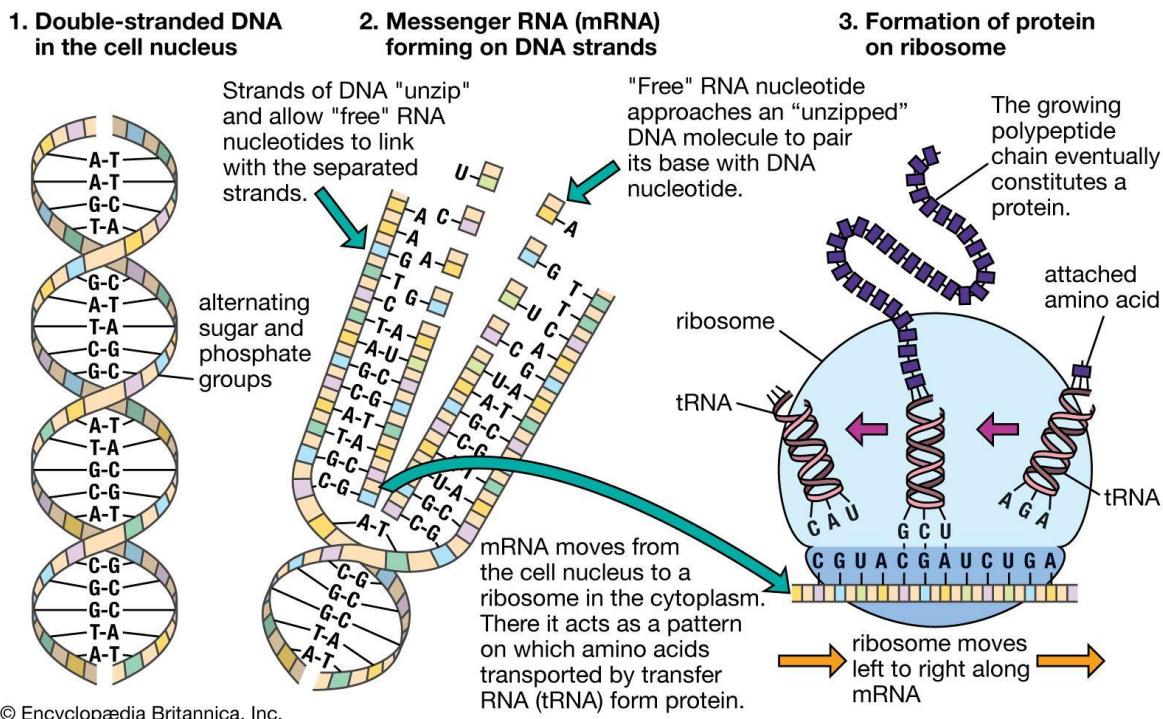


© 2013 Encyclopædia Britannica, Inc.

Fuente: (Encyclopaedia Britannica, 2022).

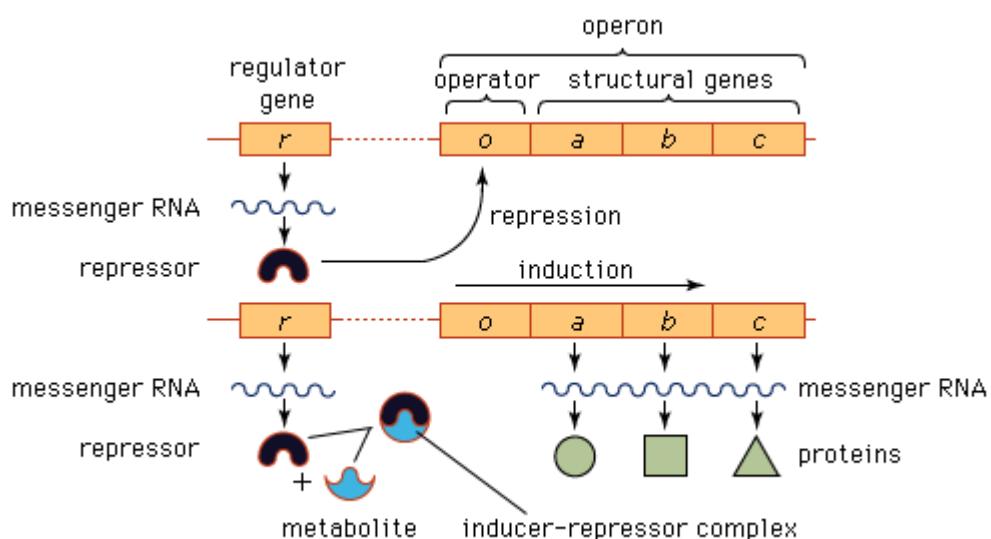
Figura 50. Proceso en que el ADN Dirige la Síntesis de Proteínas

How DNA directs protein synthesis



Fuente: (Encyclopaedia Britannica, 2022).

Figura 51. Estructura de la Regulación de Genes



Fuente: (Encyclopaedia Britannica, 2022).

III.III.I. VI. Sobre las Funciones Sigma-Aditivas

Sea ϕ una función real y sea \mathbb{S} un $\sigma - \text{Álgebra}$. La función ϕ es $\sigma - \text{aditiva}$ cuando

$$\phi(S) = \sum_{i=1}^{\infty} \phi(S_i), \text{ donde } S \in \mathbb{S}; S = \bigcup_{i=1}^{\infty} S_i, S_i \cap S_j = \emptyset$$

Lo anterior significa que, para un conjunto finito de sucesiones de conjuntos disjuntos (sin elementos en común), la longitud de la unión de estos conjuntos es igual a la suma de las distancias (que se expresan cuantitativamente en longitudes) de estos conjuntos.

La función ϕ es contable sub-aditiva cuando:

$$\phi(S) \leq \sum_{i=1}^{\infty} \phi(S_i), \text{ cuando } S \in \mathbb{S}; S \subseteq \bigcup_{i=1}^{\infty} S_i$$

Lo anterior significa la unión infinita $\bigcup_{i=1}^{\infty} S_i$ puede contener elementos que no necesariamente estén en S . Así, una medida sub-aditiva es la función que define la suma de dos conjuntos dentro de un dominio como aquella cuyo resultado será siempre otro elemento menor o igual que la suma de los valores de las funciones evaluadas en cada conjunto.

Así, las diferencias entre ambos tipos de funciones es la restricción sobre el resultado que imponen: en las aditivas, el resultado debe ser igual que la suma de los insumos, mientras que en las sub-aditivas el resultado debe ser menor o igual que la suma de los insumos. Por ello, las funciones aditivas son un caso particular de las medidas sub-aditivas.

Para comprender de manera aplicada el significado de los dos tipos de funciones antes descritos, considérese un determinado modelo de herencia genética como el utilizado en (Huang & Mackay, 2016), el cual se procederá a especificar con base en (Falconer & Mackay, 1997, págs. 108-109).

Las propiedades genéticas de una población se expresan en términos de frecuencias génicas y frecuencias genotípicas. Para deducir la conexión entre éstas por un lado y las diferencias cuantitativas que presenta un carácter métrico por otro, se debe introducir un nuevo concepto, el concepto de valor, expresable en las unidades métricas (unidades de medición) con las que se mide el carácter (alelo). El valor observado cuando se mide el carácter de un individuo es el valor fenotípico de ese individuo. Todas las observaciones, ya sean de medias, varianzas o covarianzas, deben basarse claramente en mediciones de valores fenotípicos. Para analizar las propiedades genéticas de las poblaciones se tiene que dividir el valor fenotípico en partes componentes atribuibles a diferentes causas. La explicación de los significados de estos componentes es de importancia fundamental para la Genética, así como también la explicación relativa a cómo la media de la población está influenciada por el conjunto de frecuencias génicas.

La primera división del valor fenotípico es en componentes atribuibles a la influencia del genotipo y el ambiente. El genotipo es el conjunto particular de genes que posee el individuo, y el ambiente son todas las circunstancias no genéticas que influyen en el valor fenotípico. La inclusión de todas las circunstancias no genéticas bajo el término “ambiente” significa que el genotipo y el ambiente son, por definición, los únicos determinantes del valor fenotípico. Los dos componentes de valor asociados con el genotipo y el ambiente son el valor genotípico y la desviación ambiental. Es posible pensar en el genotipo en términos de que confiere un cierto valor al individuo, mientras que al medio en términos de que provoca una desviación del valor conferido al individuo por el genotipo, desviación que puede ir en una u otra dirección. Simbólicamente lo anterior se expresa como

$$P = G + E,$$

donde P es el valor fenotípico, G es el valor genotípico y E es la desviación que aporta el ambiente.

La desviación ambiental media en la población en su conjunto se toma como cero, de modo que el valor fenotípico medio es igual al valor genotípico medio, lo que probabilísticamente implica asumir que dicha desviación se distribuye con media cero, así como también, en términos de teoría evolutiva, que el ambiente no ejerce influencia alguna en la configuración genética del individuo. Por tanto, el término “media poblacional” se refiere entonces igualmente a valores fenotípicos o genotípicos. Cuando se trate con generaciones sucesivas se supondrá por simplicidad que el ambiente permanece constante de generación en generación, de modo que la media de la población es constante en ausencia de cambio genético. Si fuese posible replicar un genotipo particular en varios individuos y medirlos en condiciones ambientales normales para la población, sus desviaciones ambientales medias serían cero y, en consecuencia, su valor fenotípico medio sería igual al valor genotípico de ese genotipo particular. Este es el significado (bajo los restrictivos y poco realistas supuestos establecidos) del valor genotípico de un individuo. En principio es medible, pero en la práctica no lo es, excepto cuando se trata de un solo locus²³⁹ donde los genotipos son fenotípicamente distinguibles, o de los genotipos representados en líneas muy endogámicas²⁴⁰. A los efectos de la deducción, debemos asignar valores arbitrarios a los genotipos en discusión. Esto se hace de la siguiente manera. Considerando un solo locus con dos alelos, A_1 y A_2 , llamamos al valor genotípico de un homocigoto $+a$, al del otro homocigoto $-a$ y al del heterocigoto d ; se adopta la convención de que A_1 es el alelo que aumenta el valor. Así, se tiene una escala de valores genotípicos como en la figura que se presenta a continuación. El origen, o punto de valor cero, en esta escala está a mitad de camino entre los valores de los dos homocigotos²⁴¹. El valor d del

²³⁹ Locus es el sitio físico o ubicación de un gen específico dentro de un cromosoma)

²⁴⁰ La endogamia es la producción de descendencia mediante el apareamiento o crianza de individuos u organismos que están estrechamente relacionados genéticamente.

²⁴¹ Siendo los cromosomas la estructura que alberga el ADN/ARN en la célula, así como también alberga proteínas que contribuyen a que el ADN/ARN pueda existir dentro de la célula en la forma apropiada para el desempeño estable de sus funciones, un ente homocigoto es aquel formado por la unión de dos células sexuales con la misma dotación cromosómica (el número de cromosomas por

heterocigoto depende del grado de dominancia. Si no hay dominancia, $d = 0$; si A_1 es dominante sobre A_2 , d es positiva, y si A_2 es dominante sobre A_1 , d es negativa. Si la dominancia es completa, d es igual a $+a$ o $-a$, y si hay sobredominancia, d es mayor que $+a$ o menor que $-a$. El grado de dominancia puede expresarse como d/a .

Figura 52: Escala de Valores Genotípicos

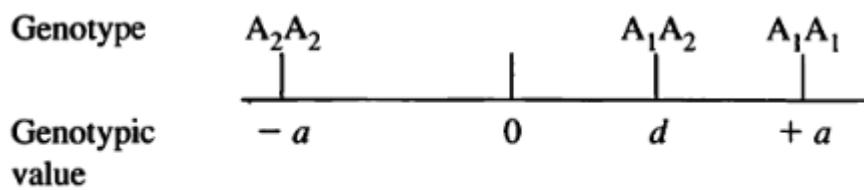


Fig. 7.1. Arbitrarily assigned genotypic values.

Fuente: (Falconer & Mackay, 1997, pág. 109).

Una vez bien especificada la configuración del modelo, es posible explicar qué son las medidas sigma-aditivas y las medidas sub-aditivas con base en lo señalado por (Huang & Mackay, 2016, pág. 3). Así, señalan los autores que un modelo genético aditivo se refiere a la situación en la que $d = 0$ y, por lo tanto, existe una relación lineal perfecta entre el valor genotípico y el número de copias de los alelos A . Por tanto, las funciones o medidas aditivas son aquellas que sirven para cuantificar relaciones de naturaleza completamente lineal entre determinadas variables, tal y como la relación entre el valor genotípico y el valor fenotípico bajo los supuestos antes definidos.

unidad celular que presenta el ente estudiado) y que en términos alélicos (un alelo es cada una de las maneras en que puede manifestarse un gen) es dominante de la forma AA , mientras que un ente heterocigoto es aquel formado por la unión de dos células sexuales con diferente dotación cromosómica y que en términos alélicos es dominado o recesivo de la forma aa .

III.III. II. Sobre la Paradoja del Valor C

Formalmente, el valor C es la cantidad de ADN nuclear en el núcleo gamético²⁴² no replicado, independientemente del nivel de ploidía²⁴³ de la especie, es decir, del tamaño del genoma.

Como señalan (Latorre & Silva, 2001-2002), el genoma de un organismo es el contenido total de ADN de sus células, incluidos los genes y las regiones intergénicas²⁴⁴. En procariotas (Archaea y Bacteria) existe, en general, una relación lineal entre el tamaño del genoma y el número de genes²⁴⁵. Los genomas más pequeños se encuentran en simbiontes y parásitos, ya que se someten a un proceso de degradación de genes durante la adaptación a su nuevo estilo de vida. Sin embargo, en eucariotas no existe correlación entre el tamaño del genoma y la complejidad del organismo. Esto se conoce como la *paradoja del valor C*. El genoma más grande se encuentra en una ameba, un organismo unicelular, con 686.000 Mb, 200 veces más grande que el genoma humano y 20.000 veces más grande que el que se encuentra en la levadura. En la actualidad se sabe que la mayor parte del exceso de ADN es ADN repetitivo, aparentemente sin una función²⁴⁶ y cuyo posible papel en la evolución del genoma aún se desconoce²⁴⁷.

²⁴² Un gameto es una célula cuyo núcleo se une con el de otra célula para formar un nuevo organismo. El núcleo de esta célula es conocido como núcleo gamético. Véase <https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/c-value>.

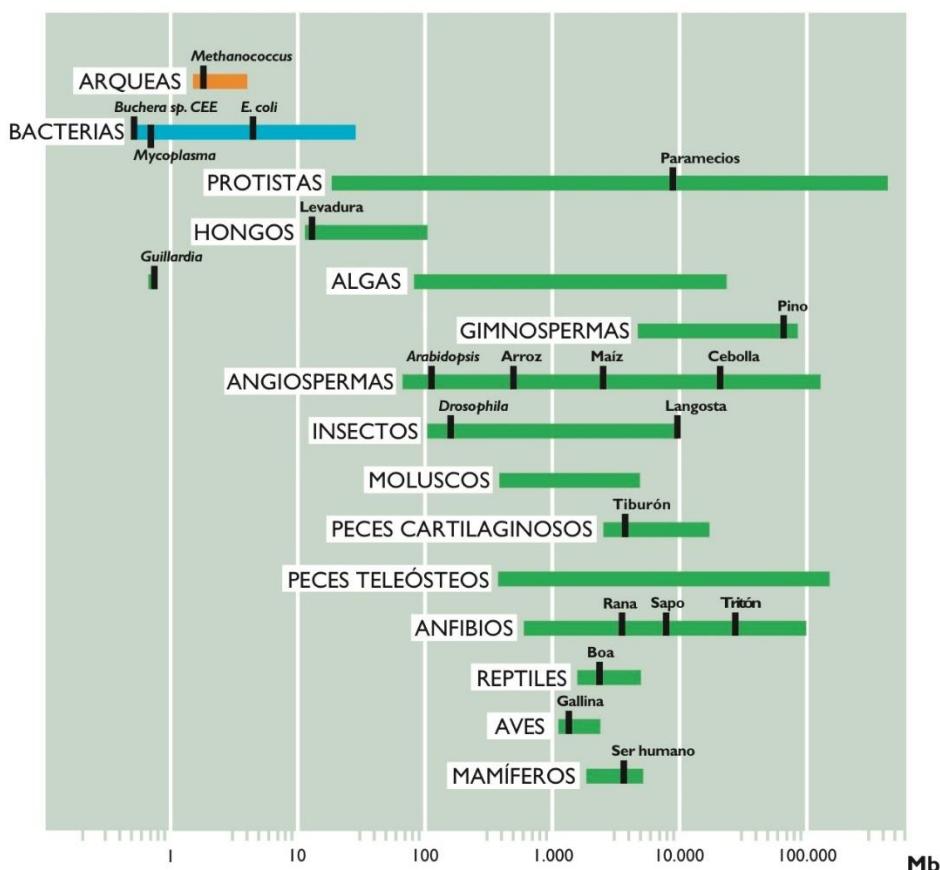
²⁴³ Número de conjuntos de cromosomas de una célula u organismo. Por ejemplo, haploide significa un conjunto y diploide dos conjuntos. Véase <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/ploidia>.

²⁴⁴ Tramo espacial de secuencias de ADN ubicadas entre genes.

²⁴⁵ Número de genes que se agregan, como se vio en la subsección inmediata anterior, de manera lineal, *i.e.*, sigma-aditiva.

²⁴⁶ Este tipo de ADN es conocido como *ADN Egoísta*. De manera más específica, estos son segmentos genéticos que pueden mejorar su propia transmisión a expensas de otros genes en el genoma, incluso si esto no tiene un efecto positivo o negativo neto sobre la aptitud del organismo. De manera más específica, señala (Werren, 2011, pág. 10863), estos genes sólo pueden ser dañinos o neutrales en el individuo como un todo. Como resultado, se produce un conflicto genético entre los SGE y otros elementos genéticos del genoma. Cada vez hay más pruebas de que los SGE y el conflicto genético resultante son un motor importante para el cambio evolutivo y la innovación. En la investigación citada, se describen los tipos de SGE y sus consecuencias evolutivas, incluida la forma en que estos elementos dan forma a las características biológicas básicas, como la estructura del genoma y la regulación de genes, la evolución de nuevos genes, el origen de nuevas especies y

Figura 53. Rango y Tamaños del Genoma



Fuente: (Latorre & Silva, 2001-2002).

Como señalan los autores, el tamaño del genoma en eucariotas se define como el valor C o cantidad de ADN por genoma haploide, tal como el que existe en el núcleo de un espermatozoide. Se denomina C, por constante o característico, para indicar el hecho de que el tamaño es prácticamente constante dentro de una especie.

Si se observa la figura 53, en general, se verifica que los eucariotas tienen genomas mucho mayores que los procariotas, con la excepción de algunas algas verdes endosimbiontes o parásitas, que tienen genomas muy reducidos. En concreto, el

los mecanismos de determinación del sexo y desarrollo. También se consideran las dinámicas de los SGE, incluidas las posibles “funciones evolutivas” de los SGE. Se ampliará al respecto en la sección III.IV de esta investigación.

²⁴⁷ Sobre esto se hablará en la sección de esta investigación referida en la nota al pie anterior.

genoma eucariótico más pequeño secuenciado es el de *Guillardia theta*, un alga roja simbionte, de tan sólo 0.55 Mb. También se puede observar en la figura que hay un rango muy amplio de tamaños, mucho mayor que el de procariotas, de hasta más de 80.000 veces, desde organismos como la levadura (1.2 Mb) hasta la ameba (686,000 Mb). Pero ¿existe, como en bacterias, una relación entre el tamaño del genoma y la complejidad del organismo?

En la figura 50 se han representado el rango de valor C en varios grupos representativos de organismos de eucariotas. La gran variación en los tamaños del genoma entre especies eucariotas no parece tener una relación ni con la complejidad del organismo, ni con el número de genes que contienen. Por ejemplo, las amebas, que presentan los mayores genomas, poseen 200 veces más ADN que los humanos (3,400 Mb) y es evidente que una ameba no puede ser más compleja que nosotros. Es más, lo esperado sería que los mamíferos, organismos más complejos, presentaran los genomas más grandes. Sin embargo, muchos otros organismos, como peces, anfibios o plantas, tienen genomas mucho mayores que ellos. Incluso cuando comparamos los tamaños entre organismos que parecen similares en cuanto a la complejidad, encontramos también amplias diferencias en sus valores C. Por poner algunos ejemplos, moscas y langostas, cebollas y lirios, etc., tienen variaciones considerables en los tamaños de sus genomas.

Los anfibios, como grupo, tienen variaciones de hasta 91 veces²⁴⁸ y es difícil creer que esto pueda reflejar variaciones de casi 100 veces en el número de genes necesarios para dar lugar a los anfibios correspondientes o que la cebolla necesite 200 veces más ADN que el arroz. A la falta de correspondencia entre los valores C y la cantidad presumible de información genética contenida dentro de los genomas se le llamó *paradoja del valor C*.

²⁴⁸ Un grupo, en el contexto de la biología, es un número de entidades tomadas juntas como una unidad porque los miembros comparten una característica o relación común. Los autores se refieren aquí a la diferente proporcionalidad existente entre las razones de valores C (el cociente entre el mayor valor C posible y el menor valor C posible dentro de un ejemplar) entre miembros de un mismo grupo (en este caso, de anfibios).

Debido a que no es lógico asumir que una especie posea menos ADN que la cantidad requerida para especificar sus funciones vitales, se debe explicar por qué muchas especies contienen tal cantidad de exceso de ADN. Por tanto, la primera cuestión que se ha de clarificar es si existe una correlación entre el tamaño del genoma y el número de genes. Es decir, ¿las diferencias en los tamaños del genoma son debidas a ADN génico o no génico?

Los autores señalan que es sabido, desde finales de los años 60, que el genoma de eucariotas está compuesto de una gran cantidad de ADN repetitivo. Además, desde finales de los años 70 se sabe que los genes se encuentran interrumpidos por secuencias no codificantes, los intrones²⁴⁹, que han de ser eliminados antes de que el ribosoma sintetice la proteína. Se trata, en ambos casos de ADN aparentemente superfluo, que contribuye a la gran variación en los valores C y, por tanto, explica la aparente paradoja. Sin embargo, como se adelantó en una nota al pie anterior, investigaciones recientes como (Werren, 2011, pág. 10863) indican que, en realidad, este ADN no es superfluo (o, en su defecto, existen fuertes indicios de que no lo es), por el contrario, estos genes sólo pueden ser dañinos o neutrales en el individuo como un todo. Como resultado, se produce un conflicto genético entre los SGE (genes egoístas) y otros elementos genéticos del genoma.

Así, el autor señala que cada vez hay más pruebas de que los SGE y el conflicto genético resultante son un motor importante para el cambio evolutivo y la innovación, describiendo los tipos de SGE y sus consecuencias evolutivas, incluida la forma en que estos elementos dan forma a las características biológicas básicas, como la estructura del genoma y la regulación de genes, la evolución de nuevos genes, el origen de nuevas especies y los mecanismos de determinación del sexo y desarrollo. También considera las dinámicas de los SGE, incluidas las posibles

²⁴⁹ Como se señala en (National Human Genome Research Institute, 2022), un intrón es una región que reside en el interior de un gen, pero no permanece en la molécula madura final de ARNm después de la transcripción de ese gen y no codifica para los aminoácidos que confirmarán la proteína codificada por ese gen. La mayoría de los genes que codifican para proteínas en el genoma humano son exones e intrones.

“funciones evolutivas” de los SGE, lo cual se localiza, al igual que los demás aspectos evolutivos analizados, en (Werren, 2011, págs. 10868-10869). Esto implica que la paradoja del valor C sigue abierta en cuanto tal, en cuanto paradoja.

El tamaño y el número de intrones varían ampliamente a lo largo de la escala evolutiva, siendo los mamíferos los que tenemos el mayor número y de mayor tamaño. También el ADN repetitivo varía entre organismos. Tradicionalmente se clasifica este ADN como: altamente repetitivo, con secuencias como los microsatélites²⁵⁰ y los minisatélites²⁵¹; y moderadamente repetitivo, donde se

²⁵⁰ Como se señala en (National Human Genome Research Institute, 2022), microsatélite, en lo que se refiere a la genómica, es un segmento corto de ADN, habitualmente con una longitud de uno a seis o más pares de bases, que se repite múltiples veces en sucesión en una ubicación genómica particular. Estas secuencias de ADN, habitualmente, no son codificantes. La cantidad de segmentos repetidos en una secuencia microsatélite con frecuencia varía entre las personas, lo que las hace útiles como marcadores polimórficos para estudiar patrones de herencia en familias o para crear una huella dactilar de ADN a partir de muestras obtenidas, por ejemplo, en la escena de un crimen.

²⁵¹ Un minisatélite es un tramo de ADN repetitivo en el que ciertos motivos de ADN (un motivo de secuencia es un patrón de secuencia de nucleótidos o aminoácidos que está muy extendido y generalmente se supone que está relacionado con la función biológica de la macromolécula; estos varían en longitud de 10 a 60 pares de bases) se repiten normalmente de 5 a 50 veces. Los minisatélites se encuentran en más de 1000 ubicaciones en el genoma humano y se destacan por su alta tasa de mutación y gran diversidad en la población. Los minisatélites son prominentes en los centrómeros [como se señala en (Institute, National Human Genome Research, 2022)], centrómero se ve como una región constreñida de un cromosoma y tiene un papel clave al ayudar a la célula a dividir el ADN durante la división (mitosis y meiosis). Específicamente, es la región donde se unen las fibras del huso de la célula. Tras la unión de las fibras del huso al centrómero, las dos cromátidas hermanas idénticas que conforman el cromosoma replicado son separadas a los lados opuestos de la célula que está dividiéndose, de forma tal que las dos células hijas resultantes terminan con copias idénticas de ADN] y telómeros [como se señala en (Institute, National Human Genome Research, 2022)], un telómero es una región de secuencias repetitivas de ADN en el extremo de un cromosoma. Los telómeros protegen los extremos de los cromosomas para evitar que se desgasten o enreden. Cada vez que una célula se divide, los telómeros se tornan ligeramente más cortos. Finalmente, se acortan tanto que la célula ya no puede dividirse correctamente, y la célula muere] de los cromosomas, estos últimos protegen a los cromosomas del daño. El nombre "satélite" se refiere a la observación temprana de que la centrifugación del ADN genómico en un tubo de ensayo separa una capa prominente de ADN a granel de las capas "satélite" de ADN repetitivo que la acompañan. Los minisatélites son pequeñas secuencias de ADN que no codifican proteínas, pero aparecen en todo el genoma cientos de veces, con muchas copias repetidas una al lado de la otra. Los minisatélites y sus primos más cortos, los microsatélites, juntos se clasifican como ADN VNTR (número variable de repeticiones en tandem). De manera confusa, los minisatélites a menudo se denominan VNTR, y los microsatélites a menudo se denominan repeticiones cortas en tandem (STR) o repeticiones de secuencia simple (SSR).

encuadran los elementos transponibles²⁵² (conocidos también como “transposones”), las secuencias que constituyen el ejemplo más claro de ADN egoísta.

Figura 54. Tamaño del Genoma, número de genes y densidad génica

Organismo				
Nombre común o clase	Nombre científico	Tamaño del genoma (Mb)	Número de genes	Densidad génica (genes/Mb)
Eucariotes	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	12	6.241	480
Levadura del pan				
Nematodo	<i>Caenorhabditis elegans</i>	97	18.424	190
Crucífera	<i>Arabidopsis thaliana</i>	125	25.498	204
Mosca del vinagre	<i>Drosophila melanogaster</i>	180	13.601	75
Pez globo	<i>Fugu rubripes</i>	400	35.000	100
Arroz	<i>Oryza sativa</i>	450		
Erizo de mar	<i>Strongylocentrotus purpuratus</i>	900	27.350	30
Maíz	<i>Zea mays</i>	2.400		
Ser humano	<i>Homo sapiens</i>	3.400	35.000	10
Cebolla	<i>Allium cep</i>	18.000		
Ameba	<i>Amoeba dubia</i>	686.000		
Arqueas	<i>Aeropyrum pernix</i>	1,55	1.522	981
Crenarchaeota				
Euryarchaeota	<i>Methanococcus jannaschii</i>	1,66	1.715	1033
Euryarchaeota	<i>Archaeoglobus</i>	2,18	2.420	1110
Bacterias	<i>Buchnera sp. CCE</i>	0,45		
Proteobacteria				
Gram positiva	<i>Mycoplasma genitalium</i>	0,58	479	831
Proteobacteria	<i>Buchnera sp. APS</i>	0,64	564	881
Gram negativa	<i>Haemophilus influenzae</i>	1,8	1.727	959
Cianobacteria	<i>Synechocystis sp.</i>	3,6	3.168	880
Gram positiva	<i>Bacillus subtilis</i>	4,2	4.100	976
Proteobacteria	<i>Escherichia coli</i>	4,6	4.288	932

Fuente: (Latorre & Silva, 2001-2002).

²⁵² Un transposón o elemento genético transponible es una secuencia de ADN que puede moverse de manera autosuficiente a diferentes partes del genoma de una célula, un fenómeno conocido como transposición. En este proceso, se pueden causar mutaciones y cambio en la cantidad de ADN del genoma.

Como señala (Pray, 2022), la pregunta “¿Cuántos genes hay al interior de un genoma?” sorprendentemente no es muy importante y el paradigma actual de la biología molecular sostiene que no tiene nada que ver con la complejidad del organismo. Hay más en los genomas que los genes que codifican proteínas por sí solos. Evidentemente esta es un caso de sistemas con la suficiente complejidad²⁵³ para que el todo sea más que una suma de las partes.

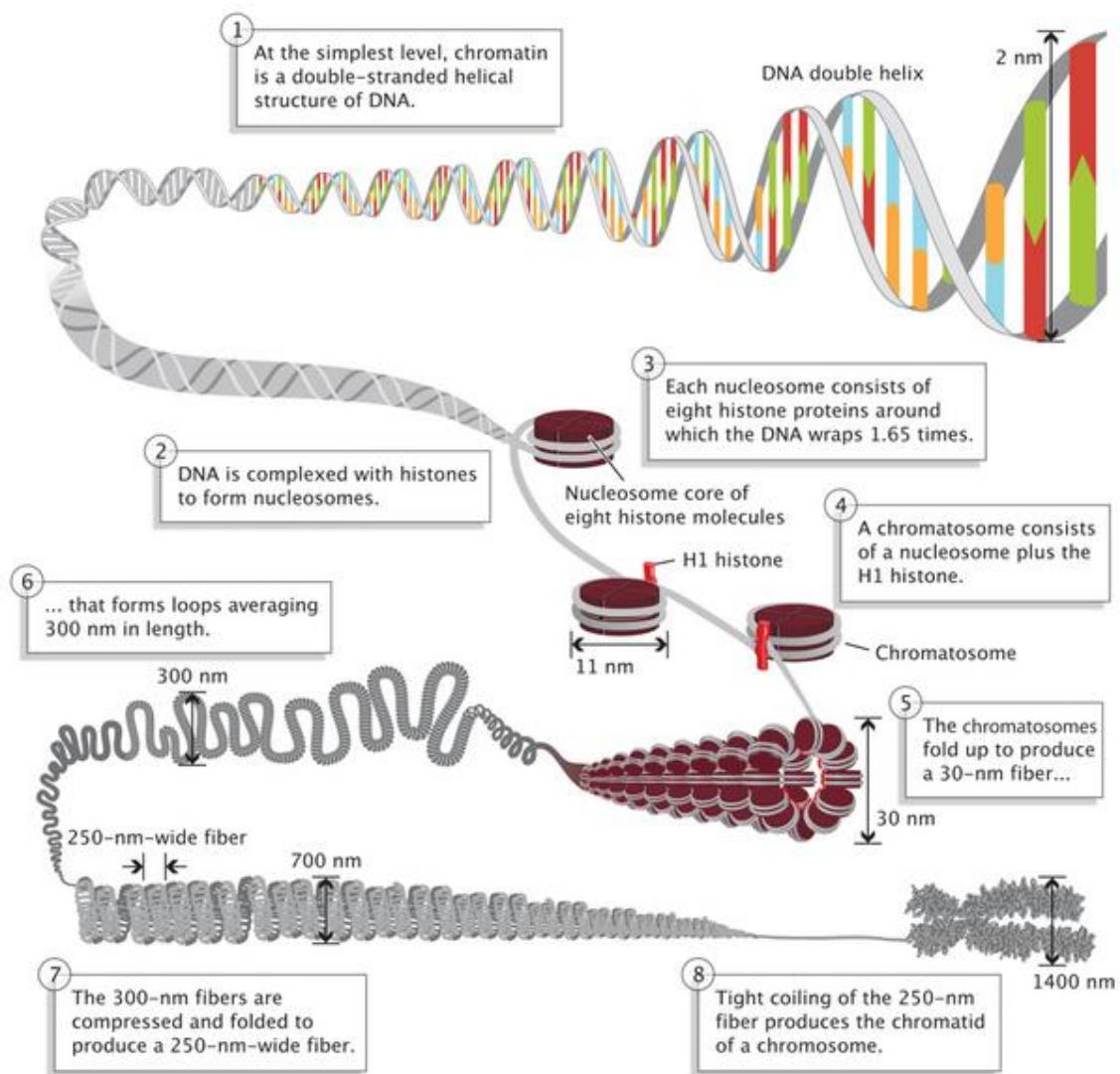
Deben considerarse los siguientes aspectos teóricos del paradigma sobre el genoma nuclear eucariótico:

1. El genoma nuclear eucariótico es lineal, a diferencia del ADN típicamente circular de las células bacterianas. Esto significa que se ajusta al modelo estructural de doble hélice de Watson-Crick.
2. Además, está incrustado en los nucleosomas, estructuras complejas de proteínas de ADN que se agrupan para formar cromosomas.

Más allá de las dos características universales básicas antes descritas, los genomas eucarióticos varían drásticamente en términos de tamaño y número de genes. Aun así, el tamaño del genoma y la cantidad de genes presentes en un organismo revelan poco sobre la complejidad de ese organismo. Esto se representa en la figura 52.

²⁵³ No se hace referencia aquí a la complejidad relacionada a la teoría del caos.

Figura 55. Estructura altamente compleja de la cromatina con varios niveles de organización



Fuente: (Pray, 2022).

Nótese que, con base en la figura anterior, es evidente que el nivel más simple es la estructura de doble hélice del ADN. La primera pregunta que suele hacerse sobre el genoma de un organismo es “¿Cuán grande es?”. Durante los últimos 60 años,

los científicos han estimado el tamaño del genoma de más de 10,000 plantas, animales y hongos. Sin embargo, aunque la información sobre el tamaño del genoma de un organismo puede parecer un buen punto de partida para intentar comprender el contenido genético o la "complejidad" del organismo, este enfoque a menudo desmiente la tremenda complejidad del genoma eucariótico. Como explican Van Straalen y Roelofs (2006), "Existe una notable falta de correspondencia entre el tamaño del genoma y la complejidad del organismo, especialmente entre los eucariotas. Por ejemplo, el pez pulmonado jaspeado, *Protopterus aethiopicus*, tiene más de 40 veces la cantidad de ADN por célula que los humanos". De hecho, el pez pulmonado jaspeado tiene el genoma más grande registrado de cualquier eucariota. Una copia haploide del genoma de este pez está compuesta por 132.8 mil millones de pares de bases, mientras que una copia del genoma haploide humano tiene solo 3,500 millones (el tamaño del genoma generalmente se mide en picogramos *pg*²⁵⁴ y luego se convierte en número de nucleótidos). De lo contrario, los humanos tendrían al menos tanto ADN como el pez pulmonado jaspeado, aunque probablemente mucho más²⁵⁵.

Añade la autora que se puede observar la misma "notable falta de correspondencia" cuando se analiza la relación entre el número de genes que codifican proteínas y la complejidad del organismo. Los científicos estiman que el genoma humano, por ejemplo, tiene entre 20,000 y 25,000 genes que codifican proteínas. Antes de completar el borrador de la secuencia del Proyecto del Genoma

²⁵⁴ Un picogramo es equivalente a 0.01 picómetros. En términos de pares de bases, un picogramo equivale a aproximadamente 1,000 millones de pares de bases.

²⁵⁵ Como aclaración adicional, se señala en (Pray, 2022), que cuando los científicos hablan sobre el genoma eucariótico, generalmente se refieren al genoma haploide: este es el conjunto completo de ADN en un solo núcleo haploide, como en un espermatozoide o un óvulo. Entonces, decir que el genoma humano tiene una longitud aproximada de 3 mil millones de pares de bases *pb* es lo mismo que decir que cada conjunto de cromosomas tiene una longitud de 3 mil millones de *pb*. De hecho, cada una de nuestras células diploides contiene el doble de esa cantidad de pares de bases. Además, los científicos generalmente se refieren solo al ADN en el núcleo de una célula, a menos que indiquen lo contrario. Sin embargo, todas las células eucariotas también tienen genomas mitocondriales y muchas contienen genomas de cloroplastos. En humanos, el genoma mitocondrial tiene solo alrededor de 16,500 pares de bases de nucleótidos, una mera fracción de la longitud del genoma nuclear de 3,000 millones de *pb* (Anderson et al., 1981).

Humano en 2001, los científicos hicieron apuestas sobre cuántos genes había en el genoma humano. La mayoría de las predicciones estaban entre 30,000 y 100,000. Nadie esperaba una cifra tan baja como 20.000, especialmente si se compara con la cantidad de genes que codifican proteínas en un organismo relativamente simple como, por ejemplo, el *Trichomonas vaginalis*²⁵⁶. De hecho, como se muestra en la figura presentada a continuación, en comparación con casi cualquier otro organismo, los 25,000 genes codificadores de proteínas de los humanos no parecen ser muchos.

Figura 56. Tamaño del Genoma y Número de Genes que Codifican Proteínas para un puñado seleccionado de especies

Species and Common Name	Estimated Total Size of Genome (bp)*	Estimated Number of Protein-Encoding Genes*
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (unicellular budding yeast)	12 million	6,000
<i>Trichomonas vaginalis</i>	160 million	60,000
<i>Plasmodium falciparum</i> (unicellular malaria parasite)	23 million	5,000
<i>Caenorhabditis elegans</i> (nematode)	95.5 million	18,000
<i>Drosophila melanogaster</i> (fruit fly)	170 million	14,000
<i>Arabidopsis thaliana</i> (mustard; thale cress)	125 million	25,000
<i>Oryza sativa</i> (rice)	470 million	51,000
<i>Gallus gallus</i> (chicken)	1 billion	20,000-23,000
<i>Canis familiaris</i> (domestic dog)	2.4 billion	19,000
<i>Mus musculus</i> (laboratory mouse)	2.5 billion	30,000
<i>Homo sapiens</i> (human)	2.9 billion	20,000-25,000

Fuente: (Pray, 2022).

Como se muestra en la figura 53, ni siquiera existe una correspondencia clara entre el tamaño del genoma y la cantidad de genes que codifican proteínas, otra

²⁵⁶ El *T. vaginalis* es un organismo parásito unicelular responsable de aproximadamente 180 millones de infecciones del tracto urogenital en humanos cada año. Este diminuto organismo presenta el mayor número de genes que codifican proteínas de todos los genomas eucarióticos secuenciados hasta la fecha: aproximadamente 60,000.

indicación de que la cantidad de genes en un genoma eucariota revela poco sobre la complejidad del organismo. El número de genes que codifican proteínas suele limitarse a unos 25,000, incluso a medida que aumenta el tamaño del genoma.

Como señala la autora antes referida, al igual que con el tamaño del genoma, tener más genes que codifican proteínas no se traduce necesariamente en una mayor complejidad. Esto se debe a que el genoma eucariótico ha evolucionado de otras formas para generar complejidad biológica. Gran parte de esta complejidad se deriva de cómo se "comporta" el genoma, o más precisamente, cómo se expresan varios genes.

El empalme alternativo²⁵⁷ fue el primer fenómeno que los científicos descubrieron y que les hizo darse cuenta de que la complejidad genómica no se puede juzgar por la cantidad de genes que codifican proteínas. Durante el empalme alternativo, que ocurre después de la transcripción y antes de la traducción²⁵⁸, los intrones se eliminan y los exones²⁵⁹ se empalan para formar una molécula de ARNm. Sin embargo, los exones no se vuelven a empalar necesariamente de la misma manera. Por lo tanto, un solo gen, o unidad de transcripción, puede codificar múltiples proteínas u otros productos génicos, dependiendo de cómo se vuelvan a empalar los exones. De hecho, los científicos han estimado que puede haber hasta 500,000 o más proteínas humanas diferentes, todas codificadas por apenas

²⁵⁷ El empalme alternativo, ayuste alternativo o “splicing” alternativo, permite obtener, a partir de un transcripto primario de ARNm o pre-ARNm, distintas isoformas de ARNm y proteínas, las cuales pueden tener funciones diferentes y a menudo opuestas. Este empalme permite que un solo gen codifique múltiples proteínas. En este proceso, los exones particulares de un gen pueden incluirse o excluirse del ARN mensajero (ARNm) procesado final producido a partir de ese gen.

²⁵⁸ La transcripción es la síntesis de ARN a partir de una plantilla de ADN (una plantilla de ADN o hebra molde de ADN es la hebra que se utiliza durante la transcripción para producir ARN. Es complementario a la hebra codificante de ADN para el gen objetivo o “target gene”) donde el código del ADN se convierte en un código de ARN complementario. La traducción es la síntesis de una proteína a partir de una plantilla de ARNm, en la que el código del ARNm se convierte en una secuencia de aminoácidos en una proteína.

²⁵⁹ Como se señala en (National Human Genome Research Institute, 2022), los exones son la parte del ARN que codifica para las proteínas. Cuando el ARN se transcribe por primera vez, es una molécula muy, muy larga. Y realmente, las partes importantes del ARN son los exones. Por ello, existen trozos grandes de ARN que son eliminados.

20,000 genes codificadores de proteínas. Desde entonces, los científicos se han encontrado con varios otros mecanismos que contribuyen a la capacidad del genoma eucariota para generar complejidad fenotípica²⁶⁰.

Considérese, a manera de ejemplo, de nuevo los 60,000 genes que codifican proteínas en *Trichomonas vaginalis*. Si todos esos 60,000 genes operaran al mismo nivel de complejidad que los aproximadamente 20,000 genes del *Homo Sapiens*, ¿no debería ser *T. vaginalis* un organismo mucho más complejo de lo que es? Resulta que sus genes no operan al mismo nivel de complejidad. Para empezar, pocos de los genes tienen intrones, lo que significa que el empalme alternativo no es una fuente importante de variación de proteínas. Más bien, los científicos sospechan que la gran cantidad de genes, que, por cierto, es 10 veces más de lo que esperaban encontrar antes de comenzar el proyecto de secuenciación, se debe a la duplicación (Carlton et al., 2007). En otras palabras, muchos de los genes son simplemente copias unos de otros. Además, se cree que aproximadamente la mitad son "pseudogenes", o secuencias de ADN que son similares a los genes codificadores de proteínas funcionales pero que han perdido sus capacidades de codificación de proteínas. Los científicos aún no saben por qué el genoma de *T. vaginalis* tiene tantos genes, incluidos tantos genes desaparecidos.

La complejidad del organismo es, por lo tanto, el resultado de mucho más que la simple cantidad de nucleótidos que componen un genoma y la cantidad de

²⁶⁰ Estos incluyen la edición de ARN, el empalme trans y el quimerismo en tandem. La edición de ARN es la alteración de una molécula de ARNm después de la transcripción; por ejemplo, la modificación de una citosina a uracilo antes de que una molécula de ARNm se traduzca en una proteína. Las consecuencias fenotípicas de la edición de ARN varían entre genes y especies. Si bien a veces es perjudicial (por ejemplo, algunos eventos de edición de ARN se han asociado con enfermedades), aquellos eventos de edición de ARN que conducen a ligeros cambios en la estructura de la proteína podrían ser selectivamente ventajosos (Reenan, 2005). El empalme trans es el empalme de transcriptos separados para formar una molécula de ARNm, a diferencia del empalme alternativo, que es el empalme de exones del mismo transcrito. El quimerismo en tandem ocurre cuando las unidades de transcripción adyacentes se transcriben juntas para formar una sola molécula de ARNm "químérica" (Parra et al., 2005).

secuencias codificantes en ese genoma. No sólo una secuencia de codificación puede codificar una gran cantidad de productos proteicos separados a través de empalmes alternativos, sino que muchos genomas también son ricos en secuencias de ARN no codificantes que funcionan para coordinar la expresión génica. Cuando uno combina estos elementos con otros elementos reguladores, como potenciadores y promotores, así como con secuencias potenciales que permanecen sin caracterizar, queda claro que, si bien el tamaño es un componente de la complejidad del organismo, su contribución a esa complejidad es pequeña.

III.III. III. Esbozando una Hipótesis Sobre la Paradoja del Valor C

Sobre las bases antes establecidas, puede especularse legítimamente sobre la paradoja del valor C.

La primera cuestión por analizar es si realmente las cadenas de ADN son adecuadamente descritas como sistemas lineales. Sobre ello, con base en (Yakushevich, 2001, pág. 305), desde hace más de veintiún años muchos investigadores que se ocupan de los movimientos internos de gran amplitud en el ADN han llegado a la conclusión de que la molécula se puede considerar como un sistema dinámico no-lineal en el que se pueden excitar ondas conformacionales solitarias²⁶¹. La primera aproximación a un modelaje no-lineal de sistemas químicos, que además es en la actualidad la aproximación estándar en tal sentido, se realizó a manera de un sistema hamiltoniano no-lineal. A nivel de mecánica cuántica, el hamiltoniano de un sistema dinámico es un operador que corresponde a la energía total de ese sistema, incluyendo tanto la energía cinética como la energía potencial. Su espectro, es decir, el espectro de energía del sistema o, lo que es lo mismo, el conjunto de autovalores de las ecuaciones que describen la energía del sistema, es el conjunto de resultados posibles que se pueden obtener a partir de

²⁶¹ Como se señala en el mismo lugar, la primera vez que esta cuestión se puso sobre la mesa fue en 1980, en la investigación de Englander et al., titulada “Nature of the open state in long polynucleotide double helices: possibility of soliton excitations”. Véase <https://www.pnas.org/doi/pdf/10.1073/pnas.77.12.7222>.

una medición de la energía total del sistema. A nivel de la química cuántica, un hamiltoniano molecular es el operador hamiltoniano que representa la energía de los electrones y núcleos en una molécula.

Este abordaje ha sido utilizado para explicar de forma teórica cuestiones generales como los mecanismos dinámicos del funcionamiento del ADN, mecanismos dinámicos de transiciones entre diferentes formas de ADN, efectos de largo alcance²⁶², la regulación de los procesos de transcripción antes descritos, desnaturización del ADN²⁶³, síntesis proteínica (específicamente, producción de insulina) y carcinogénesis (el proceso mediante el cual se produce el cáncer), entre otros fenómenos moleculares, así como también valientes intentos de explicar diferentes datos experimentales en los marcos de las concepciones no-lineales, a pesar de la acalorada discusión en la literatura científica, tales como las interpretaciones de datos experimentales sobre intercambio hidrógeno-tritio²⁶⁴, sobre absorción de microondas resonante y sobre la dispersión de neutrones por el ADN son algunos de estos intentos.

Sin embargo, a nivel directamente aplicado existen limitaciones para el uso de este enfoque, puesto que, aunque generalmente se supone que la solución de la ecuación de Schrödinger independiente del tiempo asociada con el hamiltoniano de Coulomb predecirá la mayoría de las propiedades de la molécula, incluida su forma (estructura tridimensional), los cálculos basados en el hamiltoniano de Coulomb completo son muy raros. La razón fundamental es que su ecuación de

²⁶² Como se señala en (Dekker & Misteli, 2015, pág. 1), las interacciones de largo alcance pueden ocurrir intracromosómicamente entre regiones ubicadas en el mismo cromosoma o intercromosómicamente entre regiones en distintos cromosomas.

²⁶³ Como se señala en (Wang, Lim, & Son, 2014, pág. 1), la desnaturización del ADN es un proceso de separación del dsADN (ADN de doble hélice) en cadenas sencillas, que son favorables para la hibridación del ADN. Aunque la desnaturización es una reacción clave que determina el éxito de los bioensayos basados en la hibridación del ADN, hasta el momento previo a la publicación del artículo citado, no se había intentado una caracterización sistemática del método de desnaturización para el dsADN.

²⁶⁴ La investigación de Englander et al, en 1980, que fue la investigación pionera en plantear la no-linealidad del ADN, versaba justamente sobre este fenómeno.

Schrödinger es muy difícil de resolver computacionalmente y, en consecuencia, las aplicaciones están restringidas a pequeños sistemas como la molécula de hidrógeno.

En la investigación de Yakushevich, se describe brevemente la historia del problema en cuestión, los principales resultados y nuevos argumentos que se basan en el análisis de los movimientos internos del ADN y en los principios generales del modelado matemático de los movimientos. Se establece ahí (p. 306) que es necesario utilizar un enfoque inarmónico²⁶⁵ (no-lineal) cuando las amplitudes de los movimientos no son pequeñas, por ejemplo, cuando ocurre a nivel local un desenrollamiento de la doble hélice de ADN²⁶⁶.

Específicamente, como señala (Amnuapol, 2016, pág. 69), este desenrollamiento ocurre en la transcripción del ADN. Ahí los pares de bases se abren en respuesta a las fuerzas enzimáticas, separando dos cadenas de nucleótidos entrelazadas. En consecuencia, el ADN de doble cadena (dsADN), que es aquel en el que dos cadenas de nucleótidos se enrollan entre sí, transita estructuralmente al ADN de cadena sencilla (ssADN), en el que dos cadenas de nucleótidos están completamente desenrolladas y separadas. La gran separación entre cadenas está íntimamente relacionada con el suavizamiento de las cadenas de nucleótidos²⁶⁷.

Como se deriva de la subsección anterior, la fuente de complejidad ocurre alrededor de la transcripción, sea durante la misma o inmediatamente después de ella. Esto es así porque la fuente de complejidad reside en los procesos de empalme alternativo (que es fuente de complejidad porque un mismo gen codifica varias proteínas y los empalmes de exones resultantes no son necesariamente iguales a

²⁶⁵ Un abordaje inarmónico es aquel que modela la desviación de un sistema de ser un sistema armónico, es decir, un sistema que tiende al equilibrio por cuanto toda desviación de dicho equilibrio es restaurada por una fuerza proporcional a la fuerza que lo hizo desviarse del equilibrio.

²⁶⁶ La investigación de (Zdravkovic, 2019, págs. 2-28) explica algunos de los modelos no-lineales de la dinámica del ADN.

como estaban empalmados originalmente), la edición de ADN, el empalme trans y el quimerismo en tandem.

Así, se verifica la afirmación relativa a que el común denominador de la complejidad ocurre alrededor de la transcripción, por cuanto todos los procesos antes mencionados tienen a su vez el común denominador de ocurrir alrededor de la transcripción (durante la transcripción o inmediatamente después). Alrededor de este momento es que se suscita la paradoja de no poder describir la complejidad del organismo por el número de genomas, lo cual es así porque en ese momento es donde se manifiesta que no existe una relación lineal entre el todo y sus partes integrales.

De lo anterior se desprende que, para solventar la paradoja del valor C²⁶⁸ es necesario tomar en consideración lo anterior, en conjunto con los siguientes seis aspectos:

1. ¿Qué tipo de información llevan codificada los genes involucrados?
2. ¿Qué tipo de codificación se emplea?
3. Se deben considerar sólo los genes que codifican proteínas o, en su defecto, asignarles mayor preponderancia (por ejemplo, mediante ponderadores) a los codificadores de proteínas con relación a los que no las codifican.
4. ¿Qué tipo de transcripción se realiza?
5. Que los genes tengan una estructura interna no-lineal.
6. El tipo de gen involucrado.
7. Considerar el papel que los genes negativos (expuestos en la siguiente sección) desempeñan en la evolución genética y biológica.

Y, el octavo, como ya se planteó, es considerar lo que ocurre alrededor de la transcripción. Si se pudiesen tomar en consideración los siete factores anteriores al

²⁶⁸ Con solventar no debe entenderse una solución de lógica y fundamento formal lineal, sino una solución que permita encontrar trazas de regularidad verdaderamente relevantes entre la relación del número de genes con la complejidad del organismo analizado.

establecer una relación entre la cantidad de genes y la complejidad del organismo, es muy probable que las trazas de regularidad deseadas con relación al vínculo entre el número de genes y la complejidad del organismo pudiesen descubrirse, con un determinado margen de error a un determinado nivel de confianza estadística²⁶⁹.

III.IV. SOBRE LOS GENES NEGATIVOS (GENES “EGOÍSTAS”)

III.IV. I. Introducción

Como se señala en (Encyclopedia Britannica, 2022), los transposones son clase de elementos genéticos que pueden “saltar” a diferentes lugares dentro de un genoma. Aunque estos elementos se denominan con frecuencia "genes saltadores", siempre se mantienen en un sitio integrado en el genoma. Además, la mayoría de los transposones finalmente se vuelven inactivos y ya no se mueven.

Los transposones fueron descubiertos por primera vez en el maíz durante las décadas de 1940 y 1950 por la científica estadounidense Barbara McClintock, cuyo trabajo le valió el Premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1983. Desde el descubrimiento de McClintock, se han identificado tres tipos básicos de transposones. Estos incluyen transposones de clase II, elementos transponibles de repetición invertida en miniatura (MITE's, o transposones de clase III) y retrotransposones (transposones de clase I).

Como señalan (Agren & Clark, 2018, pág. 1), los genes pueden propagarse en una población independientemente de su efecto sobre la aptitud del organismo, siempre que tengan una ventaja de transmisión. En la actualidad, los elementos genéticos negativos (“egoístas”) se han descrito en la mayoría de los grupos de

²⁶⁹ Esto se afirma puesto que, debido a las limitaciones instrumentales antes mencionadas, lo más probable es que el modelaje de este fenómeno sería posible únicamente desde la teoría de las probabilidades, que es el mismo abordaje aplicado a la mecánica cuántica y a la química cuántica. Además, debe considerarse que los sistemas orgánicos eucariotas no son sistemas mecánicos, es decir, no pueden ser descritos completamente por su mecanismo; de hecho, ni siquiera ciertas versiones de sistemas cuánticos son mecánicos, por ejemplo, los sistemas cuánticos disipativos, que, como demuestra (Vitiello, 2014, pág. 203), son isomórficos (*i.e.*, topológicamente equivalentes) a sistemas fractales (que son sistemas complejos, desde la complejidad de la teoría del caos).

organismos y demuestran una notable diversidad en las formas en que promueven su propia transmisión.

Como señalan (Latorre & Silva, 2001-2002), se denominan bajo la categoría de “ADN egoísta”²⁷⁰ (SGE, por su nombre en inglés) a aquellos segmentos genéticos que pueden mejorar su propia transmisión a expensas de otros genes en el genoma, incluso si esto no tiene un efecto positivo o negativo neto sobre la aptitud del organismo. En realidad, como señala (Werren, 2011, pág. 10863), estos genes sólo pueden ser dañinos o neutrales en el individuo como un todo, nunca generan un efecto neto positivo, como se creyó era posible incluso hasta inicios de este siglo. Como resultado, se produce un conflicto genético entre los SGE y otros elementos genéticos del genoma. Cada vez existen más pruebas de que los SGE y el conflicto genético resultante son un motor importante para el cambio evolutivo y la innovación. Sobre esto se hablará en la sección III.IV.III de esta investigación.

Resulta evidente que los conflictos generados por los genes “egoístas” en su relación con los demás genes del sistema son un motor fundamental del desarrollo de dicho sistema genético y biológico en general. Por tanto, es más adecuado y acorde al espíritu dialéctico de esta investigación llamar a los genes “egoístas” como *genes negativos* (*GNeg* o *NegG*, por su nombre en inglés). Esta denominación se comprenderá cada vez más a medida el lector avance por la sección III.IV de esta investigación.

Sin embargo, además del hecho de que estos genes son un motor fundamental del desarrollo genético y biológico en general, existen otras dos razones de peso para no llamar a los transposones como “genes egoístas”. La primera es que técnicamente no es adecuado (ni lógico) denotar sistemas sin conciencia con categorías que surgen en la dinámica de los sistemas que involucran elementos conscientes. La segunda es que la filosofía detrás de la denominación “egoísta”, no

²⁷⁰ Como señalan (Agren & Clark, 2018, pág. 1), históricamente se ha hecho referencia a ellos como genes ultra egoístas, ADN egoísta, genes egoístas, ADN parásito o forajidos genómicos.

de los genes transposones como tales, sino de los genes en general, ha sido ya contundentemente demolida por grandes biólogos evolutivos como Richard Lewontin, por ejemplo, en su disputa gnoseológica sobre tal materia con Richard Dawkins. A continuación, se mostrarán elementos de la vasta crítica de Lewontin y se introducirá uno nuevo en la misma dirección.

III.IV. II. Sobre las Implicaciones Gnoseológicas del “Egoísmo” en los Genes

El desafortunado concepto de “genes egoístas” está estrechamente vinculado a la creencia equivocada de que la evolución puede estudiarse al máximo rigor científico si tal estudio es centrado en los genes²⁷¹. Como señala (Lewontin R. C., *Caricature of Darwinism*, 1977, pág. 283), poderosas teorías que se ofrecen a explicar gran parte del mundo de las apariencias llevan, inmanentemente dentro de ellas, sus propias caricaturas. De hecho, su propensión a la reducción absurda está precisamente en proporción a su generalidad y poder originales.

Inevitablemente, hay quienes, deslumbrados por las grandes intuiciones de otros, pero entendiéndolos sólo superficialmente, empujan estas teorías mucho más allá de su dominio válido de explicación.

²⁷¹ Por ejemplo, (Werren, 2011, pág. 10863), señala que “Primero, los desarrollos empíricos y conceptuales en genética y biología evolutiva llevaron a una aceptación más amplia de una visión de la evolución centrada en los genes (3, 4). Cabe destacar en este sentido el influyente libro de Dawkin (4) titulado *The Selfish Gene*, que describía a los genes como “replicadores egoístas” que codifican fenotipos que incrementan su transmisión a futuras generaciones y a los organismos fundamentalmente como “vehículos” para la transmisión de genes.” En la misma dirección, la influyente enciclopedia *Wikipedia* señala que “Las primeras observaciones de elementos genéticos egoístas se realizaron hace casi un siglo, pero el tema no recibió una atención generalizada hasta varias décadas después. Inspirándose en los puntos de vista de la evolución centrados en los genes popularizados por George Williams y Richard Dawkins, en 1980 se publicaron dos artículos consecutivos en *Nature*: Leslie Orgel y Francis Crick y Ford Doolittle y Carmen Sapienza.” (*Wikipedia*, 2022). En la misma dirección señalan (Agren & Clark, 2018, pág. 2) que “El punto de vista del gen fue una síntesis de los modelos genéticos de población de la síntesis moderna, en particular el trabajo de RA Fisher, y los modelos de evolución social de Bill Hamilton. La visión fue popularizada por *Adaptation and Natural Selection* de George Williams y el best-seller de Richard Dawkins *The Selfish Gene*.” Así, se demuestra al lector la vinculación lógica y biológica-filosófica existente entre los conceptos de dawkinsianos de “gen egoista” y la visión de los transposones (y del ADN repetitivo en general) como “egoista”; aunque el artículo de Wikipedia citado se basa en el último documento de investigación citado, esto no es un problema porque el punto en cuestión es la amplia vinculación en la cultura científica que existe entre la denominación “egoista” para el ADN repetitivo con las cuestiones relativas a la filosofía de la biología planteadas por Dawkins et al.

La caricatura del darwinismo que ve el maravilloso funcionamiento de la selección natural en todos los aspectos del mundo viviente y sus artefactos comenzó inmediatamente con la publicación de *El Origen de las Especies*. El entusiasmo que llevó a los primeros partidarios de Darwin a ver cada diferencia en la morfología y fisiología de los organismos como adaptativa, también los llevó a una especulación no diferente de la racionalización barroca de los vestigios de la creación de Paley²⁷². La teoría evolutiva fue rescatada de sus excesos por las ideas de crecimiento alométrico de Huxley²⁷³, que permitieron comprender que muchas características morfológicas de los organismos son simplemente consecuencias epifenoménicas de cambios relativos en diferentes campos de crecimiento o en diferentes dimensiones, y por la demostración de Sewall Wright de que precisamente las mismas fuerzas selectivas pueden conducir a diferentes poblaciones a composiciones fenotípicas bastante diferentes debido a procesos aleatorios²⁷⁴ que operan en un campo de múltiples equilibrios estables.

Así, la comunidad de biólogos, en general, se dejó de sentir tentada a explicar de manera adaptativa por qué el rinoceronte indio tiene un cuerno mientras que el rinoceronte africano tiene dos. Durante más de cuarenta años, la teoría de la evolución se ha mantenido libre de un seleccionismo ingenuo²⁷⁵. Sin embargo,

²⁷² Lewontin se refiere aquí a la obra de William Paley titulada *Natural Theology* (*Teología Natural*, en español), en el que se plantea teleológicamente (en términos de la causa final) que la Naturaleza presupone un creador (algún dios, que en la obra de Paley es Dios, dado que él comulgaba con el cristianismo), así como lo presupone un reloj; como se dijo en el prólogo de este trabajo, uno de los grandes aportes de Hegel fue la construcción de una teleología general sin la necesidad de presuponer una voluntad. El lector no debe confundir “teología” con “teleología”, a pesar de que en muchos sistemas filosóficos (específicamente en sistemas idealistas inspirados en la cosmovisión judeocristiana que emplean alguna metafísica u ontología -i.e., alguna doctrina del Ser-) existe un vínculo entre ambos conceptos.

²⁷³ Como se indica en (Encyclopedia.com, 2022), el crecimiento alométrico es el patrón regular y sistemático de crecimiento tal que la masa o el tamaño de cualquier órgano o parte de un cuerpo puede expresarse en relación con la masa o el tamaño total de todo el organismo de acuerdo con la ecuación alométrica: $Y = bx^\alpha$, donde Y es la masa del órgano, x es la masa del organismo, α es el coeficiente de crecimiento del órgano y b es una constante que pertenece al dominio de los números reales.

²⁷⁴ Entendida la aleatoriedad en la forma establecida en la sección III.II.II de esta investigación.

²⁷⁵ Se refiere aquí Lewontin a la creencia equivocada que toda característica de un organismo se debe rigurosamente a la selección natural.

desde la década de los 70 hubo un retorno a la forma extrema del programa adaptacionista, ya que los evolucionistas redescubrieron el comportamiento²⁷⁶. Comenzando con la verdad indudable de que el comportamiento debe, como la morfología y la fisiología, estar sujeto a la fuerza de la selección natural, los nuevos panglossianos²⁷⁷ terminan con el viejo error de que todo comportamiento descriptible debe ser el producto directo de la selección natural. La manifestación científica de esta tendencia se podía ver alrededor de la década de los 70 en cada número de, por ejemplo, *The American Naturalist*²⁷⁸, revista permeada por el lenguaje e incluso podría haber estado permeada también por el aparato formal de la teoría de juegos²⁷⁹, y por los desarrollos teóricos de la escuela de

²⁷⁶ Se refiere Lewontin aquí a que las nuevas investigaciones de la época arrojaron nuevas luces sobre lo que había planteado Charles Darwin.

²⁷⁷ En (Marx, 2010, págs. 145-146) se hace una referencia al doctor Pangloss, el personaje de la obra *Cándido o el Optimismo* de Voltaire. La obra es la autobiografía filosófica de Voltaire, en la que, a través de una crítica al sistema filosófico optimista de su antiguo maestro (Leibniz, el padre del cálculo diferencial e integral), muestra su propia evolución del optimismo al pesimismo moderado (Pangloss representa a Leibniz y Cándido a Voltaire). Pangloss es un personaje que siempre encuentra una manera de apoyar su creencia de que este es el mejor de todos los mundos posibles y Marx hace referencia a la frase del personaje “Tout est pour le mieux dans le meilleur des mondes possibles” (“Todo es para bien en el mejor de los mundos posibles”) en alusión a que el dinero invertido por el capitalista siempre encuentra una forma de convertirse en capital, por cuanto tal metamorfosis tiene lugar tanto dentro como fuera de la esfera de la circulación; dentro de la circulación, porque está condicionada por la compra de la fuerza de trabajo en el mercado; fuera de la circulación, porque lo que se hace dentro de ella es sólo un peldaño hacia la producción de plusvalía, un proceso que está enteramente confinado a la esfera de la producción. La analogía a Pangloss que aquí hace Lewontin [y que retomará en la revolucionaria e influyente investigación *The Spandrels of San Marco and the Panglossian Paradigm: A Critique of the Adaptationist Programme*, realizada junto con Stephen Jay Gould -quizás el más grande paleobiólogo de la historia después de Darwin-, ambos ampliamente conocidos por su visión marxista de la biología, como señala (Queller, 1995, pág. 486), un sociobiólogo antagónico ideológicamente (tanto políticamente como técnicamente) a Gould y Lewontin], inspirada en el pasaje de la obra de Marx antes citado, se hace en el sentido de analogía entre Pangloss con los sociobiólogos y con quienes creen que el estudio de la biología evolutiva debe centrarse en los genes, dado que Pangloss es un personaje que puede ser tipificado como un “tonto sobreeducado” (Queller, 1995, pág. 485) que tiende siempre a ver “evidencia” que respaldan sus creencias, pero tal evidencia es evidentemente espuria.

²⁷⁸ Es la revista científica mensual revisada por pares de la Sociedad Estadounidense de Naturalistas.

²⁷⁹ La crítica de Lewontin aquí va dirigida a que la teoría de juegos es una visión mecanicista de la realidad y, por consiguiente, también reduccionista. Esto es válido para la teoría de juegos que conoció Lewontin, pero también para la que se ha desarrollado en la actualidad, que, aunque ha evolucionado en términos de su complejidad instrumental, su esencia lógica permanece prácticamente intacta. El otro problema con la teoría de juegos es que nace bajo la lógica de una

“sociobiología”²⁸⁰, entre cuyas producciones más extraordinarias se encuentra una disertación, reciente con relación a la fecha en que Lewontin escribió el artículo citado (1977), muy elogiada en aquel entonces que explica la felación y el cunnilingus²⁸¹ entre las clases medias altas como una respuesta adaptativa a los recursos constantes. La manifestación popular de esta nueva caricatura del darwinismo, como señala (Lewontin R. C., *Caricature of Darwinism*, 1977, pág. 283), alcanza su forma más extrema en *El gen egoísta* de Richard Dawkins.

La obra de Dawkins, según Lewontin en el lugar citado, es el resultado del descubrimiento de Dawkins del darwinismo vulgar²⁸². “Somos máquinas de supervivencia-vehículos robot programados ciegamente para preservar las egoístas moléculas conocidas como genes. Esta es una verdad que todavía me llena de asombro” (prólogo). Señala Lewontin, con picante sarcasmo, que “Yo también encuentro bastante sorprendente la descripción de Dawkins de la relación entre el gen y el organismo. El tema de nuestra manipulación pasiva por parte de nuestros captores de genes se repite una y otra vez. "Hacen un enjambre en enormes colonias, a salvo dentro de gigantescos robots pesados, aislados del mundo exterior comunicándose con él por tortuosas rutas indirectas, *manipulándolo por*

teoría económica vulgar (sin fundamento histórico, diseñada como apología a la lógica capitalista, cuyo instrumental puede servir, a lo sumo,

²⁸⁰ El autor de la presente investigación desconoce y no se tomó el trabajo de verificar si en la actualidad la revista citada por Lewontin sigue teniendo las mismas tendencias (o nuevas tendencias en la misma dirección). Sin embargo, es previsible que siga siendo así.

²⁸¹ Práctica sexual que consiste en la estimulación de los órganos genitales femeninos mediante la boca.

²⁸² Llamar a una pseudociencia como “versión vulgar” de la ciencia de cual procede es algo que proviene de la influencia de Marx, que llamaba “economía vulgar” a las teorías económicas apologéticas del capitalismo que surgieron después de los economistas clásicos. Como se señala en (Wikipedia, 2022), citando a Karin Wetzig (1980) y Dietmar Scholz (1981), Marx acuña este concepto al explicar cómo después de fracasar en resolver las contradicciones básicas en sus teorías laborales del valor, la escuela clásica de economía política finalmente se disolvió, dejando solo “economía política vulgar” que ya no trataba de proporcionar una teoría coherente e integral del capitalismo, sino que ofrecía solo una amalgama ecléctica de teorías que parecían pragmáticamente útiles (por ejemplo, aquellas que se enfocan en “la satisfacción del consumidor”, lo cual tiene como fin no solamente “archivar” la discusión relativa a la distribución, sino que también puede ser útil para determinados tipos de previsiones empresariales, como, por ejemplo, es el caso del concepto marshalliano de elasticidad.) o que justificaban la racionalidad de la economía de mercado.

control remoto. Están en ti y en mí; nos crearon *en cuerpo y mente*; y su preservación es la razón última de nuestra existencia. Han recorrido un largo camino, esos replicadores. Ahora se llaman genes, y nosotros somos sus máquinas de supervivencia" (p. 21). "Salta de cuerpo en cuerpo a través de las generaciones, manipulando cuerpo tras cuerpo a su manera y para sus propios fines, abandonando una sucesión de cuerpos mortales antes de que se hundan en la senilidad y la muerte" (p. 36) (las cursivas son mías). La forma de razonamiento que lleva a Dawkins, o, más bien, a los teóricos de la evolución de los que Dawkins es un informador entusiasta, a esta visión del gen y el organismo se ejemplifica en la discusión sobre el hacinamiento y la fertilidad."

Como señala Lewontin, se observa que en algunos animales el hacinamiento reduce la tasa de natalidad. Se observa que en algunos animales el hacinamiento reduce la tasa de natalidad. Dada esta observación, Dawkins luego pregunta "¿Por qué la selección natural favorece a las hembras que reducen su tasa de natalidad cuando la población está superpoblada?" Luego contrasta un argumento de selección de población, desfavorablemente, con una teoría del "gen egoísta". Pero ambos argumentos asumen sin pruebas que las hembras reducen su tasa de natalidad por una razón adaptativa, en lugar de considerar la menor fertilidad como un concomitante mecánico²⁸³ de la función endocrina alterada que resulta de la excitación. También suponen que en algún momento del pasado evolutivo los antepasados de estos animales no respondieron al hacinamiento por una menor fertilidad y que la variación genética del tipo adecuado surgió convenientemente para permitir que algunos animales lo hicieran. Finalmente, inventan una historia plausible para explicar por qué la disminución de la fertilidad es "algo bueno". Con un poco de ingenio, por supuesto, siempre se pueden inventar tales historias, pero no está claro si se trata de ciencia o de ingenio de alto nivel. La comprensión de

²⁸³ Un mecanismo que actúa en conjunto con otro factor, en este caso, de la función endocrina, *i.e.*, la función del sistema de glándulas de secreción interna (es interno por cuanto sus productos segregados directamente a la sangre del organismo), que segregan hormonas.

que, después de todo, él está involucrado en un juego, llega brevemente a la conciencia de Dawkins en su discusión de la historia de altruismo recíproco de R. L. Trivers. Así, indica Lewontin en el lugar citado que Dawkins en la página 202 de la obra citada señala que "La especulación fascinante que engendra la idea del altruismo recíproco no tiene fin cuando la aplicamos a nuestra propia especie. Por muy tentadora que sea, no soy mejor en esa especulación que cualquier otro hombre, y dejo que el lector se entretenga."

Como señala (Lewontin R. C., *Caricature of Darwinism*, 1977, págs. 283-284), Dawkins no se contenta con que sus lectores se diviertan con los ingeniosos juegos ya producidos por Hamilton, Trivers y Zahavi, sino que presenta, en su último capítulo, su propia variante patentada. Permitiendo que los detalles de la cultura humana probablemente no estén codificados en nuestros genes (después de todo, parece que no somos tales robots), Dawkins sugiere que las ideas mismas son unidades de reproducción y selección natural.

Afirma, por ejemplo, que "La idea del fuego del infierno se perpetúa a sí misma, simplemente, debido a su propio impacto psicológico profundo" (p. 212), aunque Dawkins no dice cómo su "impacto psicológico profundo" proporciona un mecanismo para su autoperpetuación. Se encoge de hombros sin analizar la hipótesis mucho más plausible y claramente causal de que el fuego del infierno no se perpetúa a sí mismo, sino que algunas personas lo perpetúan porque les da poder sobre otras personas. De hecho, tanto la sugerencia de Dawkins de que las ideas están replicando unidades seleccionadas como la noción de algunos sociólogos (y de los sociobiólogos, indudablemente) de que los detalles de la actividad social humana están codificados en nuestros genes y seleccionados para el máximo potencial reproductivo, surgen de la misma visión falaz de la sociedad humana es, a su vez, un reflejo de su confusión²⁸⁴ entre materialismo y reduccionismo. Si bien es cierto que los seres humanos son objetos materiales cuyo

²⁸⁴ Lewontin se refiere aquí a la confusión de Dawkins et al.

cerebro es el resultado de un proceso de desarrollo bajo la influencia de los genes, no es cierto que sus mentes puedan entenderse cuando entendemos sus genes. De la misma manera, aunque la sociedad humana es el producto de la actividad sensorial de los individuos materiales, la sociedad humana no es simplemente el conjunto de todos los individuos. Según Richard Dawkins, "Si criaturas superiores del espacio alguna vez visitan la Tierra, la primera pregunta que harán para evaluar el nivel de nuestra civilización es '¿Ya descubrieron la evolución?'". Señala Lewontin "Creo que es más probable que quieran saber si conocemos la diferencia entre las propiedades de los conjuntos y las propiedades de sus miembros."

Tras esta reseña de *El gen egoísta* de Dawkins realizada por Lewontin, no se hizo esperar una réplica por parte de los partidarios de la sociobiología. Destaca quizás como la menos irrelevante la realizada por W. D. Hamilton, que bastante densa en insultos a Lewontin, aunque no se puede decir lo mismo de su argumentación científica para rebatir los argumentos esgrimidos por el biólogo marxista.

Como señala (Lewontin R. C., 'The Selfish Gene', 1977, pág. 202), no fue una gran sorpresa que W. D. Hamilton haya escrito una carta tan destemplada sobre su reseña de *El gen egoísta*. Señala Lewontin que, a pesar de la considerable contribución concreta a la teoría de la selección de parentesco realizada por Hamilton, el propio Hamilton cedió al atractivo de la especulación no-científica sobre las bases biológicas de la historia humana, y es responsable de su parte justa del darwinismo vulgar. Lewontin señala tres puntos de contra-respuesta que aparecían frecuentemente en las contra-respuestas de la época a críticas como la realizada por Lewontin sobre lo planteado por Dawkins.

El primero punto es que, a pesar de una serie de comentarios peyorativos sobre la objetividad y la calidad del análisis de Lewontin, no se ofrece ni un solo ejemplo de que el análisis de Lewontin sea erróneo. Cualquier persona sospecharía de la afirmación de Hamilton que "Sería fácil defender el libro y responder a la reseña

punto por punto” cuando precisamente Hamilton no ofrece en su réplica una sola palabra de defensa, sino solo 350 palabras de airada invectiva.

El segundo punto es que, tal como señala Lewontin en el lugar citado, que “(...) con gran modestia, el Dr. Hamilton se compara a sí mismo y a su colega sociobiólogo con Darwin, y al Dr. Dawkins con Huxley. ¡Otros deterministas biológicos recientemente, en sus apologías a la sociobiología, se compararon con Galileo! Todos los que tienen una teoría favorita²⁸⁵ se creen Darwin o Galileo, en los momentos en que se critican sus errores. Pero mi crítica a Dawkins no proviene de un establecimiento eclesiástico indignado, sino de una sólida acumulación de la ciencia de la genética de poblaciones. El verdadero problema en el progreso científico es distinguir a aquellos con una nueva visión revolucionaria de la naturaleza de los chiflados con delirios de grandeza. La autopublicidad es evidencia pobre.”

En tercer lugar, señala Lewontin, el mismo Hamilton confiesa que se siente poco consciente de las cuestiones epistemológicas básicas que están en juego. Más bien siente una gran calidez por el “espíritu” del libro de Dawkins y la “ciencia” que describe. Pero es precisamente la sustitución de “espíritu” por los elementos del pensamiento lógico lo que hace que *El gen egoísta* sea una vulgarización tan inútil. Lo que se revela en la carta de Hamilton es que los errores de Dawkins no son simplemente los de un divulgador demasiado entusiasta, pero ingenuo. Son un fiel reflejo de la calidad de pensamiento de los propios sociobiólogos cuyas ideas populariza de forma extrema Dawkins.

Finalmente, señalará Lewontin en el lugar citado que “Seguramente no entenderemos la naturaleza del mundo por un exceso de espíritu y una deficiencia

²⁸⁵ Lewontin hace aquí referencia a “pet theory”, que debe entenderse como una teoría favorita de alguien en el sentido de que particularmente la apoya o le gusta. Un ejemplo del uso de este concepto, muy a la medida de lo hecho por Hamilton sería “No se quedaría de brazos cruzados y dejaría que su teoría favorita fuera asesinada”. Por supuesto, no hay nada de malo en tener una teoría predilecta, el problema reside en que esta predilección esté basada meramente en gustos y preferencias subjetivos y no en la evidencia científica acumulada históricamente.

de pensamiento duro. Dr. Hamilton, el obispo Wilberforce²⁸⁶ ha estado orgulloso de usted.”

Como es natural, las cuestiones gnoseológicas tienen implicaciones metodológicas. Para el caso del caso estudiado, como se señala en (Bar-Yam, 2000, págs. 277-281), la gnoseología relativa al papel de los genes para explicar la evolución de las especies tiene implicaciones metodológicas relativas a la capacidad de formalización de una biología evolutiva centrada en los genes.

El autor del último documento citado buscaba con su investigación verificar formalmente la validez (o no) de la visión de autores como Dawkins. Así, el autor referido señala que una disputa histórica en los fundamentos conceptuales de la evolución es la validez de la visión de la evolución centrada en los genes (Dawkins, 1989; Sober y Lewontin, 1982)²⁸⁷. El autor citado considera ingenuamente que trasciende el debate referido al formalizar la visión centrada en el gen como una versión dinámica de la aproximación del campo medio²⁸⁸. Así, el autor establece

²⁸⁶ Obispo recordado por su férrea oposición a la teoría de la evolución de Darwin.

²⁸⁷ Es relevante mencionar que Sober es filósofo y científico formalista que tuvo una disputa con relación a si las ciencias eran formales o concretas con, ni más ni menos, el biólogo evolutivo marxista Richard Levins, quien fundó la teoría de las metapoblaciones en su investigación *Evolution in Changing Environments (Evolución en Ambientes Cambiantes)* con base en su lectura de los *Grundrisse* de Marx, según sus propias palabras. El punto de esta mención es mostrar que incluso biólogos y filósofos de la biología no-marxistas se oponen a la visión de centrar en los genes el análisis de la biología evolutiva. No se trata tanto de ideología como de sentido común.

²⁸⁸ En Física y Estadística, la teoría de campo medio (MFT, por su nombre en inglés) o teoría del campo autoconsistente es aquella teoría que estudia el comportamiento de los modelos aleatorios (entendida dicha aleatoriedad como se establece en la sección III.II.II de esta investigación) de alta dimensionalidad (que consideran un gran número de variables) al estudiar un modelo más simple que se aproxima al modelo original promediando sobre grados de libertad (el número de valores en el cálculo final de un estadístico de prueba que pueden variar libremente y que, por consiguiente, cuya variación genera diferentes resultados, considerando entonces el promedio de tales resultados). Así, los modelos de tipo MFT consideran muchos componentes individuales que interactúan entre sí y asumen que el efecto de todos los otros individuos en un individuo dado se approxima a un solo efecto promedio, reduciendo así un problema de muchos cuerpos a un problema de un cuerpo. Promediar sobre los grados de libertad implica reemplazar todas las interacciones a cualquier cuerpo con una interacción promedio o efectiva, a veces llamada campo molecular. Esto reduce cualquier problema de muchos cuerpos en un problema efectivo de un cuerpo. La facilidad de resolver problemas de MFT implica que se puede obtener alguna información sobre el comportamiento del sistema a un costo computacional más bajo. La teoría del campo medio ha sido uno de los principales enfoques utilizados tradicionalmente en el estudio de

las condiciones en las que es aplicable y en las que no lo es. Como no debería ser sorprendente, la aplicabilidad del estudio de la evolución centrada en los genes deja de ser viable por la divergencia de rasgos que corresponde a la ruptura de la simetría en las poblaciones en evolución.

Lo anterior se evidencia en dos escenarios. El primero es que la aptitud efectiva de cada alelo²⁸⁹ depende de la distribución de alelos en la población. Así, la aptitud de un alelo está acoplada a la evolución de otros alelos. Este problema con la asignación de aptitud no estaría presente si cada alelo codificara por separado para un rasgo del organismo²⁹⁰.

las transiciones de fase de los sistemas físicos. Se remonta a principios del siglo XX, cuando fue aplicada por primera vez por Pierre Weiss y otros al análisis del fenómeno del ferromagnetismo. La teoría del campo medio generalmente se aplica al análisis de sistemas complejos donde la interacción entre una gran cantidad de “partículas” individuales se da a lo largo de muchas dimensiones (variables explicativas). En estas condiciones, la idea intuitiva subyacente al enfoque puede explicarse de la siguiente manera: si la naturaleza de la interacción es rica (es decir, altamente dimensional), debería ser posible capturar el comportamiento general del sistema a través de un modelo estilizado de la situación en el que la multitud de efectos que inciden en cada entidad individual se reemplaza por un campo medio adecuado. En este enfoque de campo medio, la descripción promedio del sistema se adapta a un agregado adecuado (o promedio) del gran número de efectos individuales ejercidos por la población en general. Por lo tanto, la naturaleza autorreferencial de esta lógica metodológica es evidente: el estado promedio del sistema es a la vez una variable explicativa y la variable misma a explicar. Esto sugiere que, en muchos casos, la teoría del campo medio debe buscar una solución autoconsistente. Es por eso que a menudo también se denomina como teoría de campo autoconsistente.

²⁸⁹ Como señala (Orr, 2009, pág. 531), en términos generales, la aptitud implica la capacidad de los organismos (o, más raramente, de las poblaciones o especies) para sobrevivir y reproducirse en el entorno en el que se encuentran. Lo mismo aplica para los alelos. Como se señala en (University of Washington, 2022), la aptitud de un alelo depende de los genotipos en los que se encuentre. Por ejemplo, lo siguiente muestra un caso en el que los homocigotos y heterocigotos dominantes son los más aptos, y los homocigotos recesivos son mucho menos aptos, como se ve en muchas enfermedades genéticas recesivas:

genotype AA Aa aa

fitness 1.0 1.0 0.2

La selección representa diferencias sistemáticas en la posibilidad de que los individuos aporten genes a generaciones posteriores. Puede representar diferencias en la supervivencia o en la reproducción.

²⁹⁰ Algo similar a la necesidad de estudiar el comportamiento de las partículas como ondas que surge en la física cuántica.

Esta es una violación parcial de la visión conceptual más simple²⁹¹ de la evolución; sin embargo, señala el autor referido, la aplicabilidad de una visión centrada en los genes aún puede justificarse, siempre que se incluya la asignación contextual de aptitud. Cuando la aptitud del fenotipo del organismo depende de la frecuencia relativa de los fenotipos en una población de organismos, se conoce como selección dependiente de la frecuencia, que es un concepto que se está aplicando a los genes en este contexto²⁹². Una ruptura más seria de la aproximación del campo medio surge de lo que se conoce en Física como *ruptura de simetría*. Esto corresponde con la evolución hacia la divergencia de rasgos de las subpoblaciones, que surge cuando existen correlaciones en la reproducción²⁹³, de modo que la reproducción no fuerza la mezcla completa de alelos.

En conclusión, manifiesta el autor en la investigación citada, la visión centrada en el gen se puede aplicar directamente en poblaciones donde la reproducción sexual provoca una mezcla alélica completa, y solo en la medida en que se entienda que las aptitudes efectivas son relativas al acervo genético prevaleciente²⁹⁴. Sin embargo, es poco probable que las poblaciones estructuradas (es decir, las especies

²⁹¹ Reducccionista, en mi opinión.

²⁹² Por supuesto, aquí resulta evidente que el estudio de la biología evolutiva centrado en los genes ya no estaría tan centrado en los genes como se presuponía.

²⁹³ Aquí el autor citado está haciendo referencia a relaciones lineales vinculantes entre rasgos heredables. Una correlación genética se define como la proporción de la heredabilidad que se comparte entre dos rasgos dividida por la raíz cuadrada del producto de la heredabilidad de cada rasgo. Se cuantifica así porque la correlación genética es la proporción de varianza que comparten dos rasgos debido a causas genéticas, la correlación entre las influencias genéticas en un rasgo y las influencias genéticas en un rasgo diferente estimando el grado de pleiotropía o superposición causal (que un gen influye en dos o más rasgos fenotípicos aparentemente no relacionados). Las correlaciones en la reproducción no tienen que estar necesariamente relacionadas con los rasgos y pueden tener un alcance más general, sin embargo, en la literatura científica relacionada usualmente las correlaciones en la reproducción hacen referencia a las correlaciones entre rasgos. Por ejemplo, pueden deberse a la separación espacial de los organismos que provocan correlaciones en la reproducción entre organismos cercanos. Los modelos de organismos distribuidos espacialmente a veces se denominan modelos de entornos espacialmente estructurados. Sin embargo, esta terminología sugiere que el entorno en sí varía espacialmente y es importante enfatizar que la ruptura de simetría/divergencia de rasgos puede ocurrir en ambientes que son uniformes (de ahí la terminología “ruptura de simetría”).

²⁹⁴ Es decir, a la trayectoria histórica que han tenido los genes para ese entonces.

con vecindarios locales demes de apareamiento²⁹⁵) se ajusten a la aproximación de campo medio (estudio de la biología centrada en genes). Además, este enfoque no es aplicable para considerar las consecuencias de la divergencia de rasgos, que pueden ocurrir cuando se suscitan las correlaciones antes descritas en el apareamiento de organismos. Como señala el propio autor, estos contextos de no-aplicabilidad de la visión de la biología centrada en los genes son importantes, ni más ni menos, para comprender los problemas que se encuentran tradicionalmente tanto en la biología de poblaciones como en la teoría de la evolución, por ejemplo, los relativos a la comprensión de la diversidad ecológica y la especiación simpátrica²⁹⁶. Así, Yaneer Bar-Yam, presidente del Instituto de Sistemas Complejos de Nueva Inglaterra y experto en la aplicación del análisis matemático a sistemas complejos, sostiene que la teoría del gen egoísta de la evolución es fatalmente defectuosa desde la perspectiva formal.

Así, queda demostrado que la denominación de “egoísta” para con el ADN repetitivo no es adecuada. Por consiguiente, resta nada más exponer al lector que una concepción dialéctica de los genes repetitivos, *i.e.*, concibiéndolos como contrarios²⁹⁷ con relación a los genes tradicionales (no-repetitivos) es más adecuada debido a su impacto en la evolución genética y biológica.

²⁹⁵ En biología, especialmente en ecología, el término *demes* puede hacer referencia a un grupo local de individuos (del mismo taxón) que se cruzan entre sí y comparten un acervo genético. En tal sentido es empleado aquí.

²⁹⁶ En ecología el término “diversidad” denota un parámetro de los ecosistemas (aunque se considera una propiedad emergente de la comunidad) que describe su variedad interna. El concepto resulta de una aplicación específica de la noción física de información y es un índice habitualmente empleado para medir la complejidad de un sistema biológico. Por otro lado, la especiación simpátrica es la producción de poblaciones reproductivamente aisladas. Es la formación de una especie sin que se establezca previamente una barrera geográfica entre poblaciones, a diferencia de lo que ocurre en la especiación alopátrica, considerada más comúnmente como “normal”. Si este tipo de especiación es o no posible es un tema controvertido, aunque hay algunas pruebas empíricas y algunos modelos que parecen corroborar su realidad.

²⁹⁷ Como señalan (Rosental & Iudin, 1971, págs. 311-313), la ley de la unidad y lucha de contrarios es una de las leyes fundamentales de la dialéctica (sea esta materialista o idealista), la cual pone al descubierto la fuente del automovimiento y desarrollo de los objetos y fenómenos. En cuanto expresa la esencia, el núcleo de la dialéctica, esta ley ocupa el lugar central en el sistema de sus leyes. Su contenido reside en lo siguiente: tanto el mundo objetivo que nos rodea como el reflejo de

este mundo objetivo en la conciencia se encuentra en movimiento y desarrollo incesantes. Las cosas y fenómenos nacen, se desarrollan y se transforman los unos en los otros. Base de este desarrollo la constituye la contradicción dialéctica, es decir, el desdoblamiento de lo único (cosas, fenómenos) en contrarios que se excluyen y se suponen recíprocamente. Sea cual fuere el objeto que tomemos le son inherentes aspectos y tendencias contrapuestos (lo nuevo y lo viejo, estabilidad e inestabilidad, etc.). Estos aspectos contrapuestos se hallan en unidad: cada uno de los aspectos de la contradicción dialéctica no puede existir sin el otro, supone al otro, los contrarios se penetran recíprocamente. En otras palabras, los contrarios coexisten en un sistema determinado y forman una unidad dentro de ese sistema. Esta interrelación entre los contrarios (su unidad o su identidad) caracterizan a uno u otro objeto como un cierto todo, como una estructura relativamente estable. A la vez, esta unidad de tendencias contrapuestas es una unidad de aspectos que luchan entre sí, que se repelen recíprocamente. La lucha de contrarios constituye un cierto tipo de relación entre los aspectos de la contradicción dialéctica en que los contrarios por una parte se interpenetran y por la otra se excluyen recíprocamente. La lucha de los contrarios es la fuente interna del movimiento y desarrollo dialécticos. Quiere decir que no se encuentra fuera de los objetos y fenómenos la fuente de los cambios, como piensan los metafísicos, sino que se halla contenido en los mismos, es inseparable de su esencia (aquí el sentido de "metafísicos" es diferente al de "metafísica" en cuanto a ontología, a las leyes del Ser; son "metafísicos" aquellos filósofos que buscan parcial o totalmente las fuentes del cambio de las cosas, fenómenos y/o procesos más allá del mundo material y objetivo). La propia contradicción dialéctica, la interrelación entre aspectos contrapuestos, no permanece inmutable. Al igual que las cosas mismas, las contradicciones contenidas en ellas aparecen, se desarrollan y desaparecen (se resuelven). La contradicción pasa por tres etapas: 1) la unidad inmediata de las tendencias contrapuestas en el seno de uno u otro objeto; 2) la diferencia, cuando los aspectos de la contradicción se separan, adquieren cierta independencia; 3) la polarización de cada uno de los aspectos, cuando ambos se oponen recíprocamente y se afirman en definitiva como contrarios, y 4) la agudización extrema de las tendencias contrapuestas, de la lucha entre las mismas y solución de la contradicción. La unidad establece el peldaño inicial del despliegue de la contradicción y la lucha de los contrarios exhibe la etapa superior en su desarrollo, su forma más evolucionada y a la vez su esencia. La metafísica (en el sentido antes explicado) se queda en las formas más iniciales de la contradicción. La dialéctica la pone de manifiesto en la totalidad de sus formas, subrayando en especial la importancia de la lucha entre los contrarios. "La unidad (coincidencia, identidad, igualdad de acción) de los contrarios es condicional, temporaria, transitoria, relativa. La lucha de contrarios mutuamente excluyente es absoluta, como son absolutos el desarrollo y el movimiento" (Lenin, citado por Rosental y Iudin en el lugar referido). El desarrollo de la contradicción dialéctica es no sólo el proceso de su ahondamiento, de su agudización, es también el proceso de la solución de la contradicción. En esta etapa los contrarios se transforman el uno en el otro, uno de los aspectos contrapuestos vence al otro (por ejemplo, lo nuevo pasa a ocupar el sitio de lo viejo). La solución de la contradicción desarrollada conduce al cambio cualitativo del mismo objeto y a la aparición de una nueva contradicción. La ley de la unidad y lucha de contrarios es una ley universal: actúa tanto en la naturaleza inorgánica como en el mundo orgánico, tanto en la sociedad como en el pensamiento. Así, la física moderna considera toda partícula elemental como la unidad de sus propiedades corpusculares y ondulatorias [dualidad onda-partícula, la cual ha sido estudiada en (Nabi, I.XIII. Principio Monista de Complementariedad (o modo monista complementario de descripción) (BORRADOR), 2022, pp. 5-15)]; la biología pone al descubierto la unidad contradictoria de los procesos de asimilación y desasimilación, inherentes a los organismos vivos. Esta ley se manifiesta asimismo en la sociedad, en la que existen contradicciones tales como los antagonismos entre las clases, etc. El desarrollo del conocimiento humano se subordina también a esta ley. La ciencia constituye de suyo, al decir de Engels (citado por Rosental y Iudin en el lugar referido), un "drama de ideas", pues constantemente surgen en ella concepciones teóricas contradictorias y contrapuestas (por ejemplo, las teorías corpuscular y ondulatoria de la luz en física son un ejemplo de ello). La forma de actuar, de

III.IV. III. Sobre los Genes Negativos

Como señala (Werren, 2011, pág. 10863), cada vez existen más pruebas de que los GEA y el conflicto genético resultante de ellos son un motor importante para el cambio evolutivo y la innovación. En la investigación citada, se describen los tipos de GEA y sus consecuencias evolutivas, incluida la forma en que estos elementos dan forma a las características biológicas básicas, como la estructura del genoma y la regulación de genes, la evolución de nuevos genes, el origen de nuevas especies y los mecanismos de determinación del sexo y desarrollo. También se consideran las dinámicas de los GEA, incluidas las posibles “funciones evolutivas” de los GEA. Puesto que, como señalan (Latorre & Silva, 2001-2002), “Tradicionalmente se clasifica este ADN como: altamente repetitivo, con secuencias como los microsatélites y los minisatélites; y moderadamente repetitivo, donde se encuadran los elementos transponibles, las secuencias que constituyen el ejemplo más claro de ADN egoísta”, se estudiarán los elementos transponibles (TE, por su nombre en inglés)²⁹⁸.

Como señalan (Opijken & Levin, 2020, pág. 337), el objetivo de la genómica y la biología de sistemas es comprender cómo los sistemas complejos de factores se ensamblan en vías y estructuras que se combinan para formar organismos vivos. Los grandes avances en la comprensión de los procesos biológicos resultan de la determinación de la función de los genes individuales, un proceso que se ha basado clásicamente en la caracterización de mutaciones individuales. Los avances en la secuenciación del ADN han puesto a disposición el conjunto completo de instrucciones genéticas para un número asombroso y creciente de especies. Para comprender la función de este número cada vez mayor de genes, se desarrolló un método de alto rendimiento que en un solo experimento puede medir la función de

manifestarse esta ley de la dialéctica es específica, peculiar en cada una de las esferas de la existencia en general. La ley de la unidad y lucha de los contrarios tiene inmensa importancia para comprender y transformar prácticamente la realidad; permite penetrar en la esencia de los fenómenos, por ejemplo, para encontrar vías para solucionar las contradicciones en la vida social de los seres humanos.

²⁹⁸ Por supuesto, esto no agota ni mucho menos el estudio de los genes negativos.

los genes en todo el genoma de un organismo. Esto ocurrió hace aproximadamente 10 años (esta investigación se publicó en 2020), cuando la secuenciación de ADN de alto rendimiento se combinó con avances en la mutagénesis mediada por transposones en un método denominado secuenciación por inserción de transposones (TIS, por su nombre en inglés). En los años siguientes, TIS logró abordar cuestiones fundamentales relacionadas con los genes de las bacterias, muchos de los cuales han demostrado desempeñar un papel central en las infecciones bacterianas que provocan importantes enfermedades humanas (y, con ello, los transposones tienen una influencia mediata en la inmunología humana). respuesta). El campo de TIS ha madurado y ha dado como resultado estudios de cientos de especies que incluyen innovaciones significativas con varios transposones.

Como señalan (Bourque, y otros, 2018, pág. 1), los TE son secuencias de ADN que tienen la capacidad de cambiar su posición dentro de un genoma. Esta variedad de genes negativos son componentes principales de los genomas eucariotas²⁹⁹. Sin embargo, el alcance de su impacto en la evolución, la función y la enfermedad del genoma sigue siendo un tema de intenso interrogatorio. El auge de la genómica y los ensayos funcionales a gran escala ha arrojado nueva luz sobre las actividades multifacéticas de los TE e implica que ya no deberían ser marginados. Los TE poseen propiedades fundamentales y complejas interacciones con su entorno celular, que son cruciales para comprender su impacto y múltiples consecuencias para la biología del organismo. Si bien en la investigación citada se presentan principalmente ejemplos de sistemas genéticos sobre mamíferos, los conceptos básicos en ella descritos son relevantes para una amplia gama de organismos.

²⁹⁹ Por supuesto, aquí los autores no hacen referencia al método de aprendizaje automático conocido como *Análisis de Componentes Principales* (PCA, por su nombre en inglés). Sin embargo, a pesar de ser un método descriptivo (de carácter exploratorio) no sólo es interesante la posibilidad de emplear esta técnica estadística para evaluar preliminarmente el peso de esta variedad de genes negativos en el genoma, sino que investigaciones en tal dirección ya han sido emprendidas. Véase, por ejemplo, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4754896/>.

La primera propiedad fundamental de los TE es que poseen diferentes formas y determinación³⁰⁰. Así, Los TE se pueden dividir en dos clases principales según su mecanismo de transposición, y cada clase se puede subdividir en subclases según el mecanismo de integración cromosómica. Los TE de clase I, también conocidos como retrotransposones, se movilizan a través de un mecanismo de "copiar y pegar" mediante el cual un intermediario de ARN se transcribe inversamente en una copia de ADNc³⁰¹ que se integra en otra parte del genoma. Los elementos de clase II, también conocidos como transposones de ADN, se movilizan a través de un intermediario de ADN, ya sea directamente a través de un mecanismo de 'cortar y pegar' o, en el caso de Helitrones³⁰², un mecanismo replicativo de 'pelar y pegar' que involucra un mecanismo circular intermedio de ADN³⁰³ (Bourque, y

³⁰⁰ Los autores (p. 1) hablan de "form" y "shape". Estas palabras suelen emplearse en el idioma inglés como sinónimos, tal como lo serían, por ejemplo, "forma" y "silueta" en el idioma español. Sin embargo, debido a que en la (p. 2) los autores señalan que "El éxito y la diversidad de los TE en un genoma están *determinados (shaped)* tanto por las propiedades intrínsecas de los elementos como por las fuerzas evolutivas que actúan a nivel de la especie huésped", se ha traducido "shape" como "determinación" y "shapes" como "determinaciones". El paréntesis, así como las cursivas en la cita antes hecha, ha sido agregado por mí.

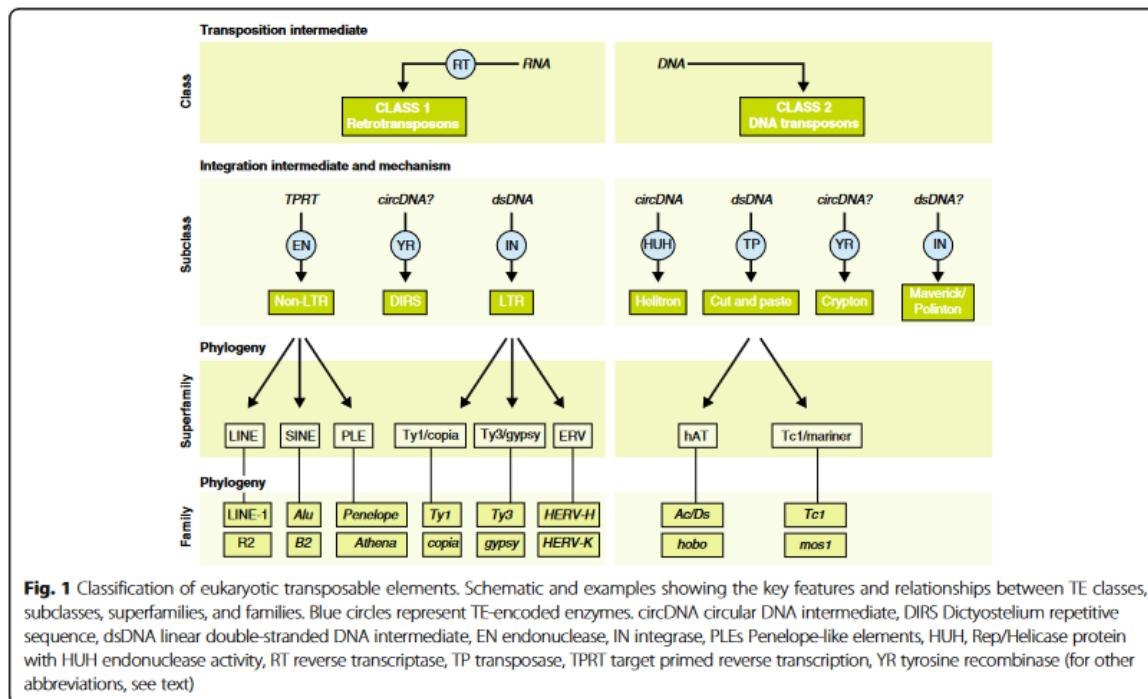
³⁰¹ El ADNc, conocido también por su nombre en inglés como cADN, es ADN sintetizado a partir de una plantilla de ARN monocatenario (p. ej., ARN mensajero -ARNm- o microARN -miARN-) en una reacción catalizada por la enzima transcriptasa inversa (una enzima utilizada para generar ADN complementario -ADNc- a partir de una plantilla de ARN, un proceso denominado transcripción inversa realizado por las transcriptasas inversas. Una transcriptasa inversa (RT, por su nombre en inglés) es una enzima que se utiliza para generar ADN complementario (ADNc) a partir de una plantilla de ARN, un proceso denominado transcripción inversa. Las transcriptasas inversas son utilizadas por virus como el VIH y la hepatitis B para replicar sus genomas, por elementos genéticos móviles retrotransposones para proliferar dentro del genoma del huésped, y por células eucariotas para extender los telómeros en los extremos de sus cromosomas lineales). Evidentemente, como deriva de lo planteado en la sección III.III.III, es discutible (al menos en general) si los cromosomas son verdaderamente lineales, si no lo son, o si únicamente ciertos cromosomas son lineales y otros no.

³⁰² Son uno de los tres grupos de TE eucarióticos de clase 2 descritos hasta ahora.

³⁰³ Esto se conoció hasta 2014, como señalan (Thomas & Pritham, 2015, pág. 3). Además, el mecanismo de 'pelear y pegar' referido pudo ser modelado hasta 2015-2016, como se desprende de (Grabundzija, y otros, 2016, págs. 1, 9). De forma más concreta, con base en (Grabundzija, y otros, 2016, pág. 1), este mecanismo de transposición de Helraiser (un transposón Helitrón construido a partir de un antiguo elemento genómico de los murciélagos) genera intermediarios circulares cerrados covalentemente (mediante enlaces covalentes, vistos en la sección III.I.VII de esta investigación), lo que sugiere un mecanismo de transposición replicativa, que proporciona un medio poderoso para difundir las señales reguladoras de la transcripción capturadas en todo el genoma.

otros, 2018, pág. 1). Un resumen de estas formas y determinaciones se presenta en la siguiente figura.

Figura 57



Fuente: (Bourque, y otros, 2018, pág. 2).

La segunda propiedad fundamental de los transposones es que no se encuentran distribuidos aleatoriamente (Bourque, y otros, 2018, pág. 2). El genoma puede verse como un ecosistema habitado por diversas comunidades de TE, que buscan propagarse y multiplicarse a través de interacciones sofisticadas entre sí y con otros componentes de la célula. Estas interacciones abarcan procesos familiares para los ecólogos, como el parasitismo, la cooperación y la competencia. Por lo tanto, quizás no sea sorprendente que los TE rara vez, si es que alguna vez lo hacen, se distribuyan aleatoriamente en el genoma³⁰⁴. Los TE exhiben varios

³⁰⁴ En aras de la consistencia gnoseológica de esta investigación, ¿cómo debe interpretarse de que los TE no se distribuyan aleatoriamente, dado el concepto establecido de probabilidad? Significa que su teleología (su causa final o causa práctica) y su mecanismo están tan claros que difícilmente es requerido un abordaje del tipo probabilístico. Por supuesto, un modelo completo de los

niveles de preferencia para la inserción dentro de ciertas características o compartimentos del genoma.

La tercera propiedad fundamental de los transposones es que son una fuente extensa de mutaciones y polimorfismos genéticos (Bourque, y otros, 2018, pág. 3). Los TE ocupan una parte sustancial del genoma de una especie, incluida una gran fracción del ADN exclusivo de esa especie. En el maíz, donde Barbara McClintock realizó su trabajo seminal, un asombroso 60-70% del genoma está compuesto por retrotransposones del tipo conocido como LTR³⁰⁵, muchos de los cuales son exclusivos de esta especie o sus parientes silvestres cercanos, pero los transposones de ADN menos prevalentes son actualmente los más activos y mutagénicos.

La tercera propiedad fundamental de los transposones es que están asociados con reordenamientos del genoma y características cromosómicas únicas (Bourque, y otros, 2018, pág. 4). La transposición representa un potente mecanismo de expansión del genoma que, con el tiempo, se contrarresta con la eliminación del ADN por delección³⁰⁶. El equilibrio entre los dos procesos es un factor importante en la evolución del tamaño del genoma en eucariotas. Varios estudios han demostrado el impacto y el alcance de esta mezcla y ciclos de contenido genómico en la evolución de los genomas de plantas y animales. Debido a que la inserción y eliminación de los TE suele ser imprecisa, estos procesos pueden afectar

transposones podría implicar el hecho de incluir explícitamente en dicho modelo, por ejemplo, lo relativo a la configuración electrónica. Esto involucraría, inexorablemente, la función de onda de Schrödinger (que puede concebirse como la distribución de probabilidad de, por ejemplo, los electrones alrededor del núcleo) y, por consiguiente, la necesidad de emplear métodos estadísticos.

³⁰⁵ Los retrotransposones LTR son elementos transponibles de clase I caracterizados por la presencia de repeticiones terminales largas (LTR, por su nombre en inglés) que flanquean directamente una región de codificación interna. Como retrotransposones, se movilizan mediante la transcripción inversa de su ARNm y la integración del ADNc recién creado en otra ubicación.

³⁰⁶ Como se señala (Ganguly, 2022), una delección, en relación con la genómica, es un tipo de mutación que implica la pérdida de uno o más nucleótidos de un segmento de ADN. Una delección puede implicar la pérdida de cualquier cantidad de nucleótidos, desde un solo nucleótido hasta una parte completa de un cromosoma. Las mutaciones por delección son en realidad la causa de una gran cantidad de enfermedades genéticas, como dos tercios de los casos de fibrosis quística y el síndrome del llanto de gato, llamado así porque los niños con este síndrome a menudo tienen un llanto que suena similar al maullido de un gato.

indirectamente a las secuencias del huésped circundante. Algunos de estos eventos ocurren con una frecuencia lo suficientemente alta como para dar como resultado grandes cantidades de duplicación y reorganización de las secuencias del huésped, incluidos los genes y las secuencias reguladoras. Por ejemplo, un solo grupo de transposones de ADN (MULE³⁰⁷) ha sido responsable de la captura y reorganización de ~ 1000 fragmentos de genes en el genoma del arroz. Dichos estudios han llevado a la conclusión de que la velocidad a la que se transponen los TE, que en parte está bajo el control del huésped, es un importante impulsor de la evolución del genoma. Además de los reordenamientos inducidos como subproducto de la transposición, los TE pueden promover la variación estructural genómica mucho después de haber perdido la capacidad de movilización. En particular, los eventos de recombinación pueden ocurrir entre las regiones altamente homólogas dispersas por TE relacionados en posiciones genómicas distantes y dar como resultado delecciones, duplicaciones e inversiones a gran escala.

La cuarta propiedad fundamental de los transposones es que existe un equilibrio intrínseco entre la expresión de TE y la represión³⁰⁸ (Bourque, y otros, 2018, pág. 4). Para persistir en la evolución, los TE deben lograr un delicado equilibrio entre la

³⁰⁷ Como señala (Lisch, 2022, pág. 498), Mutador (*Mu*) es el transposón vegetal más activo y mutagénico descubierto hasta la fecha. La inserción del elemento *Mu* se ha convertido en la principal forma de mutar y clonar genes de maíz, pero apenas alrededor del año 2002 se empezaba a comprender cómo se regula este sistema de transposones. En líneas de maíz con elementos *Mu* activos, la frecuencia de transposición puede alcanzar el 100% (un promedio de un evento de transposición por elemento por generación, lo cual significa que por cada replicación -recuérdese que la replicación es el proceso biológico de producir dos réplicas idénticas de ADN a partir de una molécula de ADN original-). La transposición se produce preferentemente en secuencias con un número de copias bajo, lo que da como resultado una tasa de mutación 50 veces mayor que la que existiría de no involucrarse al transposón *Mu*. Debido a estas propiedades, *Mu* se utiliza para clonar, secuenciar y mutar la mayoría de los genes del maíz.

³⁰⁸ Como se señala en (ScienceDirect, 2022), la represión génica es la desactivación de genes individuales cuyos productos son necesarios para mantener la función de la célula, como la producción de enzimas o cofactores vitales. Esto es especialmente importante si los productos de tales genes no son de larga vida y se deterioran o se metabolizan. Complementariamente, se señala en el mismo lugar, la represión génica representa una poderosa herramienta en el control de la expresión génica para prevenir la desregulación metabólica durante el desarrollo o el programa de diferenciación, especialmente en eucariotas.

expresión y la represión. La expresión debe ser suficiente para promover la amplificación, pero no tan vigorosa como para conducir a una desventaja de aptitud física para el huésped que compensaría el beneficio para el TE de un mayor número de copias.

La quinta propiedad fundamental de los transposones es que son mutágenos de inserción tanto en la línea germinal como en el soma³⁰⁹. Al igual que otras especies, los humanos se enfrentan a un contingente de TE actualmente activos donde el equilibrio intrínseco entre expresión y represión todavía está en juego (Bourque, y otros, 2018, pág. 5).

La sexta propiedad fundamental de los transposones es que pueden ser dañinos en formas que no implican la transposición. Los TE son más conocidos por su movilidad, en otras palabras, su capacidad para trasladarse a nuevas ubicaciones. Si bien la ruptura e inserción de ADN asociada con la transposición representa una fuente obvia de daño celular, este no es el único mecanismo, ni quizás el más común, por el cual los TE pueden ser dañinos para su huésped. Los transposones reactivados dañan al huésped de múltiples maneras (Bourque, y otros, 2018, pág. 5).

La séptima propiedad fundamental de los transposones es que varios ARN codificantes y no-codificantes clave se derivan de los TE. Aunque suele ser perjudicial, cada vez hay más pruebas de que las inserciones de TE pueden proporcionar materia prima para la aparición de genes codificantes de proteínas y ARN no codificantes, que pueden asumir una función celular importante y, en

³⁰⁹ Como se señala en (Hurle, 2022), las células somáticas son las células del cuerpo distintas de los espermatozoides y los óvulos (que se denominan células germinales). En los humanos, las células somáticas son diploides, lo que significa que contienen dos juegos de cromosomas, uno heredado de cada parente. Las mutaciones de ADN en las células somáticas pueden afectar a un individuo, pero no pueden transmitirse a su descendencia. Por otro lado, se señala en (Hurtle, 2022), la línea germinal se refiere a las células sexuales (óvulos y espermatozoides) que los organismos que se reproducen sexualmente utilizan para transmitir sus genomas de una generación a la siguiente (de padres a hijos). Los óvulos y los espermatozoides se llaman células germinales, en contraste con las otras células del cuerpo, que se llaman células somáticas.

algunos casos, esencial. El proceso de “domesticación” o exaptación³¹⁰ del gen TE a lo largo del tiempo evolutivo contribuye tanto a funciones profundamente conservadas como a rasgos más recientes específicos de la especie. La mayoría de las veces, el papel ancestral o algo modificado de un gen codificado por TE es aprovechado por el huésped y conservado, mientras que el resto de la secuencia de TE y, por lo tanto, su capacidad para transponerse de forma autónoma, se ha perdido.

³¹⁰ Exaptación es un concepto acuñado por el biólogo evolutivo marxista Stephen Jay Gould y la bióloga evolutiva Elisabeth S. Vrba. En palabras de los autores, “La adaptación ha sido definida y reconocida por dos criterios diferentes: génesis histórica (características creadas por la selección natural para su función actual) y utilidad actual (características que ahora mejoran la aptitud sin importar cómo surgieron). Los biólogos a menudo han fallado en reconocer la posible confusión entre estas diferentes definiciones porque hemos tendido a ver la selección natural como tan dominante entre los mecanismos evolutivos que el proceso histórico y el producto actual se vuelven uno. Sin embargo, si muchas características de los organismos no están adaptadas, pero están disponibles para la cooptación útil en los descendientes, entonces un concepto importante no tiene nombre en nuestro léxico (y las ideas sin nombre generalmente permanecen sin considerar): características que ahora mejoran la aptitud pero que no fueron construidas por selección natural para su rol actual. Proponemos que tales características se llamen *exaptaciones* y que la adaptación se restrinja, como sugirió Darwin, a las características construidas por selección para su función actual. Presentamos varios ejemplos de exaptación, indicando dónde una falla en conceptualizar tal idea limitó el rango de hipótesis previamente disponibles. Exploramos varias consecuencias de la exaptación y proponemos una solución terminológica al problema de la preadaptación (...) Porque si dividimos la clase de características que contribuyen a la adecuación en adaptaciones y exaptaciones, y si las adaptaciones se construyeron (y las exaptaciones se cooptaron) para su uso actual, entonces las características que funcionan de una manera no pueden ser adaptaciones previas a un uso diferente y posterior: el término hace ningún sentido en absoluto. El reconocimiento de la exaptación resuelve claramente el dilema, porque lo que ahora llamamos incorrectamente “preadaptación” es simplemente una categoría de exaptación considerada antes del hecho. Si las plumas evolucionaron para la termorregulación, se convierten en exaptaciones para volar una vez que las aves despegan. Sin embargo, si, con la retrospectiva de la historia, elegimos mirar las plumas mientras aún encierran a los ancestros dinosaurios de las aves que corrían, entonces son solo exaptaciones potenciales para el vuelo, o preaptaciones (es decir, aptus -o ajustadas- antes de su cooptación real). El término “preadaptación” debería sustituirse por “preaptación”. Las preaptaciones son exaptaciones potenciales, pero no realizadas; resuelven el principal desafío de Mivart a Darwin.” (Gould & Vrba, 1982, págs. 4, 11). Como señala (McLennan, 2008, pág. 247), Darwin creía que la evolución generalmente ocurría a través de una serie de pequeños cambios graduales. Esta propuesta fue contraria a la intuición para muchas personas porque parecía probable que las formas “transicionales” no sobrevivirían. Darwin, y luego Cuénnot, reconocieron que este problema se solucionaba fácilmente si los caracteres que habían evolucionado por una razón cambiaban su función en un momento posterior con poca o ninguna modificación estructural concurrente, al menos inicialmente. En otras palabras, los rasgos que habían evolucionado bajo un conjunto de condiciones fueron *cooptados* para cumplir una función diferente bajo un segundo conjunto de condiciones. Esto significaba que los organismos llevaban consigo en las estructuras de sus genes, proteínas, caracteres morfológicos, fisiológicos y conductuales el potencial de un cambio evolutivo verdaderamente rápido.

Figura 58. Taxonomía del Ajuste de las Características Evolutivas de un Organismo

TABLE 1. A taxonomy of fitness.

Process	Character	Usage
Natural selection shapes the character for a current use—adaptation	adaptation	function
A character, previously shaped by natural selection for a particular function (an adaptation), is coopted for a new use—cooptation		
A character whose origin cannot be ascribed to the direct action of natural selection (a nonaptation), is coopted for a current use—cooptation	exaptation	effect

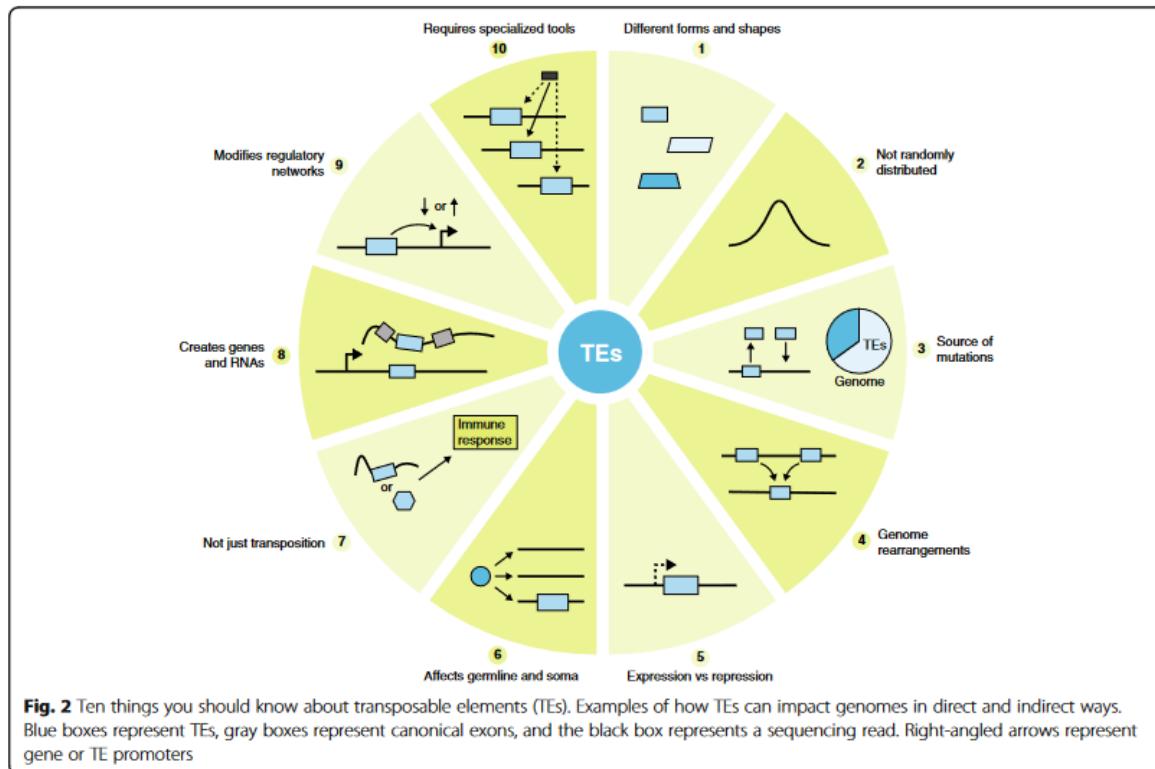
Fuente: (Gould & Vrba, 1982, pág. 5).

La octava propiedad fundamental de los transposones es que aportan elementos de ADN reguladores en cis³¹¹ y modifican las redes transcripcionales. Las redes reguladoras en cis coordinan la transcripción de múltiples genes que funcionan en concierto para orquestar vías completas y procesos biológicos complejos. De acuerdo con las perspicaces predicciones de Barbara McClintock, ahora hay una creciente evidencia de que los TE han sido una rica fuente de material para la modulación de la expresión génica eucariótica.

Adicionalmente, señalan (Bourque, y otros, 2018, pág. 7), que el análisis de TE requiere herramientas especializadas. Históricamente, los TE se han descuidado y siguen siendo ignorados con frecuencia en los estudios genómicos, en parte debido a su naturaleza repetitiva, lo que plantea una serie de desafíos analíticos y, a menudo, requiere el uso de herramientas especializadas. Como los genomas pueden albergar miles de copias de secuencias TE muy similares, es necesario tener en cuenta la unicidad o, alternativamente, la repetitividad de las subcadenas dentro de estas regiones durante el diseño y el análisis experimental.

³¹¹ Los elementos reguladores cis (CRE) o los módulos reguladores cis (CRM) son regiones de ADN no-codificante (*i.e.*, que no codifica proteínas) que regulan la transcripción de genes vecinos. Las CRE son componentes vitales de las redes reguladoras genéticas, que a su vez controlan la morfogénesis, el desarrollo de la anatomía y otros aspectos del desarrollo embrionario, estudiados en biología evolutiva del desarrollo.

Figura 59. Propiedades Fundamentales de los Genes Negativos de Tipo Transposición



Fuente: (Bourque, y otros, 2018, pág. 3).

Como señala (Hayes, 2003, pág. 3), los transposones son elementos genéticos móviles que pueden trasladarse de una ubicación genómica a otra. Además de modular la expresión génica y contribuir a la plasticidad y evolución del genoma, los transposones son herramientas moleculares notablemente diversas para estudios de genoma completo y de un solo gen en bacterias, levaduras y otros microorganismos. Las reacciones de transposición *in vitro* eficientes pero simples ahora permiten el análisis mutacional de microorganismos previamente recalcitrantes (resistentes a la biodegradación). Las estrategias de huella genética y mutagénesis marcada con firma basada en transposones han identificado genes esenciales y genes que son cruciales para la infectividad de una variedad de patógenos humanos y de otro tipo. Las proteínas individuales y los complejos de proteínas pueden disecarse mediante mutagénesis de enlazador de

exploración mediada por transposones. Estos y otros enfoques basados en transposones han reafirmado la utilidad de estos elementos como mutágenos simples, pero altamente efectivos para estudios proteómicos y genómicos funcionales de microorganismos.

¿Qué es entonces el ADN repetitivo o *ADN negativo*? Es aquel ADN que, a través de los mecanismos antes descritos, entra en conflictos (de carácter antagónico o no-antagónico) con el ADN no-repetitivo (que puede denominarse *ADN positivo*) del sistema genómico del huésped (especie), generando las consecuencias ya descritas, que son expresiones concretas, con mayor o menor intensidad, de la negación de la negación³¹². Estas consecuencias son, a su vez, la causa final práctica de la

³¹² Como señalan (Rosental & Iudin, 1971, págs. 271-272), la ley de la negación de la negación expresa el carácter sucesivo del desarrollo, la conexión de lo nuevo con lo viejo en el proceso de la sustitución –sujeta a ley– de unas transformaciones cualitativas por otras; expresa que, en un estadio superior de desarrollo, se repiten hasta cierto punto algunas de las propiedades del estadio inferior; fundamenta, asimismo, el carácter ascendente, progresivo, del desarrollo; determina la tendencia, la dirección principal del curso general del desarrollo. La ley de la negación de la negación se halla vinculada orgánicamente a la ley de la unidad y lucha de contrarios, dado que la negación de lo viejo por lo nuevo en el proceso del desarrollo no es otra cosa que la solución de las contradicciones. En su manifestación y sesión, la ley de la negación de la negación presenta peculiaridades debidas a la esencia del objeto negado, al carácter de sus contradicciones, a las circunstancias históricas concretas. La negación dialéctica constituye un momento objetivo, el principio motor de todo desarrollo. Según la dialéctica materialista, la negación es una condición, un momento del desarrollo con el mantenimiento de todo lo positivo que había en lo viejo, y necesario para el ulterior desarrollo progresivo. Sin esto, no habría sucesividad, continuidad en el desarrollo. Al mismo tiempo, es una característica del desarrollo ascendente la discontinuidad, pues la negación significa el paso de lo viejo a lo nuevo, el surgimiento de un fenómeno cualitativamente nuevo. Con la negación del punto de partida, no se termina el desarrollo, pues lo que surge, a su vez, se somete a negación. En un determinado grado de desarrollo, se produce un aparente retorno al punto de partida, algunos de cuyos rasgos y peculiaridades se repiten, pero ya sobre una nueva base, más elevada. Precisamente este momento se expresa en el concepto de “negación de la negación”. El desarrollo no acaece en línea recta ni por un círculo cerrado, sino que sigue una trayectoria ascendente, en espiral, lo cual incluso se ha verificado incluso a nivel de la topología del Universo (que esta posee una topología de espiral, específicamente de tipo torus de tres dimensiones), como se verifica en (Nabi, I.XIII. Principio Monista de Complementariedad (o modo monista complementario de descripción) (BORRADOR), 2022, págs. 15-17). El paso de lo inferior a lo superior se realiza por vías complicadas, contradictoriamente, a través de muchas desviaciones, incluida el movimiento regresivo en algunas etapas. Señalando esta peculiaridad del desarrollo en lo que respecta a la historia humana, Lenin escribió: “(...) imaginar la historia universal en marcha ordenada y exacta hacia adelante, sin saltos hacia atrás, a veces gigantescos, sería antidialéctico, anticientífico y teóricamente falso” (t. XXII, pág. 296, citado por Rosental y Iudin en el lugar referido). No obstante, en su resultado general, la sociedad progresiona sin cesar. Todo el curso de la historia mundial demuestra que una formación económico-social surge negando la anterior y es

existencia de tales genes negativos, su teleología. Por consiguiente, existe una esencia común³¹³ que está presente en el origen del sistema genético estudiado, en su desarrollo y en su resultado final, que determina entonces el proceso evolutivo del sistema genético en cuestión, erigiéndose por consiguiente en el fundamento de su existencia, *i.e.*, de las trayectorias evolutivas que toma, de las que no toma, de las que tomará, de las que no tomará, de las que es probable que tome, de las que es posible que tome y de las que es puramente lógico que pueda tomar. Esta es, a grandes rasgos, la visión marxista de la biología evolutiva del ADN repetitivo.

sustituida por otra más progresiva. El capitalismo que aparece sobre la base de la negación del feudalismo, en las condiciones presentes ha dado ya de si cuanto podía dar y ha madurado para la negación revolucionaria por una formación económico-social más progresiva, el comunismo. Lo que tiene de específico la negación dialéctica en el desarrollo de la sociedad socialista consiste en que las contradicciones del socialismo no son da naturaleza antagónica, es decir, los procesos de negación de lo viejo no ofrecen el carácter de revoluciones políticas, de conflictos de clases, etc. Al pasar al comunismo, la negación de los principios del socialismo se efectuará a través del desarrollo completo de tales principios, lo cual preparará las condiciones para que éstos se conviertan en principios comunistas.

³¹³ Los componentes de una totalidad de referencia comparten una esencia común (*i.e.*, están vinculados por un conjunto de relaciones fundamentales e invariantes -puesto que al variar la esencia se está frente a una totalidad cualitativamente nueva, diferente o distinta-) que permite su combinación integro-diferencial de forma armónica y coherente bajo una determinada estructura interna o fundamental (de naturaleza material, dialéctica, objetiva, monista, compleja, irreductible y dinámica, que expresa las relaciones fundamentales antes descritas) generada por la interacción de tales componentes dadas determinadas condiciones iniciales; las relaciones fundamentales entre los componentes de la totalidad estudiada se gestan en el contexto de determinadas condiciones iniciales, por lo que la esencia son las relaciones fundamentales que se generan por la interacción, acaecida dicha interacción en la génesis histórica del sistema analizado, entre tales componentes dadas las condiciones iniciales bajo las cuales interactuaron. La estructura interna del sistema (o totalidad de referencia) condiciona a los componentes que la generan bajo el mismo conjunto de leyes (pero generalizado, por lo que no es formalmente el mismo) que rigen la interacción entre las condiciones iniciales y las relaciones primigenias entre componentes que determinaron la gestación de dicha estructura interna. Estas leyes son, en su forma más general (*i.e.*, filosófica): 1. Unidad y Lucha de los Contrarios, 2. Salto de lo Cuantitativo a lo Cualitativo, 3. Ley de la Negación de la Negación.

III.V. ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL PAPEL DE LA IDEOLOGÍA EN LA CIENCIA

III.V. I. Introducción: Algunos Conceptos Fundamentales del Materialismo Dialéctico

III.V. I. I. Ontología

Como señalan (Rosental & Iudin, 1971, pág. 346) y (Frolov, 1984, págs. 319-320), esta palabra, proveniente del griego ὄντος (el ser), y λόγος (doctrina), se conoce, en las filosofías no-marxistas, como la “filosofía primera” y es entendida como la teoría acerca del Ser en general, acerca del ser como tal, independiente de sus especies particulares. En este sentido, ontología es equivalente a metafísica, sistema de determinaciones especulativas universales del Ser. Aristóteles fue el primero en formular el concepto relativo a semejante teoría. Durante el período de la Edad Media tardía, los filósofos católicos procuraron utilizar la idea aristotélica de la metafísica para elaborar una teoría del ser que sirviera de prueba filosófica de las verdades de la religión. Dicha tendencia apareció en su forma más acabada en el sistema filosófico-teológico de Tomás de Aquino. En la Época Moderna (aproximadamente a partir del siglo XVI), empezó a entenderse por ontología una parte especial de la metafísica: la teoría acerca de la estructura suprasensible, no material, de todo lo existente. El término de “ontología” pertenece al filósofo alemán Goclenius (1613). La idea de semejante ontología alcanzó expresión acabada en la filosofía de Wolff, que perdió toda conexión con el contenido de las ciencias particulares y estructuró la ontología, en su mayor parte, mediante el análisis deductivo-abstracto y gramatical de conceptos de la misma (ser, posibilidad y realidad, cantidad y calidad, substancia y accidente, causa y efecto, etc.). Apareció una tendencia contrapuesta, en las teorías materialistas de Hobbes, Spinoza, Locke, de los materialistas franceses del siglo XVIII, dado que el contenido objetivo de tales teorías, apoyadas en los datos de las ciencias experimentales, socavaba objetivamente la idea de la ontología como disciplina

filosófica de rango superior, como “filosofía primera”. La crítica que los representantes del idealismo clásico alemán (Kant, Hegel y otros) hacían de la ontología presentaba un doble carácter: por una parte, la declaraban exenta de contenido y tautológica; por otra, su crítica acababa recabando la creación de una nueva ontología, más perfecta (metafísica), la sustitución de la ontología por la filosofía trascendental (Kant), por el sistema del idealismo trascendental (Schelling), por la lógica (Hegel). El sistema de Hegel anticipó, en forma idealista, la idea de la unidad de la ontología (la dialéctica), de la lógica y de la teoría del conocimiento, con lo cual señaló de qué modo “(...) cabía rebasar el marco del filosofar especulativo y alcanzar el conocimiento positivo y real del mundo (Engels).” En la filosofía marxista, el término “ontología” no tiene uso sistemático, sin embargo, cuando se emplea su uso convencional es como sinónimo de la teoría de las leyes más generales del Ser, que es en el sentido en que aquí se utiliza.

III.V. I. II. Lógica

La lógica como disciplina filosófica bien establecida se remonta a la Antigua Grecia, específicamente dentro del sistema filosófico aristotélico, cuando nace como silogística. Puesto que el sistema del estagirita comprendía cuatro causas fundamentales de la existencia del mundo en general y de los objetos particulares que este contiene, dentro de las cuales la causa formal era la más importante, la causa relativa a las formas de los objetos y de la realidad, por lo cual la lógica se establece en sus orígenes históricos como lógica formal.

Como se señala en (Fundación Gustavo Bueno, 2021), la lógica formal es la lógica sobre las formas del raciocinio humano; doctrina que establece un divorcio entre el estudio de estas formas y su contenido (la Naturaleza y la Sociedad). A esta lógica no se enfoca en la verdad material (el reflejo correcto de los fenómenos de la Naturaleza en el pensamiento), sino en la verdad formal (la consonancia con las reglas de la lógica). De aquí su denominación de “lógica formal”. Posteriormente, la lógica recibió nuevos adelantos gracias al desarrollo de las ciencias

experimentales. A este respecto, es preciso reseñar muy particularmente el papel de Francis Bacon. Contrariamente a Aristóteles, que estudió principalmente la lógica deductiva (que parte de lo general y llega a lo particular), Bacon es el creador de la lógica inductiva, es decir, de un sistema de reglas y procedimientos que permiten llegar a lo general a partir de los hechos particulares. Posteriormente, la lógica tomó un carácter cada vez más formal. La ruptura entre la lógica y la naturaleza, entre las formas del pensamiento y su contenido objetivo, alcanza su punto culminante en la filosofía de Kant. Su lógica, de carácter formalista y metafísica (lo cual se revela en su concepción instrumental del conocimiento, como se demostrará más adelante), se funda en la oposición entre la realidad considerada alógica, es decir, desprovista de toda lógica objetiva, y el pensamiento lógico propio del hombre, a priori, independientemente de la experiencia del mundo exterior. La teoría de Kant fue criticada por Hegel, creador de un sistema de lógica dialéctica que marcó un progreso importante en el desarrollo de la lógica. Pero la lógica de Hegel es también idealista. A la ruptura kantiana entre la lógica y la naturaleza, Hegel opone el principio de identidad del Ser y del pensamiento. De acuerdo con esta filosofía, la lógica del pensamiento, de las ideas, de los conceptos, sería la fuente y la base del desarrollo del mundo material. En su lucha contra la lógica metafísica, Hegel creó la lógica dialéctica, pero en su conjunto, su lógica idealista no podía servir de instrumento del conocimiento.

La diferencia fundamental entre la lógica formal y la lógica dialéctica es señalada por Lenin cuando afirma que la primera “(...) recurre a definiciones formales, se ocupa de lo que es más habitual, o de lo que salta a la vista, y no puede ir más lejos (...) La lógica dialéctica exige que hagamos algo más. Para conocer realmente un objeto, es preciso estudiar todos sus aspectos, todos los vínculos y los eslabones intermedios. No llegaremos jamás a hacerlo de una manera completa, pero esta exigencia de universalidad nos pondrá al abrigo de los errores y del dogmatismo. Primer punto. En segundo lugar, la lógica dialéctica exige que el objeto sea

considerado en su devenir, desde el ángulo de su ‘automovimiento’ (como dice Hegel a veces), de su cambio (...)” (Fundación Gustavo Bueno, 2021).

Así, la lógica formal se dedica a investigar las diversas formas de los juicios humanos, de los argumentos, interesándose sólo por si están o no construidos en consonancia con las reglas de la lógica. Es la rama de las matemáticas que estudia los actos del pensar –concepto, juicio, razonamiento, demostración– desde el punto de vista de su forma lógica, o sea, haciendo abstracción del contenido concreto de los pensamientos y tomando sólo el procedimiento general de conexión entre las partes del contenido dado. El objetivo básico de la lógica formal consiste en formular leyes y principios cuya observancia es condición necesaria para alcanzar verdaderos resultados en el proceso encaminado a proporcionar un saber inferido.

La lógica formal estudia de igual modo las diferentes formas del proceso del pensamiento. Concepto, juicio, y razonamiento, son las formas que constituyen las tres partes esenciales de la lógica formal. En la primera, la lógica formal examina las especies de conceptos, sus relaciones, los procedimientos lógicos de su formación, la relación entre su extensión y su comprensión, los procedimientos y las reglas de determinación y de distinción de los conceptos. En la segunda parte, la lógica formal estudia la composición, los modos del juicio, etc. En la tercera, la más extensa, analiza el razonamiento, clasifica las especies y los procedimientos del razonamiento, expone su teoría, las reglas y las figuras del silogismo, muestra la importancia y el papel de la deducción y de la inducción en el proceso del conocimiento, etc. En fin, la lógica formal explica el papel, los procedimientos y los principios de la demostración en el pensamiento lógico. La lógica formal es como la gramática del pensamiento lógico. De igual modo que la gramática establece las reglas de modificación de las palabras, las reglas de su combinación en la proposición y confiere así al lenguaje un carácter coherente, así la lógica permite ordenar las ideas y conferir al pensamiento un carácter coherente. El punto común entre la gramática y la lógica es que tanto una como la otra hacen abstracción de lo

particular y de lo concreto, definen las reglas y las leyes generales que, como lo enseña la gramática, permiten combinar juiciosamente las palabras en las proposiciones, modificar acertadamente las palabras y que, como lo enseña la lógica, permiten pensar acertadamente, encadenar convenientemente los conceptos en el juicio, los juicios en los razonamientos, etc.

En general, las leyes lógicas son leyes objetivas que reflejan los fenómenos del mundo objetivo de una u otra forma. Las leyes y las reglas de la lógica formal son las del proceso natural del pensamiento. Sin embargo, ciertas teorías falsean la interpretación de estas leyes. Así, para los idealistas, la lógica formal es una ciencia puramente abstracta, separada de la realidad objetiva. Por eso Lenin, al hablar de la necesidad de estudiar la lógica formal, señaló que debía abandonarse la concepción tradicional de la lógica formal de carácter idealista. La lógica formal no representa sino las “matemáticas elementales” del pensamiento; ella estudia los vínculos y relaciones más simples entre las cosas.

Por otro lado, la lógica dialéctica-materialista es, como señalan (Rosental & Iudin, 1971, págs. 278-279) y (Frolov, 1984, págs. 257-258), es la teoría lógica del materialismo dialéctico, que versa sobre las leyes y formas en que el desarrollo y el cambio del mundo objetivo se reflejan en el pensar, acerca de las leyes que rigen el conocimiento de la verdad. La lógica dialéctica ha surgido como parte componente de la filosofía marxista. No obstante, elementos suyos se dieron ya en la filosofía antigua, especialmente en la grecorromana, en las teorías de Heráclito, Platón, Aristóteles y otros. Las circunstancias históricas hicieron que, en el transcurso de un largo periodo, dominara la lógica formal como única teoría de las leyes y formas del pensar. Mas a partir del siglo XVII, aproximadamente, la ciencia natural en pleno desarrollo y el pensamiento filosófico presentan nuevas exigencias y su presión hace que se empiece a comprender la insuficiencia de la lógica formal y se sienta la necesidad de una nueva teoría sobre los principios y métodos generales del pensamiento y de la cognición (Bacon, Descartes, Leibniz, etc.). En la Época

Moderna, dicha tendencia encontró su manifestación más brillante en la filosofía clásica alemana. Así, Kant estableció una diferencia entre lógica general (que es como llama Kant a la lógica formal) y lógica trascendental; ésta última, según Kant, se diferencia de la primera (es decir, de la formal) por el hecho de que estudia el desarrollo de los conocimientos y no hace abstracción, como la otra, del contenido. En la formación de la lógica dialéctica, corresponde un mérito especial a Hegel, quien elaboró el primer sistema completo y detallado de tal lógica, aunque respondiendo a una concepción idealista del mundo. La teoría marxista acerca de la lógica se ha incorporado todo lo que habla de valioso en el desarrollo anterior después de reelaborar la inmensa experiencia acumulada en el saber humano y después de haberla generalizado en una teoría rigurosa sobre el conocimiento. La lógica dialéctica no desecha la lógica formal; señala sus límites y la considera como forma necesaria del pensamiento lógico, forma que, empero, no agota a éste. En la lógica dialéctica se encuentran indisolublemente unidas la teoría del ser y la teoría del reflejo del ser en la conciencia; es una lógica de contenido. Y como quiera que el mundo se halla en movimiento y desarrollo constantes, también las formas del pensar, los conceptos y categorías han de basarse en el principio del desarrollo; de otro modo, no pueden llegar a ser formas ideales del contenido objetivo. De ahí que el cometido principal de la lógica dialéctica estribe en investigar cómo el movimiento, el desarrollo, las contradicciones internas de los fenómenos, el cambio cualitativo de los mismos, la transformación de uno en otro, &c., se expresan en los conceptos humanos, en la investigación de la esencia dialéctica de las categorías lógicas, de su movilidad, de su flexibilidad “(...)” que llega hasta la identidad de los contrarios” (Lenin) (...)” (Rosental & Iudin, 1971, págs. 278-279). La dialéctica es una doctrina lógica precisamente porque investiga las funciones lógicas, cognoscitivas de las leyes y categorías generales del desarrollo. Con ello guarda relación otro objetivo básico de la lógica dialéctica: el estudio del proceso de formación y desarrollo del conocimiento mismo. La lógica dialéctica se basa en la historia de la cognición, es la historia generalizada del desarrolló del pensamiento

humano y de la práctica histórica de la sociedad. La especificidad de la lógica dialéctica consiste en que estudia el reflejo, en las leyes y formas del pensamiento, de los procesos del desarrollo, de las contradicciones internas de los fenómenos, su cambio cualitativo, la transformación de lo uno en lo otro, etc. Desde el punto de vista de esta lógica, las leyes de la cognición son las leyes del desarrollo del pensar, que va de lo exterior a lo interior, de los fenómenos a la esencia, de la esencia menos profunda a la esencia más profunda, de lo inmediato a lo mediato, de lo abstracto a lo concreto, de las verdades relativas a la verdad absoluta. Este carácter histórico impregna toda tesis de la lógica dialéctica, como lo hace (y se demostrará más adelante) en toda la ciencia. En esta lógica se supera la desintegración de análisis y síntesis, inducción y deducción, lo empírico y lo teórico en formas independientes del saber, lo cual era característico de las doctrinas precedentes sobre el conocimiento; la lógica dialéctica investiga dichas formas de conocimiento, al igual que las otras, en su síntesis superior, bajo el aspecto de contrarios que se penetran recíprocamente. En calidad de principio lógico general, posee gran importancia para la lógica dialéctica el método por el que se asciende de lo abstracto a lo concreto (lo abstracto y lo concreto); en él se encarna de la manera más completa la unidad de lo histórico y lo lógico. La lógica dialéctica se estructura como un sistema de categorías lógicas en las cuales se sintetizan los resultados de la actividad cognoscitiva y práctica de la humanidad. Aún no está suficientemente estudiado el problema relativo al sistema de categorías que incluya a éstas en orden de subordinación y de codependencia, sin embargo, el punto de vista que se presenta como más probable y fecundo es el que corresponde al principio de la unidad entre lo lógico y lo histórico, al movimiento del saber que va de los fenómenos a la esencia, de lo simple a lo complejo, etc. En la ciencia moderna desempeñan un gran papel los sistemas lógicos formalizados y las teorías lógico-formales de contenido, que estudian determinados aspectos y cometidos del pensar. La lógica dialéctica constituye la base lógica general del conocimiento humano.

III.V. I. III. Teoría del Conocimiento

III.V. I. III. I. Conocimiento

Como señalan (Rosental & Iudin, 1971, págs. 80-81), el conocimiento es un proceso histórico-social en virtud del cual la realidad se refleja y reproduce en el pensamiento humano; dicho proceso está condicionado por las leyes del devenir social y se halla indisolublemente unido a la actividad práctica. Este proceso de la actividad creadora de la humanidad, que forma su saber, es sobre la base del cual, en conjunto con las condiciones objetivas actuales³¹⁴, surgen los fines y motivos de las acciones humanas. En la historia de las formaciones clasistas, donde existe la contraposición entre el trabajo intelectual y el manual y donde la actividad creativa, que descubre y crea lo nuevo, se opone socialmente a la actividad ejecutiva rutinaria, el conocimiento por lo común constituye una función específica de quienes se ocupaban profesionalmente de una u otra variedad de la producción espiritual (actividad científica, estética, ética, religioso-moral y de otra índole). Por eso la teoría del conocimiento se ha elaborado como teoría de una actividad especial, propiamente espiritual, que se separó de la práctica³¹⁵, lo cual engendró el agnosticismo y el idealismo en la intelección del conocimiento.

El fin del conocimiento estriba en alcanzar la verdad objetiva. En el proceso del conocimiento, el hombre adquiere saber, se asimila conceptos acerca de los fenómenos reales, va comprendiendo el mundo circundante. Dicho saber se utiliza en la actividad práctica para transformar el mundo, para subordinar la naturaleza a las necesidades del ser humano. El conocimiento y la transformación práctica de la naturaleza y de la sociedad son dos facetas de un mismo proceso histórico, que se condicionan y se penetran recíprocamente. El conocer mismo constituye un

³¹⁴ Puesto que el conocimiento es la cristalización de condiciones objetivas pasadas en cuanto el concepto no es más que uno de los momentos de desarrollo del Ser como realidad material que evoluciona a formas más complejas hasta poder llegar a pensarse a sí misma, en cuanto el cerebro es un órgano de existencia material de carácter orgánico resultante de un proceso evolutivo que permitió el salto cualitativo de lo inorgánico a lo orgánico: la humanidad, como Ser-Para-Sí, es parte del Ser-En-Sí.

³¹⁵ Véase <https://www.filosofia.org/enc/ros/te09.htm>.

momento necesario de la actividad práctica de la sociedad, pues dicha actividad es propia de los hombres y éstos la realizan basándose en el conocimiento de las propiedades y de las funciones de cosas y objetos. Por otra parte, la actividad productiva social, la práctica de la sociedad, aparece como momento necesario del proceso mismo del conocer. Sólo la inclusión de la práctica en la teoría del conocimiento ha convertido a esta última en una ciencia real, que descubre las leyes objetivas del origen y formación del saber relativo al mundo material. En las fuentes del conocimiento, se encuentra la acción práctica, activa, sobre la naturaleza, la reelaboración práctica de su sustancia, el aprovechamiento de determinadas propiedades de las cosas con vistas a la producción. Lo que en la práctica se asimila y con ello pasa a enriquecer el saber humano, su acervo de conceptos y teorías, no es la apariencia del objeto, sino sus funciones (descubiertas gracias al hacer práctico) y, con ellas, la esencia objetiva de la cosa dada. El conocimiento constituye un complejo proceso dialéctico que se efectúa en distintas formas, posee sus estadios y grados, y en él participan distintas fuerzas y aptitudes del hombre. El conocimiento (que se apoya en la experiencia, en la práctica) se inicia con las percepciones sensoriales de las cosas que rodean al ser humano. De ahí que en el proceso de la cognición desempeñe un gran papel la "contemplación viva" la conexión sensorial directa del hombre con el mundo objetivo. Fuera de las sensaciones, el ser humano no puede saber nada acerca de la realidad. La "contemplación viva" se realiza en formas como la sensación, la percepción, la representación, el estudio de los hechos, la observación de los fenómenos, etc. Las sensaciones proporcionan al ser humano un conocimiento de las cualidades externas de las cosas. Diferenciando lo caliente, lo frío, los colores, los olores, la dureza, la blandura, etc., el ser humano se orienta con acierto en el mundo de las cosas, distingue unas de las otras, adquiere diversa información respecto a los cambios que se producen en el medio que le rodea. La percepción de las imágenes de los objetos y el hecho de conservarlas en la representación permiten operar libremente con los objetos, captar el nexo entre el aspecto externo del objeto y sus

funciones. Mas, por importante que sea la forma sensorial del conocimiento, ésta, de por sí, no hace posible penetrar en la ciencia de las cosas, descubrir las leyes de la realidad. Ahora bien, es precisamente en esto en lo que estriba el objetivo principal del conocer. Los datos de la “contemplación viva”, de la experiencia, son elaborados y generalizados por la facultad cognoscitiva superior del ser humano, por el pensamiento verbal, abstracto y lógico, que se realiza en forma de conceptos, juicios y razonamientos. Los conceptos también aparecen en el ser humano como producto de su actividad productiva social. Las propiedades, las funciones de las cosas, su valor objetivo para la práctica, fijándose en la actividad señalizadora verbal de las personas, se convierten en significado y sentido de palabras con ayuda de las cuales el pensamiento humano crea determinados conceptos sobre las cosas, sus propiedades y manifestaciones. La actividad lógica del pensar se realiza en distintas formas: inducción y deducción, análisis y síntesis, formulación de hipótesis y teorías, etc. Desempeñan asimismo un gran papel en el conocimiento, la imaginación, la fantasía creadora y la intuición, que permiten componer amplias representaciones generalizadoras sobre la naturaleza de las cosas partiendo de algunos datos de la experiencia. Sin embargo, el pensamiento sólo crea ideas subjetivas; queda abierto el problema de si dichas ideas corresponden a la realidad misma. Este problema no se resuelve solamente con meros razonamientos y demostraciones teóricos, sino, ante todo, en la práctica histórico-social.

La actividad lógica del pensamiento se efectúa en formas tales como concepto, juicio, ilación, inducción y deducción, análisis y síntesis, etc., en la formulación de ideas e hipótesis. Sin embargo, una idea subjetiva se convierte en verdad objetiva, con la cual culmina un cielo³¹⁶ determinado del pensamiento, tan sólo en el caso de que las acciones prácticas de la sociedad, apoyadas directa o indirectamente en dicha idea, permitan al ser humano dominar fuerzas de la naturaleza o sociales, que es el criterio dialéctico-materialista de verdad. Y sólo cuando la práctica social

³¹⁶ Como cota superior de una rama del saber.

de la producción confirma la coincidencia de ideas, conocimientos y teorías con la realidad, sólo entonces, es posible hablar de la veracidad de dichas ideas, conocimientos y teorías; por consiguiente, la confirmación como verdad de una hipótesis se fundamenta en la práctica socio-productiva. Por ello, Lenin expresaba el proceso general de construcción del conocimiento antes descrito afirmando que “(...) De la percepción viva al pensamiento abstracto, y de éste a la práctica; tal es el camino dialéctico del conocimiento de la verdad, del conocimiento de la realidad objetiva (...) (t. 29, pp. 152-153)” (Frolov, 1984, págs. 82-83).

Las verdades de la ciencia no se comprueban prácticamente de manera definitiva mediante un experimento aislado especialmente organizado (*i.e.*, efectuado de forma consciente con un propósito). Toda la actividad material de la producción, la existencia de la sociedad en el transcurso de su historia toda, precisan, ahondan y comprueban el saber, es decir, la actividad material productiva y todo el ser de la sociedad en el curso de toda su historia concretan, ahondan y verificación los conocimientos. La verdad es un proceso. La práctica suficientemente determinada para diferenciar del error la verdad objetiva, para confirmar la veracidad de nuestros conocimientos, es al mismo tiempo un proceso en desarrollo, limitado en cada una de sus etapas por las posibilidades de la producción, su nivel técnico, etc. Esto significa que también la práctica es relativa, en virtud de lo cual su desarrollo no permite a la verdad convertirse en un dogma, es decir, convertirse en un estamento absoluto e invariable, inmutable³¹⁷.

En los pilares del conocimiento se encuentran la influencia activa de los individuos sobre la naturaleza, la reelaboración de la substancia de la naturaleza y la utilización de las propiedades de las cosas en la producción. Uno u otro modo de actividad práctica es, al mismo tiempo, modo de comunicación entre los individuos. En los procesos laborales del tratamiento de la piedra, de los metales, etc. se reflejaban y se consolidaban las propiedades esenciales de estos objetos.

³¹⁷ Véase <https://www.filosofia.org/enc/ros/ver2.htm>.

Lo anterior se fundamenta, como señalan los biólogos dialécticos (Lewontin & Levins, 2009, pág. 58), por el hecho de que el "entorno" no puede entenderse simplemente como un entorno, por muy dinámico que sea. También es una forma de vida en cuanto la actividad del organismo prepara el escenario para su propia evolución. Esta fuerte interacción entre lo que hace un organismo y lo que le sucede es especialmente dramática en la evolución humana. El fragmento de ensayo de Engels, "El papel del trabajo en la transición del mono al hombre", redactado en algún momento entre 1872 y 1882, explora esta relación de forma provisional en el marco lamarckiano de la herencia directa de los caracteres adquiridos. Pero, si se reemplaza tal causalidad directa por la acción de la selección natural, el argumento esencial tiene validez científica general: el proceso de trabajo mediante el cual los antepasados humanos modificaron los objetos naturales para hacerlos aptos para el uso humano fue en sí mismo la característica única de la forma de vida que implicó selección natural en la mano, laringe y cerebro en una retroalimentación positiva que transformó la especie, su entorno y su modo de interacción con la naturaleza.

Por eso, como señala (Frolov, 1984, págs. 82-83), la piedra o el metal aparecían ante el hombre no simplemente en forma de combinación de las cualidades externas, perceptibles por los órganos de los sentidos. Al contemplar un objeto, el hombre, diríase, "imprime" al mismo las habilidades históricamente formadas de su transformación y aprovechamiento, por lo cual este objeto aparece ante el hombre también como objetivo de su acción. Así pues, la contemplación viva de los objetos es un elemento de la actividad práctica sensorial. Se realiza en formas tales como la sensación, percepción, representación, etc. Las propiedades y funciones de las cosas, su significación objetiva, consolidándose en la actividad signalizadora y lingüística de los hombres, se convierte en significado de las palabras, con cuya ayuda el hombre crea, por medio de la actividad abstractiva del pensamiento, sus representaciones sobre las cosas, sus propiedades y manifestaciones. La transformación revolucionaria de la sociedad y el establecimiento práctico del

comunismo únicamente son posibles si se tiene un conocimiento verdadero de las leyes objetivas sociales y naturales.

III. V. I. III. II. Teoría del Reflejo

Como señala (Frolov, 1984, pág. 365), en la filosofía marxista, la teoría del reflejo constituye la base de la teoría del conocimiento del materialismo dialéctico. La teoría del reflejo tiene planteadas tareas específicas: poner de manifiesto los rasgos y regularidades más generales, propios de todos los niveles y formas de reflejo; investigar el surgimiento y desarrollo de las formas de reflejo psíquico, incluyendo los problemas del origen de la conciencia y la fundamentación científica especial de las posibilidades de la actividad cognoscitiva del hombre; estudiar las conexiones de las características del contenido y la forma de la imagen, del saber; desentrañar la esencia del reflejo en la naturaleza no viva; aclarar las peculiaridades del reflejo (señalización) en la técnica de enlace y mando, en particular, de la correlación y conexión entre el hombre y los dispositivos ciberneticos. El punto de partida para la teoría del reflejo y para la gnoseología marxista en general es el principio materialista dialéctico del reflejo, según el cual los resultados del conocimiento deben ser relativamente adecuados a su fuente: el original. Estos resultados se logran mediante dos exigencias interrelacionadas y los procesos que les corresponden: extracción activa de los datos necesarios sobre el original y la exclusión de los innecesarios y accesorios. La desgracia del materialismo pre-marxista, que también reconocía el reflejo como principio gnoseológico, era su incapacidad de aplicar la dialéctica a la teoría del reflejo, por lo cual el reflejo se entendía como “copia fotográfica” pasiva del mundo exterior. La filosofía marxista concibe el reflejo de manera dialéctica, como proceso complejo y contradictorio de interacción del conocimiento sensorial y el racional y de la actividad mental y la práctica, como proceso en que el hombre no se adapta pasivamente al mundo exterior, sino que influye sobre el mismo transformándolo y sometiéndolo a sus propios fines. Por eso carecen de todo fundamento las tentativas de criticar la teoría marxista del reflejo como “conformista”, que

supuestamente condena al sujeto cognoscente a una contemplación pasiva del mundo circundante. Por el contrario, una enérgica actividad material del hombre y la humanidad sólo es posible con ayuda de la función refleja de la conciencia, que asegura un conocimiento adecuado del mundo, y la acción sobre el mismo en consonancia con las leyes objetivas.

III.V. I. III. III. Teoría del Conocimiento

III.V. I. III. III. I. Teoría del Conocimiento En General

Como se señala en (Fundación Gustavo Bueno, 2021), es una parte importante de la teoría filosófica, versa acerca de la facultad del ser humano para entrar en conocimiento de la realidad, acerca de las fuentes, de las formas y de los métodos del conocimiento, acerca de la verdad y de los caminos para llegar a conocerla. La teoría del conocimiento es también conocida también como *gnoseología*, proveniente esta última palabra del griego *gnosis* (conocimiento) y *logos* (doctrina); el término fue introducido por Kant. La gnoseología es la teoría filosófica sobre la aptitud del ser humano para conocer la realidad y para concebir la verdad; la doctrina sobre las fuentes del conocimiento (los sentidos, la razón) y las formas en que éste se realiza (las percepciones, las representaciones, los conceptos, los juicios, las deducciones, etc.). Es decir, como señala (Frolov, 1984, pág. 83), es una sección de la filosofía, que estudia la interrelación del sujeto y el objeto en el proceso de la actividad cognoscitiva, la relación del saber con la realidad, las posibilidades del ser humano de conocer el mundo y los criterios de la autenticidad y veracidad del conocimiento. El punto de partida de toda gnoseología es la solución materialista o idealista del problema sobre la relación entre nuestras ideas sobre el mundo que nos circunda y el propio mundo, que es el *problema fundamental de la filosofía*. La gnoseología materialista parte del criterio de que fuera e independientemente de nosotros existen las cosas, los objetos, los cuerpos; que nuestras sensaciones son imágenes del mundo exterior.

La filosofía idealista, en cambio, afirma o que el conocimiento del hombre es el reflejo de las ideas místicas (el idealismo objetivo de Platón y Hegel) o que el conocimiento se confunde con el propio Ser, que a su vez sólo existe en las percepciones humanas (idealismo subjetivo de Berkeley, de Mach y de los seguidores de este último), o niega por principio la posibilidad de conocer el mundo (el agnosticismo de Hume y Kant). En la filosofía marxista no existe la teoría gnoseológica aislada o independiente de la ontología y de la lógica, puesto que la dialéctica materialista busca descubrir las leyes más generales del desarrollo de la naturaleza, de la sociedad y del pensamiento, para erigirse como la auténtica teoría científica del conocimiento. La dialéctica materialista, por tanto, “(...) involucra en sí lo que actualmente llaman la teoría del conocimiento, la gnoseología” (Lenin (...)). La gnoseología materialista parte del reconocimiento del carácter objetivo del mundo exterior y de que es posible conocerlo. No obstante, el materialismo pre-marxista adolecía del defecto de ser contemplativo, no comprendía el papel decisivo de la actividad humana en la esfera de la producción social para el desarrollo del conocimiento, al que concebía metafísicamente³¹⁸. Tan sólo la filosofía marxista ha creado una teoría del conocimiento auténticamente científico. La dialéctica materialista, que descubre las leyes más generales del desarrollo de la naturaleza, de la sociedad y del pensar, nos ofrece la única teoría científica del conocimiento. “Incluye en sí lo que en la actualidad se denomina teoría del conocimiento, gnoseología, la cual también ha de examinar su objeto históricamente, estudiando y generalizando el origen y el desarrollo del conocer, el paso del no-saber al saber” (Lenin, t. XXI, pág. 38)³¹⁹.

La dialéctica materialista es un sistema filosófico-científico del conocimiento, que es simultáneamente lógica y teoría del conocimiento; las leyes y categorías de la dialéctica materialista, constituyendo reflejos de las regularidades universales del

³¹⁸ Por cuanto, al estar más allá de lo físico (no tener relación con lo físico) no tenía más que un papel pasivo y sin consecuencias en el mundo físico.

³¹⁹ Lo cual tiene que ver con el conocimiento, la praxis (véase <https://www.filosofia.org/enc/ros/te09.htm>) y la teoría del reflejo.

desarrollo del mundo objetivo, resultan de esta manera formas generales del pensamiento cognoscente. Por eso, la teoría dialéctica-materialista del conocimiento, a diferencia de la gnoseología anterior, no es sólo una teoría de las regularidades específicas del conocimiento, sino el resultado, la suma y la conclusión de la historia del conocimiento del mundo para un momento histórico concreto (por tanto, es una conclusión relativa), por lo que le es inherente un constante desarrollo y renovación a la luz del estado del arte del conocimiento humano.

Esto significa que en la filosofía marxista, la problemática específicamente gnoseológica de la relación entre la conciencia y la materia, entre lo ideal y lo material, de los criterios de la veracidad del saber, de la correlación entre lo sensorial y lo lógico, del reflejo, etc. se investiga con arreglo al método de la dialéctica materialista y en ligazón indisoluble con el materialismo histórico (el resultado de su aplicación a la historia humana, también incompleto como sistema), que permite desentrañar la esencia de la relación cognoscente del hombre con el mundo partiendo del análisis de la actividad práctico-material transformadora de aquél. De hecho, la historia de la teoría del conocimiento empieza por plantear en filosofía la cuestión de qué es el saber (Platón), aunque el término mismo “teoría del conocimiento” aparece mucho más tarde. La problemática de la teoría del conocimiento siempre ha desempeñado un papel sustancial en la historia de la filosofía, ocupando a veces el lugar central en ella. Una serie de corrientes de la filosofía burguesa se caracterizan por la reducción de la filosofía a la teoría del conocimiento (neokantismo, así como los seguidores contemporáneos de Mach). Desde el punto de vista de algunos positivistas y científicos que comparten sus concepciones, el desarrollo impetuoso de los métodos científicos especiales del conocimiento (lógica matemática, semiótica, psicología, etc.) conduce a la liquidación de la teoría del conocimiento como ciencia filosófica. En cambio, el materialismo dialéctico opina que el desarrollo de los métodos científicos especiales de investigación no puede en principio eliminar la

problemática filosófica de la teoría del conocimiento. Por el contrario, la estimula, planteándole nuevos problemas (por ejemplo, el estudio de las posibilidades de automatizar, hasta donde sea posible dado el grado de desarrollo de las fuerzas productivas, el trabajo intelectual a través de la inteligencia artificial³²⁰). La teoría del conocimiento materialista dialéctica utiliza en su desarrollo los datos de las ciencias especiales modernas sobre el conocimiento, pudiéndose constituir como la base metodológica-filosófica de las mismas.

III.V. I. III. III. II. Procedimiento de Aplicación de la Teoría del Conocimiento: Ascensión Dialéctica y Viaje de Retorno

Para comprender esta sección es necesario comprender antes la figura hegeliana *Aufheben*, con la finalidad de exponer las raíces gnoseológicas de la gnoseología marxista. Al respecto señala Hegel que: “El eliminar [Aufheben] y lo eliminado (esto es, lo ideal) representa uno de los conceptos más importantes de la filosofía, una determinación fundamental, que vuelve a presentarse absolutamente en todas partes, y cuyo significado tiene que comprenderse de manera determinada, y distinguirse especialmente de la nada. Lo que se elimina no se convierte por esto en la nada. La nada es lo inmediato; un eliminado, en cambio, es un mediato, es lo

³²⁰ Esto era afirmado por los filósofos soviéticos en 1965. En el año 2021, **Fuente especificada no válida.** introdujeron un nuevo invariante matemático (estructura algebraica que no se deforma topológicamente al aplicar determinadas transformaciones sobre ella) real evaluado que denominan *pendiente natural de un nudo hiperbólico en la 3-esfera* (una esfera de tres dimensiones), que se define en términos de su geometría de cúspide (de los puntos del objeto geométrico curvado en que las trayectorias -expresadas usualmente con vectores- deben invertir su movimiento). Los autores demuestran que el doble de la *firma del nudo* (un invariante topológico estudiado en la teoría de nudos, que estudia objetos geométricos que se asemejan a los nudos en tres dimensiones que usualmente conocemos) y la pendiente natural difieren como máximo en una constante multiplicada por el volumen hiperbólico dividido por el cubo del radio de inyectividad; el momento lineal de un sistema físico es igual al producto de su masa por su velocidad, el momento angular es la versión rotacional del momento lineal, una geodésica radial representa a un objeto en caída libre sin momento angular [véase (Oregon State University, 2022)], el radio de inyectividad (perteneciente a la geometría riemanniana) mide esencialmente el tamaño de la *n – bola* más grande alrededor de un centro *p* para la cual las geodésicas radiales se comportan como geodésicas (línea de mínima longitud que une dos puntos en una superficie dada, y está contenida en esta superficie) en los espacios euclidianos y sus generalizaciones naturales [véase (Grant, 2022, p. 1)]. De manera equivalente, define la bola más grande en la que se pueden usar las coordenadas geodésicas normales alrededor de *p*. Esta importante desigualdad se descubrió mediante el aprendizaje automático para detectar relaciones entre varios invariantes de nudos.

no existente, pero como resultado, salido de un ser. Tiene por lo tanto la determinación, de la cual procede todavía en sí (...) La palabra Aufheben [eliminar] tiene en el idioma [alemán] un doble sentido: significa tanto la idea de conservar, mantener, como, al mismo tiempo, la de hacer cesar, poner fin. El mismo conservar ya incluye en sí el aspecto negativo, en cuanto se saca algo de su inmediación y por lo tanto de una existencia abierta, a las acciones exteriores, a fin de mantenerlo. De este modo lo que se ha eliminado es a la vez algo conservado, que ha perdido sólo su inmediación, pero que no por esto se halla anulado. Las mencionadas dos determinaciones del Aufheben [eliminar] pueden ser aducidas lexicológicamente como dos significados de esta palabra. Pero debería resultar sorprendente a este respecto que un idioma haya llegado al punto de utilizar una sola y misma palabra para dos determinaciones opuestas. Para el pensamiento especulativo es una alegría el encontrar en un idioma palabras que tienen en sí mismas un sentido especulativo; y el idioma alemán posee muchas de tales palabras. El doble sentido de la palabra latina *tollere* (que se ha hecho famoso por la chanza de Cicerón: *tollendum esse Octavium*, Octavio debe ser levantado-eliminado) no llega tan lejos; la determinación afirmativa llega sólo hasta el levantar. Algo es eliminado sólo en cuanto ha llegado a ponerse en la unidad con su opuesto; en esta determinación, más exacta que, algo reflejado, puede con razón ser llamado un momento. El peso y la distancia respecto de un punto dado se llaman en la balanza los momentos mecánicos de ella a causa de la identidad de su efecto, no obstante, todas las demás diferencias que hay entre algo real, como es un peso, y algo ideal, como la pura determinación espacial, es decir, la línea³²¹. Más a menudo todavía se nos va a imponer la observación de que el lenguaje técnico de la filosofía emplea para las determinaciones reflejadas expresiones latinas, o porque el idioma materno no tiene ninguna expresión para ellas, o bien porque aun cuando las tenga, como en este caso, su expresión recuerda más lo inmediato, y la lengua

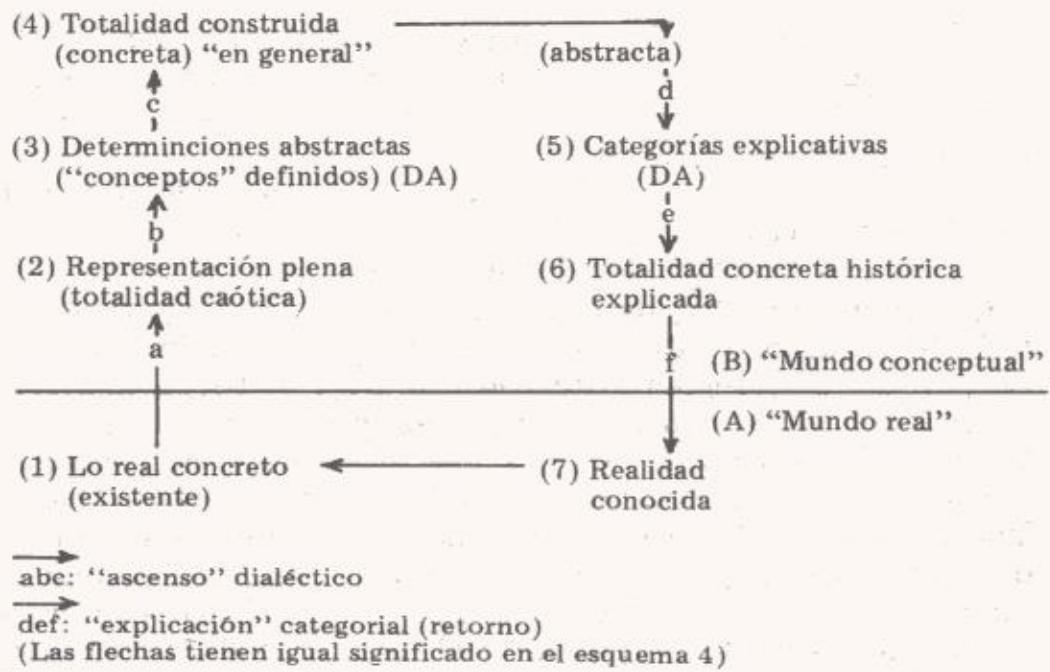
³²¹ Para expandir sobre esto, puede consultarse la sección § 261 de la *Enciclopedia de las ciencias filosóficas* de Hegel.

extranjera, en cambio, más lo reflejado (...) El sentido y la expresión más exactos que el ser y la nada reciben puesto que desde ahora son momentos tienen que ser presentados (más adelante) en la consideración del ser determinado, como la unidad en la cual ellos son conservados. El ser es el ser y la nada es la nada sólo en su diversidad mutua; pero en su verdad, en su unidad han desaparecido como tales determinaciones y ahora son algo distinto. El ser y la nada son lo mismo y por este ser lo mismo, ya no son el ser y la nada y tienen una determinación diferente. Esta unidad constituye ahora su base; de donde ya no han de salir hacia el significado abstracto de ser y nada." (Hegel F. , 1968, págs. 97-98).

El proceso de aprehensión de los fenómenos (sean de índole social o natural) hecho antes por Hegel es, en su versión materialista, la herramienta analítica más importante de la teoría marxista del conocimiento³²², la cual está compuesta a nivel técnico-operativo por dos etapas conocidas como *ascensión dialéctica y viaje de retorno*.

Figura 60: Ascensión Dialéctica y Retorno

³²² Por supuesto, tras la ingeniería inversa a ella realizada por Marx.



Fuente: (Dussel, 1991, pág. 50).

Como señala (Dussel, 1991, pág. 50), para Marx era muy importante distinguir claramente entre la realidad y lo pensado, ya que el espectro hegeliano estaba siempre en el horizonte³²³: El todo, tal como aparece en la cabeza como todo del pensar, es un producto de la cabeza que piensa. Para Kant la representación (*Vorstellung*) “es el acto del conocer un objeto por categorías”. No es exactamente así para Marx. El conocer por “representación” es un acto cognitivo inicial, ingenuo, primero, pleno de sentido, pero confuso, caótico. A partir de la “representación” originaria comienza su acción –productiva de conocimiento– la abstracción, como momento analítico de la razón: tendría una representación caótica de la totalidad y, por medio de determinaciones más precisas, llegaría analíticamente (*analytisch*) a conceptos cada vez más simples, pero ¿qué tan simples?

³²³ Aquí Dussel parece buscar implicar que, tomando de referencia al Marx intelectualmente maduro, la conciencia filosófica pasada de Marx era hegeliana, mientras que su conciencia filosófica presente, que era materialista, perseguía a su conciencia filosófica pasada. Considero que es adecuada tal aseveración.

En el trabajo empírico realizado en el campo de la Estadística, usualmente se tiene interés en explicar los datos de la forma más simple, lo cual en el contexto de la teoría de las probabilidades (especialmente en la teoría bayesiana de probabilidades) se conoce como *principio de parsimonia*, el cual está inspirado en el principio filosófico conocido como navaja de Ockham, la cual establece que en igualdad de condiciones la explicación más simple suele ser la más probable. El principio de parsimonia adopta diferentes formas según el área de estudio del análisis inferencial en el que se encuentre un investigador. Por ejemplo, una parametrización parsimoniosa es aquella que usa el número óptimo de parámetros para explicar el conjunto de datos de los que se dispone (donde el proceso de optimización se estructura de tal manera que existe una penalización, explícita en el modelo matemático, que incrementa con el número de parámetros utilizados), así como también “parsimonia” puede referirse a modelos de regresión parsimoniosos, es decir, modelos que utilizan como criterio de optimización emplear la mínima cantidad de coeficientes de regresión para explicar una respuesta condicional Y (también con una penalización implícita de la misma índole). El principio de parsimonia, los procesos matemáticos de optimización regidos por el criterio de alcanzar un mínimo y la navaja de Ockham son un mismo tipo de lógica aplicado en escalas de la existencia cualitativamente diferentes.

¿Cómo es posible la vinculación en distintas escalas cualitativas de la realidad con el principio de la navaja de Ockham? A la génesis materialista de las ideas de Ockham: todas esas ideas responden a la escuela filosófica de Ockham, que era la escuela nominalista. Retomando lo que señalan (Rosental & Iudin, 1971, pág. 341), el nominalismo fue una corriente de la filosofía medieval que consideraba (ya es una escuela extinta) que los conceptos generales tan sólo son nombres de los objetos singulares. Los nominalistas afirmaban que sólo poseen existencia real las cosas en sí, con sus cualidades individuales (es decir, las generalizaciones para ellos no tenían valor gnoseológico en sí mismas sino como recurso gnoseológico).

Los nominalistas van más allá, planteando que las generalizaciones no sólo no existen con independencia de los objetos particulares (esta afirmación es correcta, lo que no es correcto es pensar que lo inverso sí es cierto), sino que ni siquiera reflejan las propiedades y cualidades de las cosas. El nominalismo se hallaba indisolublemente vinculado a las tendencias materialistas, ya que reconocía la prioridad de la cosa y el carácter secundario del concepto. Por supuesto, las generalizaciones, aunque menos reales que los objetos particulares (y de ahí la sujeción de la teoría a la práctica en un concepto que las une conocido en la teoría marxista como praxis) no dejan por ello de ser reales en cuanto son una representación aproximada (a largo plazo cada vez más aproximada a medida se desarrollan las fuerzas productivas) de la estructura general que tienen tales o cuales fenómenos naturales o sociales. Marx señaló que el nominalismo fue la primera expresión del materialismo de la Edad Media. Con todo, los nominalistas no comprendían que los conceptos generales reflejan cualidades reales de cosas que existen objetivamente y que las cosas singulares no pueden separarse de lo general, pues lo contienen en sí mismas; esto no tiene un carácter únicamente marxista, sino que incluso el célebre formalista David Hilbert señaló, según la célebre biógrafa de matemáticos Constance Reid que “El arte de hacer matemáticas consiste en encontrar ese caso especial el cual contiene todos los gérmenes de la generalidad”. Así, el defecto fundamental de la navaja de Ockham es el no considerar algún conjunto de restricciones que complementen al criterio de selección de la explicación basado en que sea la idea más simple. Como se señala en **Fuente especificada no válida.**, en química, la navaja de Occam es a menudo una heurística importante al desarrollar un modelo de mecanismo de reacción, sin embargo, aunque es útil como heurística en el desarrollo de modelos de mecanismos de reacción, se ha demostrado que falla como criterio para seleccionar entre algunos modelos seleccionados entre los publicados en diferentes investigaciones científicas. En este contexto, el propio Einstein expresó cautela cuando formuló la *restricción de Einstein*: “Difícilmente se puede negar que el

objetivo supremo de toda teoría es hacer que los elementos básicos irreductibles sean tan simples y tan pocos como sea posible sin tener que renunciar a la representación adecuada de un dato único de experiencia.” La clave en la expresión anterior de Einstein es “sin tener que renunciar a”, lo que se cristaliza nítidamente en una frase que señala la fuente citada es atribuida a Einstein, pero no ha sido posible su verificación: “Todo debe mantenerse lo más simple posible, pero no lo más simple”. En general, existe un *trade-off* entre la bondad de ajuste de un modelo y la parsimonia: los modelos de baja parsimonia (es decir, modelos con muchos parámetros) tienden a tener un mejor ajuste que los modelos de alta parsimonia, por lo que es necesario buscar un equilibrio. Desde la perspectiva operativa del trabajo empírico de la Estadística, la parsimonia estadística es deseada porque un mínimo de coeficientes de regresión implica un mínimo de variables y un mínimo de estos implica un mínimo de variables explicativas, lo que puede ser útil en casos de que exista colinealidad entre las variables explicativas, así como también permite ahorrar tiempo y dinero en lo relativo a la inversión de recursos destinada al estudio, aunque no necesariamente garantice que en general (considerando el impacto posterior de las decisiones tomadas con base en el estudio y otros factores) se ahorre tiempo y dinero. En suma, el nivel de simpleza tiene límites bien definidos y variará según el caso concreto que se estudie en función de las particularidades concretas del fenómeno analizado.

Establecido qué tan simple deberán ser las categorías, es posible y necesario retomar la explicación de la aplicación de la teoría marxista del conocimiento. Como señala (Dussel, 1991, pág. 51), el acto de la abstracción es analítico, en el sentido que separa de la “representación plena”³²⁴ uno a uno sus múltiples

³²⁴ “Imagen generalizada, sensorialmente evidente de los objetos y fenómenos de la realidad; se conservan y reproducen en la conciencia sin que los propios objetos y fenómenos actúen directamente sobre los órganos de los sentidos. En la representación del ser humano, se fija y se conserva lo que objetivamente se convierte en patrimonio de los individuos gracias a la actividad práctica. Aunque es una forma del reflejo sensorial del individuo, la representación (...) se halla indisolublemente vinculada a significaciones socialmente elaboradas, es mediada por el lenguaje, está llena de contenido social y es siempre captada por el pensamiento, por la conciencia. La

contenidos noéticos (momentos de la realidad de la cosa misma); separa una *parte* del todo y la considera como *todo*. El considerar una “parte” como “todo” por la capacidad conceptiva de la inteligencia, es la esencia de la abstracción. Como acto, la abstracción separa analíticamente; como objeto o contenido, la abstracción produce una “determinación abstracta”. La “determinación” es un momento real de la cosa, pero en tanto ese momento se abstrae (se separa analíticamente) es ahora un concepto que “reproduce” lo real (“reproducción [Reproduktion] de lo concreto”); es ahora un momento del pensamiento, un momento de la realidad conceptuada. La abstracción (flecha *b* del esquema 5) no separa directamente la determinación de lo real concreto (nivel 1), sino de la “representación” ya conocida (nivel 2). Por ello la representación (flecha *a*) es anterior a la abstracción (flecha *b*), y la representación (nivel 2) es el punto de partida de la determinación abstracta (nivel 3). De esta manera la representación es “volatilizada” en la determinación abstracta; como representación plena desaparece, es negada metódicamente (por el momento), analíticamente. Es en este sentido que se establece que “La abstracción de la categoría trabajo, el trabajo en general, el trabajo *sans phrase* (...) es el punto de partida de la economía moderna.” Las determinaciones se abstraen, pero

representación constituye un elemento necesario de la conciencia, pues vincula sin cesar la significación y el sentido (significación y sentido) de los conceptos con las imágenes de las cosas, a la vez que permite a la conciencia operar libremente con las imágenes sensoriales de los objetos.” (Rosental & Iudin, 1971, pág. 401). La evidencia empírica tomada únicamente como representación plena es un rasgo distintivo del empirismo, como bien señalaba Dussel, pero también lo es, en cierta medida, del positivismo, que es un híbrido entre empirismo extremo y fenomenalismo [que significa que su teoría del conocimiento es basada en la tesis de que únicamente las sensaciones son objeto inmediato del conocer (Rosental & Iudin, 1971, p. 171)] en lo relativo a su núcleo: en lo relativo a la construcción de las leyes históricas generales del desarrollo de la sociedad (sin embargo, en general se trata de bajo qué criterios gnoseológicos se construyen las leyes que rigen las dinámicas de los sistemas complejos) y en lo relativo a sus concepciones sobre la lógica; es de especial interés resaltar que del fenomenalismo no se hace referencia a un sistema ontológico o metafísico porque para dicha corriente filosófica el ser como tal, es decir, las esencias de los objetos (y ni hablar de la esencia de la existencia en general), son incognoscibles (Rosental & Iudin, Diccionario filosófico abreviado, 1959, págs. 183-184), al igual que para el conocimiento instrumental (que proviene de los instrumentos de medición, que en el caso de los logicistas es en última instancia la matemática como lógica, es decir, como lógica formal), este último nacido en el sistema kantiano (Kant, quien a su vez retoma del sistema aristotélico la lógica formal como lógica más importante -aunque no por equiparar forma y contenido como Aristóteles, sino por considerar la esencia inaprehensible como el empirismo, por lo cual Hegel acertadamente señalaría, básicamente, que el conocimiento instrumental es empirismo sofisticado-).

igualmente se “producen”. Se producen o construyen en cuanto a la claridad y precisión de sus contenidos noéticos (en cuanto a la percepción intelectual directa e intuitiva de las mismas). Se trata de un trabajo teórico (no de una práctica teórica, sino de una producción teórica), y por ello en el plan primitivo de la obra de Marx, la primera acción era estudiar “las determinaciones abstractas generales (*die allgemein abstrakten Bestimmungen*) que corresponden (...) a todas las formas de sociedad”. El estudio o investigación de las determinaciones, sean simples o complejas, por análisis, es el primer momento del método teórico para Marx (ya que la mera representación es un momento del conocimiento cotidiano, precientífico, predialéctico). Así, se constata cómo en el análisis marxista se exige la disciplina del pensar metódico.

Asimismo, (Dussel, 1991, págs. 52-54) señala que una vez que las determinaciones abstractas han sido definidas o “fijadas” acontece el momento dialéctico por esencia, que consiste siempre en un “elevarse” o “ascender”. Esta “ascensión” (flecha *c* del esquema 5) parte de lo abstracto y construye la totalidad concreta (que sin embargo será abstracta con respecto a los momentos posteriores del método, en su movimiento de “retorno” y “descenso”). El método dialéctico consiste en un saber situar a la “parte” en el “todo”, como acto inverso del efectuado por la abstracción analítica. La abstracción parte de la representación (todo pleno) y llega a la determinación abstracta (clara pero simple). El acto dialéctico parte de la determinación abstracta y construye sintéticamente una totalidad –concreta con respecto a la determinación, abstracta con respecto a la “totalidad concreta explicada” (nivel 6 del esquema 5): “Lo concreto es concreto porque es la síntesis (*Zusammenfassung*) de múltiples determinaciones, por lo tanto, unidad de lo diverso”. Ésta había sido la conclusión de sus previas reflexiones sobre la producción, cuando escribía que el “resultado” al que se llegaba es que, aunque la producción, la distribución, el intercambio y el consumo no son idénticos, sin embargo “constituyen las articulaciones de una totalidad, diferenciaciones dentro de una unidad”. El movimiento dialéctico es por ello un momento del pensar en

general, por el que “se eleva de lo simple a lo complejo”. Lo simple es, por ejemplo, la producción (determinación que puede por su parte ser descrita en sus determinaciones esenciales en sí). Pero al ir elaborando las relaciones mutuamente constitutivas de la producción con el consumo primero, con la distribución posteriormente, y por último con el intercambio, se construyó así un todo donde las cuatro determinaciones constituían una nueva totalidad con mutuas co-determinaciones. Marx se había “elevado” así de lo simple (la producción) a una totalidad de múltiples determinaciones (cf. esquema 2). Marx tiene conciencia de que se trata de una construcción: “La totalidad concreta, como totalidad del pensamiento, como un concreto del pensamiento, es *in fact* un producto del pensar (*Produkt des Denkens*) y del conceptuar, pero de ninguna manera es un producto del concepto... sino que, por el contrario, es un producto del trabajo de elaboración que transforma intuiciones y representaciones en conceptos”. La “construcción” dialéctica obedece a un doble movimiento. Por una parte, maneja las determinaciones (claramente definidas como “conceptos”, ellos mismos “construidos” en cuanto esencia pensada con determinaciones internas) y las relaciona mutuamente entre sí (producción-consumo p.ej.), co-determinándose mutuamente. De esta manera los “opuestos” se co-definen. En un segundo momento, se constituye sintéticamente con ellos una nueva totalidad que adquiere autonomía (es la totalidad articulada con múltiples determinaciones). Llegado a este nivel concreto lo que antes aparecía como opuesto (producción y consumo), ahora forman parte de una “unidad” que los comprende y explica. La totalidad concreta es lo complejo. Lo simple es la de-terminación (que puede llegar al nivel de concepto), como el trabajo, la división del trabajo, la necesidad, el valor de cambio. Con todas ellas, dialécticamente, se asciende hasta las totalidades concretas, tales como: “... el Estado, el intercambio entre naciones y el mercado mundial” –reténgase, para la cuestión del “plan” de la obra, el orden de las totalidades concretas. El “mercado mundial” (*Weltmarkt*) aparece así como el último horizonte concreto (nivel 4 del esquema 5); como una totalidad construida

teóricamente. Llegado a este punto es necesario “descender”, nos dice Marx textualmente: “Llegado a este punto, habría que reemprender el viaje de retorno, hasta dar de nuevo con la población, pero esta vez no se tendría una representación caótica de un conjunto, sino una rica totalidad con múltiples determinaciones y relaciones”, es decir, reintroducir progresiva y sistemáticamente todos aquellos componentes de los cuales se hizo abstracción en las etapas anteriores, más no lineal y/o mecánicamente, sino de acuerdo a los principios antes establecidos de la lógica dialéctica. A nivel rigurosamente operativo, como señala Dussel, este “retorno” (*ruckwärts*) (que serían las flechas *d* y *e* del esquema 5) no se deja ver claramente en la descripción de Marx. De la misma manera, plantea Dussel que la “totalidad concreta” pareciera ser, por una parte, la “totalidad construida” (concreta con respecto a las determinaciones) o la “totalidad histórica concreta” (la primera, nivel 4, y la segunda, el nivel 6, del esquema 5. A manera de ejemplo plantea Dussel que cuando se dice que “la sociedad burguesa es la más compleja y desarrollada organización histórica de la producción” se está refiriendo Marx a una totalidad concreta histórica y real; pero en tanto conocida y explicada, se trataría de un nivel de complejidad mayor (nivel 6) que la totalidad construida inicialmente (nivel 4). Adelantándose en el tiempo (Dussel está estudiando los *Grundrisse*), en *El Capital*, las determinaciones simples (trabajo, división del trabajo, etc.) permitirían construir la totalidad concreta con múltiples determinaciones que es “el capital en general”. Desde esa totalidad concreta (pero al mismo tiempo abstracta con respecto a la sociedad burguesa), a la que por “ascenso” se ha llegado (tomo I de *El capital*), se explicaría la totalidad de la sociedad burguesa (nivel 6), por “descenso”³²⁵.

³²⁵ Señalará Dussel en el mismo lugar, probablemente sin terminarse de desprender de un cierto espíritu apriorístico, que: “Todo esto habrá que ir aclarándolo a medida que el discurso avance en los *Grundrisse*. De todas maneras, pensamos que las reflexiones de Marx sobre el método en el Cuaderno M no son un tratado de metodología, son más bien reflexiones al “correr de la pluma”. Se ven demasiados sobrentendidos, demasiados aspectos no explicados. En fin, se habla de un “movimiento” dialéctico general, pero quedan muchas oscuridades de detalle.” A pesar de ello,

Evidentemente, aunque a falta de una rigurosa y profunda investigación al respecto es probable que las inquietudes de Dussel expresen deficiencias en algunos aspectos operativos (los señalados) en la teoría marxista del conocimiento, es probable también que esto no sea posible de determinar apriorísticamente debido a la naturaleza aplicada del materialismo dialéctico. Lo anterior puede ejemplificarse, viajando en el tiempo al igual que Dussel, en *El Capital*. En el prólogo de la obra señala (Marx, 2010, pág. XXIII) que: Claro está que el método de exposición debe distinguirse formalmente del método de investigación. La investigación ha de tenderse a asimilar en detalle la materia investigada, a analizar sus diversas formas de desarrollo y a descubrir sus nexos internos. Sólo después de coronada esta labor, puede el investigador proceder a exponer adecuadamente el movimiento real. Y si sabe hacerlo y consigue reflejar idealmente en la exposición la vida de la materia, cabe siempre la posibilidad de que se tenga la impresión de estar ante una construcción *a priori*." La cita anterior permite evidenciar que las construcciones teóricas marxistas no son categorías apriorísticas, sino que son lo concreto pensado (en el sentido antes explicado), aunque puedan dar la impresión de ser apriorísticas.

Así como Enrique Dussel analiza de forma general estos aspectos metodológicos de los *Grundrisse*, Mark Rosenthal los analiza en cuanto a su aplicación en *El Capital*. Ambos análisis son ejemplos de cómo se debe aplicar la lógica del *aufheben* en el proceso de análisis de los fenómenos sociales y/o naturales (recuérdese esta superación ocurre entre lo universal y lo particular, no contempla explícitamente lo singular -si lo pudiese contemplar de tal, se estaría frente a categorías apriorísticas y no quedaría más remedio que recurrir a una gnoseología instrumental como la de Kant-), lo que además implica un criterio para descartar del análisis determinados aspectos o fenómenos por diversas razones (con la finalidad de

señalará en el mismo lugar el autor que "Sin embargo, las líneas generales del discurso han quedado definidas."

obtener un relato general y coherente -el paradigma-, mientras que las singularidades que no se ajustan a tal relato pasan a conformar investigaciones particulares con la finalidad de que en algún momento puedan pasar a formar parte del mismo -como ocurre y ha ocurrido a lo largo de la historia en todas las ciencias, tanto formales como aplicadas-) y un criterio de reordenación de los hechos (que permita re-expresar el proceso histórico como proceso lógico); específicamente, el análisis de Rosental (relativo al proceso de transformación de los valores en precios de producción) proporciona pinceladas para la construcción de un criterio de ordenamiento para de hechos históricos, no de la eliminación (exclusión).

Señalará (Rosental M. , Los problemas de la dialéctica en "El Capital" de Marx, 1961, pág. 366) entonces que el precio de producción hace aparecer en forma muy confusa el valor incluido en las mercancías producidas. El valor y el precio de producción son los dos polos extremos de la investigación: el primero fue descubierto como el grado de una abstracción llevada muy lejos, muy alejada de la forma concreta de los fenómenos; el segundo, como el grado superior de la reproducción de lo concreto. El primero es el esqueleto, la base del segundo. La categoría de precio de producción "reviste" este esqueleto, esta base, con la carne y la sangre de los fenómenos reales en toda su complejidad viva. Entre estos dos polos existe una larga y difícil ascensión de lo abstracto a lo concreto³²⁶, pero gracias a esta ascensión pudo aportar Marx una solución a los enigmas que habían hecho capitular a la antigua economía política burguesa. Sean cuales fueren las

³²⁶ Esto se debe a que Marx, dada la producción científica fundacional de la escuela clásica (y explícita e implícitamente de los economistas que sentaron las bases a lo largo del tiempo para que naciera y floreciera la escuela clásica), la cual constituyó a la economía política como ciencia en pleno derecho, usó la información disponible en la época (datos enviados por Engels sobre la explotación de la fuerza de trabajo en sus fábricas, informes de los inspectores fabriles sobre las condiciones de trabajo y otros aspectos relacionados a la producción capitalista de la época, datos de los historiadores sobre las relaciones económicas y comerciales entre centro-periferia, datos citados en los trabajos académicos, etc.) de manera complementaria a dicha producción científica. Por ello, la parte del proceso de gnoseológico en la que se enfocó Marx fue en lo fundamental la parte del viaje de retorno (a pesar de que todo proceso gnoseológico riguroso usa, con diferente intensidad, ambas etapas), es decir, en ir de lo abstracto a lo concreto pensado.

envolturas concretas del valor de la plusvalía, sólo gracias al método de la elevación de lo abstracto a lo concreto las reconocemos con facilidad en todas sus complejas metamorfosis.

En relación a la tasa media de ganancia, que se encuentra íntimamente vinculada a los precios de producción, señala (Rosental M. , Los problemas de la dialéctica en "El Capital" de Marx, 1961, págs. 376-377) que, en la marcha del análisis científico, la formación de la tasa media de ganancia aparece teniendo como punto de partida los capitales industriales y su concurrencia, siendo luego corregida, completada y modificada por obra de la interposición del capital comercial. En la trayectoria del desarrollo histórico, las cosas ocurren exactamente a la inversa. Es el capital comercial el que más o menos determina primeramente los precios de las mercancías y sus valores, siendo en la esfera de la circulación que sirve de vehículo al proceso de reproducción, donde se forma una cuota general de ganancia." Se entiende que, si Marx se permitió tales "apartamientos" en relación con la línea fundamental del desarrollo histórico, no lo hizo sin tener serios motivos para ello. El análisis de estos últimos demostrará que el método lógico o analítico de investigación no es un simple reflejo de lo histórico, sino que, como lo dice Engels, es un reflejo "rectificado" según las leyes de la propia realidad histórica:

Quienquiera haga caso omiso de las leyes, de la esencia de los fenómenos, no podrá dar más que una descripción superficial de su evolución ni logrará superar el nivel de la observación, aunque a veces ésta sea penetrante. La reproducción del proceso histórico en el pensamiento pierde toda su fuerza si no se basa en el conocimiento de las leyes motrices del proceso histórico. Se entiende con facilidad el misterio de la acumulación primitiva si ya se ha descubierto la esencia del modo de producción capitalista. Pero si esta última es desconocida, la exposición de la prehistoria del capitalismo se limitará a una descripción exterior de los acontecimientos de este período. Estos se nos aparecerán entonces como un amontonamiento caótico, privado de toda lógica interna. Se comprende, desde este punto de vista, por qué renunció Marx aquí a la sucesión histórica de los

acontecimientos y comenzó por precisar la esencia del modo de producción capitalista, para sólo esclarecer luego el misterio de la acumulación primitiva del capital. Como lo estableció antes, la esencia del capital reside en la explotación por el capitalista, detentador de los medios de producción, de los obreros, privados de estos medios. Por consiguiente, para que el capital pueda aparecer y existir fue necesario todo un período histórico, en el cruce del cual la propiedad fue arrancada en forma gradual de mano de los propietarios directos y en el que los productores fueron separados de la propiedad. Tal es la esencia, la ley de la acumulación primitiva del capital. El estudio lógico de este problema exigía que los materiales fuesen dispuestos en un orden diametralmente opuesto al desarrollo histórico real."

Complementariamente a lo antes expuesto, puede retomarse lo señalado por (Dussel, 1991, págs. 56-57) y afirmar que "No se trata de que las categorías o el orden del pensar produzcan la realidad (Hegel). No se trata de pensar que la realidad se manifiesta ya claramente en la representación plena (empirismo). No se trata tampoco de confundir el orden del pensar (categorías) con el de la realidad (en esto tiene razón Proudhon cuando distingue ambos órdenes). Pero tampoco debe pensarse que ambos órdenes están absolutamente separados, lo que determinaría que el orden de la sucesión o movimiento de las categorías es efecto del puro orden del pensar (idealismo, al fin). Pero tampoco puede pensarse que el orden de las categorías está determinado por su aparición en la historia (primero las categorías más antiguas y posteriormente las más modernas). No. El orden de las categorías (orden del pensar teórico, que surge de la realidad, pero no se confunde con la realidad) debe estar determinado por su posición sincrónica y esencial en la moderna sociedad capitalista. De esta manera el orden de las categorías (aunque sea un orden teórico) reconstituye la realidad en un orden abstracto, surgiendo desde la misma realidad (no desde las ideas). Pero la realidad a la cual el orden de las categorías hace referencia es la totalidad concreta, con múltiples determinaciones, que es la moderna sociedad burguesa. Veamos esto por

partes. En primer lugar, las categorías no son puras ideas que surgen de las ideas; ni son la realidad misma: "Las categorías económicas (...) expresan formas de ser (*Daseinsformen*), determinaciones de existencia (*Existenzbestimmungen*), a menudo simples aspectos de esta sociedad determinada". Lo real ("la moderna sociedad burguesa en este caso es algo dado tanto en la realidad (*Wirklichkeit*) como en la cabeza") es el punto de partida de la abstracción. En lo real las determinaciones son momentos de su existencia, formas de ser de la misma sociedad. En cuanto abstractas son ya fruto de un acto analítico de separación metódica. Las determinaciones abstractas en tanto definidas son "conceptos", y en cuanto "instrumentos" o "mediaciones" interpretativas son categorías. El orden que guardan entre sí las categorías es el mismo orden real que guardan las determinaciones como momento de la realidad de la sociedad burguesa concreta. Por otra parte, al comprender la realidad de la sociedad burguesa comprendo al mismo tiempo la realidad de las sociedades anteriores menos complejas. Pero, y es esencial, no puede confundirse la estructura de la sociedad burguesa con el "orden natural" de la economía válida para todas las épocas –es el fetichismo en el que caen los economistas burgueses: "La sociedad burguesa es la más compleja y desarrollada organización histórica de la producción. Las categorías que expresan (*ausdrücken*) sus condiciones y la comprensión de su organización permiten al mismo tiempo comprender la organización y las relaciones de producción de todas las formas de sociedad pasadas (...) [Sin embargo] ellas pueden contener esas formas de un modo desarrollado, atrofiado, caricaturizado, etc., pero la diferencia será siempre esencial (*wesentlichem Unterschied*)" (...)"

Lo anterior puede sintetizarse, con base en (Rosenthal M. , Los problemas de la dialéctica en "El Capital" de Marx, 1961, págs. 289-291), tres momentos fundamentales:

1. Luego del contacto directo con la realidad, ésta se nos aparece como una masa de fenómenos y de objetos singulares, a primera vista carentes de vinculaciones mutuas, caótica, etc. La importancia de la abstracción

científica reside en el hecho de que, según la expresión de Marx, arroja luz sobre la unidad de estos fenómenos, sobre lo que tienen de idénticos. Por ejemplo, en la diversidad de los fenómenos de la naturaleza, el pensamiento establece, por la vía de la abstracción, su conexión interna, su unidad, su elemento común. Esta unidad es el hecho de que todos son materiales, son manifestaciones de la materia en su evolución. Los conceptos que resumen los resultados de esta abstracción son "reducciones", formas que expresan las propiedades comunes de una multitud de cosas diferentes. La historia de la ciencia atestigua la importancia de las abstracciones como "reducciones" de este tipo. Por ejemplo, antes de que la ciencia elaborara la noción abstracta de materia, cosa que permitió reducir los múltiples fenómenos de la naturaleza a la materia y a las diversas formas de su movimiento, la naturaleza era dividida artificialmente en "cualidades" particulares, en "sustancia imponderable", etc. Sólo la noción abstracta de materia permitió establecer la unidad, la comunidad de todos los fenómenos y procesos de la naturaleza, reducirlos a su esencia más general y extirpar de la ciencia las "sustancias" misteriosas e incognoscibles. La abstracción considera, pues, lo que es común a una multitud de cosas singulares. Sin embargo, la abstracción científica no se interesa en la totalidad de los elementos comunes, sino sólo en los que expresan la esencia, la causa de los fenómenos concretos. Por lo tanto, la abstracción permite al conocimiento reducir toda la multiplicidad y la diversidad de los fenómenos a su esencia y entender sus propiedades y sus aspectos decisivos, fundamentales.

2. La visión directa de la realidad hace creer que ésta está henchida de casualidades, que todo está sometido a modificaciones y a fluctuaciones accidentales, y que no existe en esta sucesión de fenómenos nada estable ni duradero. La importancia de la abstracción científica, según Marx, reside en el hecho de que por detrás de la contingencia permite percibir la necesidad, la ley que determina el curso objetivo del desarrollo y de las modificaciones.

La unidad y la universalidad descubiertas por el pensamiento, por medio de las abstracciones, en la masa de los fenómenos, no son otra cosa que la ley de estos últimos, el elemento relativamente duradero y estable que se conserva y se manifiesta en la infinidad de las cosas y de los procesos. "La forma de la universalidad de la naturaleza -dice Engels- es la ley (...)" Por ejemplo, la ley de la conservación y de la transformación de la energía es una forma de universalidad, porque es el elemento necesario y regular sobre el cual se basan las formas más concretas de los movimientos, de las modificaciones, de las transformaciones que se cumplen en la materia. Del mismo modo, la ley del valor es la forma de la universalidad en el mundo de la producción mercantil, porque es la necesidad que se manifiesta de una o de otra manera en los movimientos y los cambios más diversos que en ella tienen lugar.

3. El resultado de los dos primeros puntos es que la fuerza de abstracción es una fuerza de generalización, y que ésta se efectúa separando lo no esencial, lo contingente, lo particular, lo concreto, para tener sólo en cuenta el elemento común y esencial, propio de la masa de los fenómenos singulares. De tal modo, haciendo abstracción del hecho de que las mercancías intercambiadas la una por la otra, son fundamentalmente distintas, Marx descubrió por generalización el elemento único y esencial que constituye el contenido de estas cosas singulares: su valor. Por consiguiente, por medio de la generalización se descubren las leyes de los fenómenos, y las abstracciones científicas son el instrumento de esta generalización. De así su fuerza."

Adicionalmente, se señala en el mismo lugar que "(...) Marx, cita, asimismo, ejemplos de otro orden, que demuestran que las relaciones económicas más desarrolladas pueden existir y existen en ausencia del dinero; se trata, en especial, de la cooperación, de la división del trabajo, etc. Al respecto agrega que las categorías más sencillas sólo se manifiestan plenamente en una etapa superior del

desarrollo histórico. Su demostración toma como ejemplo el trabajo abstracto. Esta categoría era conocida en la antigüedad, pero sólo en la sociedad burguesa, cuando recae sobre el trabajo en general, y no sobre sus formas concretas, un papel decisivo, y cuando un trabajo determinado se torna "accidental y por consiguiente indiferente" para el individuo, la categoría del trabajo en general se convierte en "prácticamente verdadera"." (Rosental M. , Los problemas de la dialéctica en "El Capital" de Marx, 1961, pág. 370).

Así, señala (Rosental M. , Los problemas de la dialéctica en "El Capital" de Marx, 1961, pág. 371), que la respuesta que da Marx al problema de la correlación entre lo lógico y lo histórico se reduce a decir que la marcha ascendente del pensamiento de lo abstracto a lo concreto debe reflejar en su conjunto los grandes lineamientos del proceso histórico real. Pero no se trata de un reflejo simple, fotográfico; es un reflejo complejo, que incluye la etapa consistente en apartarse de la reproducción exacta del proceso histórico.

Complementariamente al punto anterior, señala (Rosental M. , Los problemas de la dialéctica en "El Capital" de Marx, 1961, pág. 371) la posición de Engels al respecto: "Engels da la misma respuesta (...) Habla de los métodos lógico e histórico de investigación. Como indica que, en sus grandes lineamientos, el desarrollo histórico va en general de las relaciones más simples a las más complicadas, se podría creer a primera vista que el método justo consiste en seguir lo más cerca posible el proceso de este desarrollo. Pero en la práctica este método obligaría a repetir todos los "saltos y zigzagueos" de la historia, y entonces resultaría difícil descubrir la lógica del desarrollo; el avance del pensamiento se interrumpiría a menudo. Aquí, dice Engels, sólo el método lógico es aceptable. El método lógico de investigación busca, según Engels, conocer la lógica interna del desarrollo de un fenómeno dado. ¿Se sigue de ello que el método lógico sea diametralmente opuesto al método histórico? En modo alguno. Engels indica que en rigor no es más que "(...) el método histórico, despojado únicamente de su forma histórica y

de las contingencias perturbadoras. Allí donde comienza esta historia debe comenzar también el proceso discursivo, y el desarrollo ulterior de éste no será más que la imagen refleja, en forma abstracta y teóricamente consecuente, de la trayectoria histórica; una imagen refleja corregida, pero corregida con arreglo a las leyes que brinda la propia trayectoria histórica; y así, cada factor puede estudiarse en el punto de desarrollo de su plena madurez, en su forma clásica."(...)"

Por supuesto, se despoja de su forma histórica precisamente para eliminar sus contingencias perturbadoras. Esto sigue la misma lógica, por ejemplo, que cuando en el procesamiento de datos se escalan las observaciones con base en el logaritmo natural para eliminar o mitigar el problema de varianza variable en el conjunto de datos estudiado.

Así, señala (Rosental M. , Los problemas de la dialéctica en "El Capital" de Marx, 1961, pág. 372) que "En nuestra marcha ascendente de lo abstracto a lo concreto debemos, por consiguiente, seguir la evolución histórica real de las relaciones económicas. Por otra parte, sería un error creer que el análisis teórico debe considerar las categorías económico-nómicas únicamente en el orden dictado por el curso del desarrollo histórico. Marx y Engels estimaban que, de los dos métodos posibles, el método lógico de estudio de la producción capitalista era el único admisible. Por lo demás, el punto de vista lógico y el punto de vista histórico no aparecen para ellos como dos caminos independientes, sino como dos caminos indisolublemente vinculados al método de estudio que llamaron lógico o analítico."

III.V. I. Las Ideas Científicas como Forma de la Conciencia Social

¿Qué es la ideología? Como señalan (Rosental & Iudin, 1971, págs. 232-233), la ideología es el sistema de concepciones e ideas políticas, jurídicas, morales, estéticas, religiosas, filosóficas y demás formas de manifestación de la conciencia de los individuos dentro de una sociedad humana. La ideología forma parte de la

superestructura y como tal refleja, en última instancia, las relaciones económicas existentes en un momento histórico determinado³²⁷.

³²⁷ Como señalan (Rosental & Iudin, 1971, págs. 39-40), al concepto *superestructura* se encuentra estrechamente vinculado el concepto de *base económica*. La superestructura, que es fruto y reflejo de la base económica, no se reduce a constituir algo pasivo e inoperante, sino que desempeña un activo papel en el proceso histórico e influye en todos los aspectos de tal proceso, incluso sobre la economía que la engendra, es decir, aunque la base determina a la superestructura en última instancia, existe una relación de retroalimentación, de dependencia recíproca entre ambos conceptos. En la sociedad basada en la propiedad privada, la base y la superestructura poseen una estructura antagónica. En la sociedad capitalista, por ejemplo, se sostiene una encarnizada lucha ideológica entre la burguesía y el proletariado, entre las concepciones políticas, morales, filosóficas etc., de estas dos clases antagónicamente enfrentadas. La naturaleza antagónica de la superestructura en la sociedad dividida en clases condiciona asimismo el papel contradictorio que desempeñan las ideologías de las distintas clases en su relación con la base económica. Por ejemplo, mientras que, en la sociedad capitalista la superestructura política burguesa (con ideas burguesas sobre la libertad, la igualdad, etc.) se halla orientada al servicio activo de la base económica del capitalismo, la ideología y organizaciones proletarias se hallan dirigidas hacia el derrocamiento revolucionario del capitalismo y hacia la liquidación de sus bases económicas. Así, la teoría marxista de la base y de la superestructura pone de manifiesto el nexo que existe entre las relaciones económicas de una sociedad y todas las demás relaciones de esta. Se da el nombre de base al conjunto de las relaciones de producción que constituyen la estructura económica de la sociedad. Los conceptos *base* y *relaciones sociales de producción* son equivalentes, pero no idénticos, puesto que el concepto de relaciones de producción está ligado al de las fuerzas productivas del trabajo que dispone la sociedad en el momento histórico estudiado. Por su parte, el concepto de base, en cambio, está ligado al de superestructura. Forman parte de la superestructura las ideas (ideología), organizaciones e instituciones. Por consiguiente, conforman parte de la superestructura las concepciones políticas, jurídicas, morales, estéticas, religiosas, filosóficas y demás concepciones de la sociedad humana, también denominadas *formas de la conciencia social*, es decir, las formas en que se manifiesta la conciencia de los individuos dentro de una sociedad humana históricamente condicionada. Como señalan (Rosental & Iudin, 1971, págs. 193-194), todas las formas de la conciencia social reflejan de uno u otro modo las relaciones económicas, la estructura económica de la sociedad: unas lo hacen de manera inmediata, como por ejemplo las formas de la conciencia política y jurídica; otras lo hacen de manera mediata, como por ejemplo el arte y la filosofía. Estas últimas se hallan vinculadas a la base económica a través de eslabones como la política, etc. Las relaciones de superestructura incluyen en sí mismas las relaciones ideológicas. A diferencia de las relaciones de producción, que se forman independientemente de la conciencia de las personas, las relaciones ideológicas pasan por la conciencia antes de constituirse como tales. Los fenómenos de la superestructura determinados por la base poseen una relativa independencia en su desarrollo. Cada forma de conciencia social lleva consigo determinadas organizaciones e instituciones: con las ideas políticas se hallan relacionados los partidos políticos; con las ideas políticas y jurídicas, las instituciones estatales; con las ideas religiosas, la Iglesia y las organizaciones eclesiásticas, etc. A manera de generalización de lo antes expuesto, señala (Frolov, 1984, págs. 185-186) que las distintas formas de la conciencia social reflejan los diversos campos y aspectos de la realidad (por ejemplo, las ideas políticas reflejan las relaciones entre las clases, las naciones y los Estados y constituyen la base de los programas políticos que se realizan en las acciones de las clases y los grupos sociales; en la ciencia se conocen las leyes concretas de la naturaleza y la sociedad; en la religión se refleja fantásticamente el hecho de que los hombres dependen de las fuerzas naturales y, luego, también de las sociales, que dominan sobre ellos, etc.).

Como señalan (Rosental & Iudin, 1971, págs. 193-194), cada formación económico-social tiene una base determinada³²⁸ y su correspondiente superestructura. Por consiguiente, cada forma de la conciencia posee un objeto peculiar de reflejo y se caracteriza, asimismo, por su forma especial de reflejar (por ejemplo, concepto científico, norma moral, imagen artística, dogma religioso). La riqueza y la complejidad del mundo objetivo sólo crea la posibilidad de que aparezcan distintas formas de conciencia social. Tal posibilidad se convierte en realidad sobre la base de la necesidad social concreta.

Así, la ciencia nace únicamente cuando la simple acumulación de experiencia y de conocimientos empíricos resulta insuficiente para el avance de la producción social; las concepciones e ideas políticas y jurídicas surgieron, al aparecer las clases y el Estado, para fundamentar y consolidar las relaciones de dominio y subordinación, etc. En cada formación económico-social, todas las formas de la conciencia están concatenadas entre sí, y en su conjunto constituyen la vida espiritual de una sociedad humana determinada. La peculiaridad de las necesidades sociales que dan origen a tales o cuales formas de conciencia social, determina asimismo el papel histórico concreto que tales formas desempeñan en la vida y desarrollo de la sociedad.

A la lucha de los intereses de clase en la sociedad de clases antagónicas, corresponde la lucha ideológica. La ideología puede constituir un reflejo verdadero o falso de la realidad, puede ser científica o no científica. Los intereses de las clases reaccionarias³²⁹ dan origen a una ideología falsa; los intereses de las clases

³²⁸ Su modo de producción, que como se vio antes está conformado por las relaciones sociales de producción y las fuerzas productivas del trabajo, ambas históricamente condicionadas.

³²⁹ Clases sociales que ejercen una resistencia activa al progreso social en aras de conservar y fortalecer un orden social progresivamente caduco, *i.e.*, en aras de conservar y fortalecer un viejo orden de cosas en la sociedad humana. Las características típicas de la reacción política es su lucha contra los movimientos revolucionarios, movimientos sociales (no necesariamente revolucionarios), contra la instauración de verdaderas democracias (donde el poder fácticamente resida en la voluntad popular y no sólo formalmente como preciosismo jurídico), contra los movimientos de libertad nacional (por ejemplo, los movimientos por la independencia de Puerto Rico), así como también la erradicación sistemática y progresiva de los derechos individuales (especialmente los

progresivas, revolucionarias, contribuyen a la formación de una ideología científica, vinculada por tanto al progreso histórico de las sociedades humanas³³⁰.

La ideología, condicionada en su desarrollo por la economía, posee al mismo tiempo cierta independencia relativa. Esta última se refleja, particularmente, en el hecho de que por regla general no es posible dar una explicación directamente económica del contenido de una ideología, en el hecho de que existe cierta desigualdad entre el desarrollo económico y el ideológico³³¹. Esta independencia relativa resulta más manifiesta en la acción de las leyes intrínsecas del desarrollo ideológico que no pueden reducirse directamente a la economía, en aquellas

relativos a la lucha social). Los mecanismos utilizados por la reacción política son diversos y están históricamente condicionados, sin embargo, son siempre de carácter dictatorial, por cuanto una dictadura es el escenario político en que, dadas determinadas clases sociales (cuyos intereses son por definición antagónicos, *i.e.*, irreconciliables por vías que no impliquen la aniquilación de una por la otra), una de ellas (históricamente ha existido, dada una formación económica-social, unicidad en la clase dominante, *i.e.*, sólo ha sido una) le impone a la otra (u otras) sus intereses, con independencia del medio utilizado para ello (lo que implica que puede ser “con guante de seda”, por ejemplo, como plantea Adolf Huxley en *Un Mundo Feliz* o con métodos menos eficientes como por ejemplo los que plantea George Orwell en 1984). Como señalan (Rosental & Iudin, 1971, pág. 244), el interés de clase es la orientación dirigida a un fin de pensamientos y acciones que refleja las necesidades materiales y espirituales de un grupo social antagónicamente enfrentado a otro (cuyos intereses son, pues, distintos). En una sociedad dividida en clases sólo pueden ser intereses de la sociedad los de las clases que son expresión de la necesidad histórico-natural del proceso evolutivo de la sociedad humana. El interés se revela bajo el aspecto de aspiraciones e inclinaciones, pero, junto a sus aspectos subjetivos contiene siempre otros aspectos objetivos a los cuales, en última instancia, están subordinados. El interés de clase, como regla, está objetivamente dado, pues se determina por las condiciones de vida y por la naturaleza de tal o cual grupo social, de la comunidad histórica. Sólo constituyen una excepción los intereses de las asociaciones voluntarias que surgen como resultado de los deseos y propósitos. Mas incluso el interés de tales agrupaciones y los intereses personales llevan el sello propio de los individuos que pertenecen a determinadas clases y de las condiciones de existencia de estas. Cuando imperan las relaciones basadas en la propiedad privada y los antagonismos de clase, los intereses de distintos grupos sociales, lo mismo que los de personas aisladas, con frecuencia no sólo no coinciden, sino que, además, se contradicen entre sí; frente a los intereses de la sociedad, entran en contradicción con los intereses de la sociedad no sólo los intereses personales, sino también los intereses de clase reaccionarios. Sólo con el tránsito hacia una sociedad sin clases se crean las condiciones para la profunda unidad de los intereses entre todos los miembros de la sociedad, surgiendo con ello la base objetiva y material para la correspondencia armónica entre los intereses personales y los sociales.

³³⁰ Esto quedará patente en la investigación sobre la teleología de la existencia en general para la cual esta investigación servirá de insumo.

³³¹ Esto es congruente con lo que señalaba Lewontin con relación al reduccionismo en el estudio de los fenómenos sociales cuando se intentan explicar de manera inmediata por los factores económicos, cuando la determinación que de ellos hace la base económica es en no pocas ni triviales ocasiones a través de un proceso mediato (que implica mediación, es decir, eslabones intermedios).

esferas ideológicas que se encuentran más alejadas de la base económica. La relativa independencia de la ideología se explica por el hecho de que sobre la evolución ideológica ejercen influencia accesoria varios factores de orden extraeconómico: concatenación sucesiva interna en el desarrollo de la ideología, papel personal de tales o cuales ideólogos, interinfluencia de diversas formas ideológicas, etc.

De lo anterior se desprende que las concepciones filosóficas, como lo hacen todas las formas de conciencia social, reflejan de uno u otro modo las relaciones económicas, la estructura económica de la sociedad humana. Sin embargo, puesto que tales relaciones económicas son, en una sociedad de clases, antagónicas, y por consiguiente generan determinados intereses de clase expresados ideológicamente en las concepciones políticas de la sociedad, existe un vínculo mediato y complejo entre las concepciones filosóficas y las concepciones políticas, donde estas últimas, en última instancia, determinan a las primeras.

Lo anterior se pone de manifiesto, por ejemplo, en la configuración misma del capitalismo como formación económico-social. Es ampliamente conocido que el período ideológico conocido como *Ilustración* inspiró profundos cambios sociales y culturales, siendo uno de los más radicales la revolución burguesa culminada con la toma de La Bastilla en 1789. Sin embargo, no sólo la revolución burguesa misma requería de determinadas condiciones materiales de existencia para realizarse³³², sino que el mismo movimiento ideológico denominado Ilustración no fue más que el resultado de las reflexiones filosóficas sobre las transformaciones objetivas que

³³² Antes de la revolución burguesa, hubo varios levantamientos del campesinado contra los señores feudales, que fueron aplacados por la fuerza. Además, también hubo levantamientos por parte de ciertos miembros de la nobleza y determinados parlamentos provinciales entre 1787 y 1788 (algunos historiadores le llaman *prerrevolución francesa*, otros prefieren llamarle *rebelión nobiliaria o aristocrática* o *reacción nobiliaria o aristocrática*, términos indudablemente de mayor rigor técnico e histórico). Estos levantamientos, tanto campesinos como nobiliarios, contribuyeron a generar las condiciones materiales, tanto objetivas como subjetivas (espirituales) para la revolución burguesa de 1789. Las luchas de hoy forjan las armas que empuñarán los luchadores del mañana.

se estaban gestando en el seno de las sociedades feudales a medida, dentro de este mismo seno, nacía y se desarrollaba el modo de producción capitalista.

Lo anterior se afirma a causa de la conjunción lógica de los siguientes hechos históricos. El primer hecho histórico es que, como señala (Marx, 2010, pág. 609), fue en Italia donde primero se desarrolla la producción capitalista y, por consiguiente, es también ahí donde antes declina la servidumbre. El siervo italiano se emancipa antes de haber podido adquirir por prescripción ningún derecho sobre el suelo. Por eso su emancipación le convierte directamente en proletario libre y privado de medios de vida, que además se encuentra ya con el nuevo señor hecho y derecho en la mayoría de las ciudades, procedentes del tiempo de los romanos. Al operarse, desde fines del siglo XV, la revolución del mercado mundial que arranca la supremacía comercial al norte de Italia, se produjo un movimiento en sentido inverso. Los obreros de las ciudades se vieron empujados en masa hacia el campo, donde imprimieron en la pequeña agricultura ahí dominante, explotada según los métodos de la horticultura³³³, un impulso jamás conocido previamente.

El segundo hecho histórico es que en Italia surgió un movimiento cultural y filosófico en la segunda mitad del siglo XVII (1600-1699) que anticipó a la Ilustración francesa en el siglo XVIII (1700-1799), conocido precisamente como *Ilustración Italiana*, cuyos principales centros de difusión fueron Nápoles (destacando aquí Mario Pagano) y Milán (destacando Pietro Verri y Cesare Beccaria). Siempre en el marco del siglo XVII, anticipando incluso a los pensadores ilustrados de Nápoles e Italia, hubo pensadores definidos por los historiadores

³³³ Marx está haciendo referencia aquí que, a pesar de que la técnica productiva no cambió [era pequeña agricultura explotada según los métodos de la horticultura, no sobre métodos modernos de agricultura (la horticultura proviene de la transición del nomadismo al semisedentarismo, aunque evidentemente con la evolución tecnológica también ha evolucionado en sus métodos, más no era el caso para el siglo XV)], el nuevo tipo de relaciones de producción (capitalistas) entre los dueños de los medios de producción (de la tierra y de los instrumentos para trabajarla) y los despojados de tales medios impulsó en una escala jamás vista la agricultura. Con ello, Marx está ejemplificando el impacto productivo que tuvo el modo de producción capitalista, incluso sólo considerándose las relaciones sociales de producción que implicaba, no aún el desarrollo tecnológico posterior que tales relaciones de producción permitieron.

como *preilustrados* (por ejemplo, Giambattista Vico). Lo anterior ocurre en conjunto con un tercer hecho histórico, que es la importante migración de artistas italianos a Francia entre 1650 y 1789³³⁴, lo cual evidentemente tuvo una influencia relevante en las ideas de la Ilustración francesa³³⁵, además de la que tuvo la propia Ilustración y Preilustración italiana antes mencionada.

³³⁴ Como señala (DE LA GORCE, 2022), a partir de mediados del siglo XVII y hasta la Revolución Francesa, numerosos talentos nacidos en el norte o centro de Italia se vieron obligados a abandonar su país para ejercer sus profesiones en otros estados europeos. Este fenómeno, indicativo del declive económico y cultural de estas regiones ultramontanas, fue especialmente notable en Francia hacia 1650 gracias a Mazarino, que se había convertido en primer ministro, pero también durante la Regencia gracias a Ana de Austria. Fue durante este período que los pintores, arquitectos, diseñadores de escenarios, compositores y cantantes vinieron a París desde Bolonia, Modena, Venecia, Florencia o Roma. Disfrutaron de un éxito notable a partir de 1645 en París y en otros lugares donde residía la corte. Este entorno favorable para el desarrollo de su carrera motivó a algunos de ellos a quedarse en Francia. Este no era un deseo nuevo, ya que, a principios del siglo XVII, el florentino Tommaso Francini, un ingeniero hidráulico y mecánico, asignado a los ballets por autorización de Luis XIII, se había establecido allí. Esto permitió que su hijo François sirviera como fontanero en Versalles bajo el nombre de Francine. Ciertos especialistas, habiendo recibido capacitación como "ingeniero" en Italia, podría corresponder a las necesidades del Tribunal de Bourbon y, por lo tanto, estar en demanda. Este fue el caso de los artífices (nombre dado a los hábiles artesanos o inventores), así como los decoradores para el teatro o las celebraciones de diversa índole. En el mundo de las representaciones, también hay que destacar a los autores y actores de la ópera, el género dramático ultramontano por excelencia, cuya introducción en Francia fue impulsada por el cardenal Mazarino. Consultese la fuente referida para conocer más detalles sobre esta importante migración.

³³⁵ Como señala (Pruiksma, 2021), influyentes análisis de los ballets burlescos realizados en la corte de Luis XIII sostienen que los ballets funcionaron como espacio de expresión de la resistencia noble a la monarquía absolutista de Luis XIII y su primer ministro, el cardenal Richelieu. Un análisis más detallado de los contextos históricos reales y las identidades de los bailarines nobles involucrados con respecto a algunos de los lujosos ballets burlescos realizados en la corte por el rey y un grupo selecto de nobles ofrece, según la autora referida, formas de repensar la política y los significados de la actuación burlesca a tener en cuenta, así como también las formas en que el burlesque se desarrolló dentro de la corte y las instituciones y prácticas culturales de la nobleza de la época. El registro y el estilo burlesco en Francia, sostiene la autora, pueden situarse en el contexto de la cultura literaria libertina y su intersección con los nobles que se movían entre los círculos mundanos y cortesanos a principios del siglo XVII. Los lujosos ballets burlescos producidos en la corte entre 1625 y 1635 involucraron a miembros de la nobleza cuidadosamente elegidos que bailaron junto al rey, entre ellos y bailarines profesionales. Incluso un breve examen de tres ballets de este período (*Fées des forêts de Saint-Germain*, *Grand bal de la Douairière de Billebahaut* y *Ballet des Triomphes*) demuestra que los organizadores del ballet de la corte para estos ballets reales eran plenamente conscientes de las tensiones entre las diferentes facciones políticas. facciones; las asignaciones de roles y los textos de ballet y paratextos [en la interpretación literaria, el paratexto es el material que rodea un texto principal publicado (por ejemplo, la historia, la descripción de no ficción, poemas, etc.) proporcionado por los autores, editores, impresores y editores] sugieren que estos ballets proporcionaron un espacio para la afirmación sutil pero constante del poder y las prerrogativas reales, incluso cuando se presentan bajo la apariencia de

Como señalan (Rosental & Iudin, 1971, pág. 234), la Ilustración fue, en general, una corriente político-social cuyos representantes procuraban eliminar las insuficiencias de la sociedad existente, modificar las costumbres, la política y el género de vida difundiendo las ideas del bien, de la justicia, los conocimientos científicos.

En la base de esta corriente se encuentra la concepción idealista sobre el papel determinante de la conciencia en el desarrollo de la sociedad, el deseo de explicar los vicios sociales por la ignorancia de las personas, por la incomprendición que éstas tengan de su propia naturaleza. Los pensadores de la Ilustración no tomaban en consideración el valor decisivo de las condiciones económicas del desarrollo; por ende, no pudieron llegar a descubrir las leyes, de carácter objetivo, que regían la sociedad de su época y las sociedades en general³³⁶.

Dirigían sus exhortaciones a todas las clases y capas de la sociedad y, ante todo, a los poderosos. La Ilustración se difundió grandemente en el periodo en que se preparaban las revoluciones burguesas. Figuras de la Ilustración fueron Voltaire, Rousseau, Montesquieu, Herder, Lessing, Schiller, Goethe, Desnitski, Kozielski y muchos otros. La Ilustración contribuyó en gran medida a socavar la influencia de la ideología eclesiástica y feudal, que eran precisamente los enemigos económicos y políticos de la burguesía naciente. Los pensadores de la Ilustración lucharon enérgicamente no sólo contra la Iglesia, sino, además, contra el dogmatismo

juego y recreación. Adicionalmente, es relevante señalar lo indicado por la autora antes referida con relación a que lo que los eruditos modernos han etiquetado como "burlesco". Las fuentes del siglo XVII llamaron "grotesco", cuando se hacía referencia a "burlesco". Sin embargo, ambos términos comparten orígenes italianos y asociaciones con un registro satírico y cómico que tenía el potencial de transgredir las normas de honnêtéte (honestidad). Aunque el grado y la naturaleza de la transgresión y lo que se estaba transgrediendo no siempre es claro (lo mismo ocurre en el contenido posterior de obras literarias que incluyeron "burlesque" en sus títulos publicados o subtítulos), lo relevante aquí son las raíces italianas del arte francés y la expresión de dicho arte como crítica al poder político de entonces.

³³⁶ No debe entenderse aquí por esto leyes ahistoricas concretas, sino las leyes más generales del movimiento (las que establece el materialismo dialéctico) aplicadas al desarrollo histórico de las sociedades humanas, las cuales tendrán características concretas diferentes en función de la realidad concreta a la cual se apliquen.

religioso, contra los métodos escolásticos del pensar. La Ilustración influyó sensiblemente sobre la formación de las concepciones sociológicas del siglo XVIII; sus ideas dejaron huella, asimismo, en los socialistas utópicos (los cuales a su vez influyeron en el pensamiento político de Marx y Engels) y en los populistas rusos³³⁷.

Por ello, como señala (Frolov, 1984, págs. 222-223), de lo anterior se explica el afán de absolutizar las diferencias y contraponer la ciencia y la ideología, los intentos de “desideologizar” la ciencia y la filosofía, que de hecho se reducen solo a separarlas de la lucha de clases y menoscabar el papel del marxismo en la comprensión de la existencia en general, especialmente de la existencia social de los seres humanos.

III.V. II. El Papel de las Ideas Filosóficas en la Producción Científica

III.V. II. I. El Papel de la Filosofía en la Física Teórica Moderna

Señala (Kumar, 2009, pág. 172) que “Para explicar cómo un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno formaron una molécula de dióxido de carbono, los átomos se dibujaron con ganchos y ojos para que pudieran colgarse juntos. Heisenberg encontró la idea de electrones en órbita dentro del átomo cuántico igualmente inverosímil. Ahora abandonó cualquier intento de visualizar lo que estaba pasando dentro de un átomo. Decidió ignorar cualquier cosa que fuera inobservable, enfocando su atención solo en aquellas cantidades que podían medirse en el laboratorio: las frecuencias e intensidades de las líneas espectrales asociadas con la luz emitida o absorbida cuando un electrón saltaba de un nivel de energía a otro. Incluso antes de que Heisenberg adoptara esta nueva estrategia, Pauli ya había expresado sus dudas sobre la utilidad de las órbitas de los electrones más de un año antes. ‘Me parece que la pregunta más importante es esta: ¿hasta qué punto se

³³⁷ Aquí hacen referencia los filósofos soviéticos al populismo tal como lo entendió Lenin a causa del surgimiento de un movimiento con tal nombre la Rusia de su época. Este movimiento era una ideología de la democracia campesina pequeñoburguesa rusa. Los rasgos específicos del populismo como variedad de la ideología democrática son: 1) quimeras socialistas, esperanzas de eludir la vía del capitalismo, creer que se podría evitar; 2) propugnar un cambio radical de las relaciones agrarias. Véase (Rosental & Iudin, 1971, pág. 368).

puede hablar de órbitas definidas de electrones en estados estacionarios?', había escrito en cursiva a Bohr en febrero de 1924. A pesar de que estaba bien encaminado por senda que conducía al principio de exclusión, y preocupado por el cierre de las capas de electrones, Pauli, sin embargo, respondió a su propia pregunta en otra carta a Bohr en diciembre: 'No debemos atar átomos en las cadenas de nuestros prejuicios, a lo que, en mi opinión, también pertenece la suposición de que las órbitas de los electrones existen en el sentido de la mecánica ordinaria, pero debemos, por el contrario, adaptar nuestros conceptos a la experiencia física.' Los físicos tenían que liberarse. *El primero en hacerlo fue Heisenberg cuando adoptó pragmáticamente el credo positivista* de que la ciencia debe basarse en hechos observables e intentó construir una teoría basada únicamente en las cantidades observables."

Posteriormente, a Heisenberg se agregarían otros científicos de la época como Bohr, Heisenberg, Weizsäcker, Jordan y demás miembros que conformarían la escuela de Filosofía de la Física conocida *escuela de Copenhague*³³⁸, que realizaría una interpretación positivista de los problemas filosóficos de la mecánica cuántica y, tras los largos debates suscitados alrededor de la interpretación de la dualidad onda-partícula que los enfrentó a interpretaciones materialistas o tendientes al materialismo (denominadas en el contexto de ese debate como *realistas*), esta escuela, en la figura de Bohr y sus disputas frente a Albert Einstein (este como

³³⁸ Como señalan (Rosental & Iudin, 1971, págs. 87-88), el grupo se formó a fines de la década de 1920 en Copenhague, en el Instituto de Física Teórica, dirigido por Bohr. A varios físicos de dicha escuela, ante todo a Bohr y a Heisenberg, les corresponden grandes méritos en la formación y desarrollo de la mecánica cuántica, en la interpretación de sus elementos matemáticos y de los datos experimentales. Sin embargo, en la posición filosófica de esta escuela, en sus formulaciones subjetivistas, ante todo de su primera época se percibe una gran influencia del neopositivismo. Algunos representantes de la escuela, concibiendo erróneamente el papel del instrumento en el microcosmo como "perturbación incontrolable" hablaban de la "quiebra de la causalidad", del "libre albedrío" del electrón, etc. Tales concepciones fueron sometidas a crítica por parte de físicos soviéticos (Serguéi Vavílov, Vladímir Fok, Dmitri Blojintsev, etc.) y de otros países (Einstein, Schrödinger, Podolsky, Rosen, Langevin, etc.). Posteriormente, la escuela de Copenhague dejó de constituir como escuela un todo íntegro. Por ejemplo, Jordan y Weizsäcker mantuvieron hasta sus últimos días sus viejas concepciones positivistas, Heisenberg se terminó inclinando hacia el idealismo objetivo y Bohr se aproximó a la concepción materialista en varios problemas filosóficos de la mecánica cuántica.

representante de los *realistas*), impuso su cosmovisión en la comunidad científica de físicos y con ello se convirtió en la visión dominante de la mecánica cuántica que moldeó hasta la raíz la comprensión moderna de la física³³⁹ y, con ello, orientó el curso de las investigaciones hasta el día de hoy.

Pueden considerarse como prueba de lo antes expuesto la autodescripción de Stephen Hawking como científico. Así, el físico estadounidense manifiesta que “Cualquier teoría científica seria, sobre el tiempo o cualquier otro concepto, debería en mi opinión estar basada en la forma más operativa de filosofía de la ciencia: la perspectiva positivista propuesta por Karl Popper y otros. Según esta forma de pensar, una teoría científica es un modelo matemático que describe y codifica las observaciones que realizamos (...) Si adoptamos la perspectiva positivista, como yo hago, no podemos decir qué es realmente el tiempo. Todo lo que podemos hacer es describir lo que hemos visto que constituye un excelente modelo matemático del tiempo y decir a qué predicciones conduce (...) Debo decir que, personalmente, me he resistido a creer en dimensiones adicionales. Pero como soy un positivista, la pregunta «¿existen realmente dimensiones adicionales?» no tiene ningún significado para mí.” (Hawking, 2003, págs. 31-54). Una situación similar, por poner otro ejemplo, acaece con Roger Penrose, quien además de positivista abraza el platonismo matemático³⁴⁰.

Como puede observarse, desde Heisenberg hasta Stephen Hawking e incluso más allá, la visión filosófica de la comunidad de físicos es lo que ha determinado el curso de las investigaciones científicas en dicho campo.

³³⁹ Esto es ampliamente reconocido, por ejemplo, en prestigiosas enciclopedias de alta difusión como Wikipedia o la Enciclopedia Británica, véase la entrada de la primera titulada “Bohr-Einstein debates” y la entrada de la segunda titulada “Learn about Niels Bohr and the difference of opinion between Bohr and Albert Einstein on quantum mechanics”. Sin embargo, también está documentado en literatura especializada, por ejemplo, la citada por la entrada de Wikipedia mencionada.

³⁴⁰ Véase (Murphy, 2020).

III. V. II. I. Crítica Filosófica al Neopositivismo de la Física Teórica Moderna

En 1934 Karl Popper publicaría *La Lógica de la Investigación Científica*, en la que, como señalan (Rosental & Iudin, 1971, págs. 375-376) y (Frolov, 1984, págs. 442-443), se planteó como principio de verificación que la veracidad de toda aseveración relativa al mundo ha de ser establecida, en último término, confrontando la aseveración dada con los datos sensoriales. Tal como fue formulado por el Círculo de Viena, el principio de verificación descansa sobre la tesis de que el conocimiento, por su naturaleza, no puede rebasar los límites de la experiencia sensorial (en donde se manifiestan sus influencias positivistas e instrumentales), lo que lo convierte en una visión filosófica oscilante entre el empirismo de Hume y el conocimiento instrumental de Kant. Además, se diferencia la verificabilidad directa de las aseveraciones con que se describen directamente los datos de la experiencia y la verificabilidad indirecta por medio de la reducción lógica de una proposición cualquiera a proposiciones directamente verificables, con lo que se establece una visión ecléctica de la ciencia (en cuanto retoma principios filosóficos de diferentes escuelas que son esencialmente antagónicas) y que ante su incapacidad de conjuntar orgánicamente la teoría con la práctica, se ve obligada a separar en dos esferas independientes las etapas de la investigación científica. Este eclecticismo se manifiesta nítidamente en que es la teoría de las cuerdas la teoría con la que actualmente comulga la mayor parte de la comunidad de físicos y que permite una mejor explicación general conjunta de los postulados teóricos de la mecánica cuántica y la relatividad general, sin embargo, hasta la fecha no existe una sola evidencia experimental directa que certifique como verdad a la teoría de las cuerdas, lo que le ha valido la crítica de diversos filósofos neopositivistas como Mario Bunge. Nueve de cada diez veces un razonamiento ecléctico se convierte en un razonamiento circular.

La evidente inconsistencia filosófica de este principio (que conduce al solipsismo y priva de sentido cognoscitivo a las aseveraciones científicas no-comprobables en la

experiencia rigurosamente inmediata³⁴¹), condujo a una crítica por parte del físico y filósofo de la ciencia estadounidense Thomas Kuhn, alrededor de la afirmación popperiana que sostiene que las teorías nunca pueden ser probadas sino sólo refutadas o *falsificadas* (criterio de falsación de Popper). Como señala (Horgan, 2021), al igual que otros críticos del trabajo de Popper de la época, Kuhn divergía en varios aspectos importantes de la filosofía popperiana, lo que lo condujo a argumentar que la falsificación no es más posible que la verificación (lo cual no es rigurosamente cierto, aunque sí es cierto que no necesariamente puede establecerse a priori para todos los casos). Así, la falsificación o verificación, según Kuhn, implican erróneamente la existencia de estándares absolutos de evidencia, que trascienden cualquier paradigma individual.

El error de Kuhn consiste en no comprender que no se trata de tener un estándar absoluto, sino un estándar que dinámicamente tienda al absoluto y que se renueve a sí mismo constantemente, aunque nunca sea absoluto o, en términos de la lógica hegeliana, un *absoluto provisional*³⁴². Lo anterior puede ser fundamentado por la misma concepción de Kuhn sobre el paradigma, en cuanto el estadounidense sostiene que un nuevo paradigma puede resolver acertijos mejor que el anterior y puede producir aplicaciones más prácticas. El error señalado (que tiene sus raíces gnoseológicas en su conocimiento instrumental Kantiano, puesto que él mismo se definió ante Horgan como kantiano neodarwiniano) lo conduce a sostener que no puede describirse a “la otra ciencia como falsa”, como dijo el mismo Kuhn en la entrevista que le realizó Horgan publicada por *Scientific American*. Además, lo lleva a sostener que la ciencia no se acerca constantemente a la verdad, que “al igual que la vida en la tierra”, la ciencia no evoluciona hacia nada, solo se aleja de algo³⁴³. Finalmente, en una muestra de su concepción kantiana, que separa la teoría de la

³⁴¹ Esto es, sin eslabones intermedios.

³⁴² Sobre esto se ampliará en la investigación en que se construya la teleología de la existencia en general de la que la presente investigación es un eslabón intermedio.

³⁴³ Si algo considero que he demostrado suficientemente en esta investigación es que la vida en la Tierra evoluciona hacia formas más complejas con la finalidad de alcanzar estabilización o, en términos filosóficos, evoluciona de contradicciones antagónicas a contradicciones no-antagónicas.

práctica, también sostiene que sin un paradigma a priori la mente no puede imponer orden en la experiencia sensorial.

Como resultado de estas críticas al positivismo desde posiciones neokantianas³⁴⁴, los positivistas lógicos se vieron obligados a aceptar una variante atenuada del principio de falsación popperiano, denominada como *falsacionismo sofisticado* por su creador Imre Lakatos (discípulo de Popper, quien denominó el principio popperiano original como *falsacionismo ingenuo*). Este falsacionismo “sofisticado” plantea que la comprobación de las proposiciones científicas por la experiencia ha de ser parcial e indirecta: en esta forma, el principio de verificación no hace más que expresar de manera inadecuada la habitual exigencia metodológica de que las proposiciones teóricas se hallen en concordancia con los hechos empíricos (aunque, es más preciso decir, de la práctica), lo cual debe conjugarse, aunque por supuesto ninguna variante de falsacionismo lo considera así, con otros factores y criterios de admisibilidad del conocimiento teórico (su fuerza heurística, sencillez lógica, etc.).

Este falsacionismo “sofisticado” es inadecuado por cuanto su búsqueda, gnoseológicamente válida, de la concordancia entre las categorías abstractas del pensamiento y la realidad objetiva es abordada siempre bajo el principio filosófico (con independencia del grado de intensidad con que se acepte tal principio³⁴⁵) de reducción del saber sobre la realidad a lo “dado inmediatamente” (y con ello, o bien renuncia a la capacidad de conocer la realidad objetiva, la cosa en sí o esencia del fenómeno de la realidad que se analice, o bien considera que las formas y las esencias son equivalentes) y termina siempre por privar de significado cognoscitivo a las afirmaciones científicas no comprobables directamente por vía experimental.

Puesto que la ciencia no se agota en los marcos teóricos de carácter formal ni en las verificaciones empíricas del mismo carácter, la alternativa planteada

³⁴⁴ Fundamentalmente las de Thomas Kuhn.

³⁴⁵ Y tal grado de intensidad es el que determina si el falsacionismo es ingenuo o “sofisticado”.

implícitamente en la obra de Marx y Engels, y desarrollada inicialmente por la escuela soviética de filosofía marxista de la ciencia, es, como se establece en (Fundación Gustavo Bueno, 2021), que la verificación es la comprobación de la verdad de una u otra expresión científica (teorías, tesis contenidas en ellas) mediante un *proceso de verificación* que comprende dos etapas.

La primera, partiendo de un determinado marco teórico de referencia, se refiere a la comprobación del valor lógico y la armoniosidad de la teoría desde el punto de vista de su no contradicitoriedad y plenitud (su lógica), la cual se ejecuta a través de la reducción³⁴⁶ de algunas expresiones teóricas a unos cuantos principios generales, de los cuales dichas expresiones se deducen como consecuencias. La segunda etapa la constituye la comprobación práctica (que es una noción más amplia que la rigurosamente experimental) de la teoría, en cuyo proceso se establece si ésta concuerda con los objetos reflejados (teoría del reflejo) con su ayuda (ontología) y si puede servir de base para obtener conocimientos acerca de los mismos (teoría del conocimiento). Tal comprobación se realiza, habitualmente, sobre la base de experimentos que se planean y aplican en correspondencia con la teoría que se comprueba. Si los resultados de los experimentos coinciden (a nivel de proceso, como se explicará a continuación) con las predicciones teóricas, se estima que la teoría ha sido verificada.

En esta tercera etapa se expresa además el tránsito de ir de la primera etapa a la segunda etapa, por cuanto ahí se conjuntan armónicamente la ontología y la lógica de manera tal que los criterios cognitivos (teoría del conocimiento o gnoseología) están condicionados por la lógica y esta a su vez está condicionada en última instancia por la ontología³⁴⁷, en una relación recíproca (es decir, multidireccional, aunque con la jerarquía tendencial señalada) que no es mecánica, lineal, apriorística ni formal.

³⁴⁶ No debe confundirse esto con el reduccionismo.

³⁴⁷ Lo que significa, en su forma más básica, que no es posible negar los hechos.

En la física teórica actual existen visiones del mundo cuántico filosóficamente válidas desde el materialismo dialéctico, que son científicas íntegramente. Esto se analiza a grandes rasgos en (Nabi, I.XIII. Principio Monista de Complementariedad (o modo monista complementario de descripción) (BORRADOR), 2022, págs. 5-15).

III.V. II. II. El Papel de la Filosofía en la Estadística, la Economía Política y la Biología Evolutiva

Se ha comprobado anteriormente cómo la ideología política determina de forma mediata a las ideas filosóficas y, además, cómo las ideas filosóficas determinan las ideas y producciones científicas para el caso concreto de la mecánica cuántica, que desde su fundación hasta la actualidad es presa del neopositivismo. Ahora se procederá a mostrar cómo la ideología política y filosófica han permeado el campo de la biología evolutiva, de la economía política y de la estadística, con énfasis particular en la primera, dada la naturaleza de esta investigación.

Seguramente para el lector no es un secreto que Karl Pearson es el fundador de la Estadística Matemática, además del coeficiente de correlación lineal que lleva su apellido y otra serie de distribuciones de probabilidad, así como también quien facilitó su laboratorio y orientó a Gossens en el camino a su descubrimiento de la distribución t de Student.

Sin embargo, quizás el lector no esté al tanto del radicalismo político de Karl Pearson, manifestado por él mismo de la siguiente manera: "Cuando llegué a Londres, leí en Chambers en Lincoln's Inn, redacté facturas de venta y me llamaron al Colegio de Abogados, pero varié estudios jurídicos dando conferencias sobre Heat en Barnes, sobre Martín Lutero en Hampstead y sobre Lassalle y Marx los domingos en congresos revolucionarios. clubes alrededor de Soho. De hecho, contribuí a los himnos del Cancionero Socialista que creo que todavía se cantan." (Pearson, 1934, pág. 20). Adicionalmente, "(...) el efecto más notable de su año alemán fue el de interesarse por la literatura alemana medieval y renacentista, especialmente por el desarrollo de ideas sobre la religión y la posición de la mujer.

Aproximadamente en este momento, comenzó a deletrear su nombre de pila con una K en lugar de una C. Esto puede haber sido un homenaje a la cultura alemana. Puede haber sido un homenaje especial a Karl Marx, porque sabemos que luego dio una conferencia sobre Marx, y su hija me dice que cuando en Alemania la policía registró una vez sus habitaciones, él consideró que uno de los libros de Marx era el más subversivo de los documentos que encontraron allí." (Haldane, Karl Pearson, 1857-1957, 1957, pág. 304). Nótese que esto ocurrió, según la misma fuente citada (y en el mismo lugar), en 1880 y fue precisamente ese año en que comenzaron las publicaciones académicas de Pearson.

Adicionalmente, con respecto a J. B. S. Haldane y Karl Pearson, señala el filósofo bayesiano metafísico³⁴⁸ que "Los escritos de Haldane, cualquiera que sea el tema ostensible, a menudo se convirtieron en adoctrinamiento político para el socialismo (...) Karl Pearson era un político radical. Haldane sugiere que pudo haber cambiado la ortografía de su nombre de 'Carl' a 'Karl' en honor a Karl Marx, y de esta oración del Centenario aprendemos que V. I. Lenin citó con aprobación a Karl

³⁴⁸ Es ampliamente conocido que Jaynes era un filósofo bayesiano, sin embargo, es menos conocido que osciló entre el Bayesianismo objetivo y el Bayesianismo subjetivo, como se puede verificar de lo expuesto por (Lavis & Milligan, 1985, pág. 195): "Para Jaynes, una distribución de probabilidad (en mecánica estadística o en cualquier otro lugar) no es completamente subjetiva, en el sentido de Ramsey o de Finetti, ni es una propiedad exclusiva del sistema bajo investigación. Más bien es un atributo, tanto del sistema como de la información que tenemos o de las observaciones que elegimos hacer (...) El aspecto conceptual del programa de Jaynes que ha causado más discusión y disputa se refiere al estado de la entropía. La controversia subjetivo-objetiva sobre la entropía es un viejo problema (...) Esta es la esencia del procedimiento de Jaynes para demostrar el aumento de entropía durante un cambio adiabático (es un tipo de proceso termodinámico que ocurre sin transferir calor o masa entre el sistema termodinámico y su entorno) usando el método de máxima entropía (un algoritmo de deconvolución -a veces abreviado MEM- que funciona minimizando una función de suavidad -"entropía"- en una imagen; un algoritmo de deconvolución es un algoritmo que es la inversión de una ecuación de convolución) (...) La dificultad con esto, como se puede ver a partir de cálculos numéricos con ejemplos simples, es que la curva de entropía se vuelve dependiente de la secuencia de tiempo elegida. En cualquier caso, esta alternativa probablemente no sería atractiva para Jaynes, para quien el estatus especial de t_0 , que ilustra la naturaleza subjetiva de su entropía en su relación con el conocimiento, probablemente no sería un problema.". Al igual que otros pensadores, cuyo caso más emblemático es Aristóteles (por cuanto este fundó la Metafísica), las posiciones filosóficas de Jaynes oscilaron entre el idealismo (aquí expresado como subjetivismo) y el materialismo (aquí expresado como materialismo, aunque no son necesariamente lo mismo -por ejemplo, Hegel era idealista y también objetivista-). Sin embargo, se terminó decantado por el idealismo (al igual que el estagirita). Por ello se tipifica aquí a Jaynes como filósofo metafísico.

Pearson. Haldane fue profesor de genética en el University College de Londres en la década de 1930, pero renunció y se mudó a la India como protesta por el hecho de que las autoridades no brindaron el apoyo financiero que él creía que su departamento necesitaba. Es fácil imaginar que esto era precisamente lo que esas autoridades, exasperadas por su preocupación por la política de izquierda en lugar de la genética, esperaban lograr³⁴⁹. Una coincidencia interesante es que la hermana de Haldane, Naomi Haldane Mitchison, se casó con un parlamentario laborista y siguió con la causa de la izquierda. James D. Watson³⁵⁰ fue un invitado en su casa en la Navidad de 1951, aproximadamente un año antes de descubrir la estructura helicoidal del ADN. Estaba tan encantado con la experiencia que su libro de 1968, *The Double Helix*, está inscrito: "Para Naomi Mitchison". (Jaynes, 2003, pág. 710).

En el mismo sentido, señala (Koonin, 2012, pág. 492) que: "La "teoría" de Oparin se interpretó en parte como respuesta a las demandas de la filosofía del "materialismo dialéctico" que fue adoctrinada en la Unión Soviética como parte de la cosmovisión marxista general y exigía explicaciones materialistas directas (en la práctica, a menudo mecanicistas y cómicamente simplificadas). para todos los fenómenos

³⁴⁹ En su rabioso anticomunismo reprimido, Jaynes pasa por alto el hecho de que Haldane produjo a partir de 1930 "Enzymes" (1930, con nuevo prólogo en 1965), "'Mathematical Darwinism: A discussion of the genetical theory of natural selection" (1931), "The Causes of Evolution" (1932), "A Contribution to the Theory of Price Fluctuations" (1934), "The Linkage between the Genes for Colour-blindness and Haemophilia in Man". Annals of Human Genetics" (1937), "A new estimate of the linkage between the genes for colourblindness and haemophilia in man" (1947), "The Laws of Nature" (1940), "New Paths in Genetics" (1941), "What is life?" (1947), "Everything Has a History" (1951), "The Origins of Life" (1954), "The Biochemistry of Genetics" (1954), "Origin of Man" (1955), "The cost of natural selection" (1957), "Natural selection in man" (1956), "Cancer's a funny thing" (1964), entre otros. Resulta evidente que lo que incomodó a sus empleadores no fue que descuidase sus investigaciones sobre genética y biología, sino que mostrara cómo el materialismo dialéctico podía dar cuenta de los hechos científicos registrados por la biología y la genética, así como las implicaciones políticas de ello. Esto fue realizado por Haldane en escritos como "Science and Philosophy" (1929), "The Inequality of Man, and Other Essays" (1932), "Human Biology and Politics" (1934), "A Dialectical Account of Evolution" (1937), "Heredity and Politics" (1938), "Reply to A.P. Lerner's Is Professor Haldane's Account of Evolution Dialectical?" (1938), "The Marxist Philosophy and the Sciences" (1939), "Preface to Engels' Dialectics of Nature" (1939), "Science and Everyday Life" (1940), "Why I am a Materialist" (1940), "Science in Peace and War" (1941), entre otros.

³⁵⁰ El descubridor principal del ADN, en coautoría con Crick. Es muy honesto intelectualmente por parte de Jaynes en señalar esto.

naturales. Quizás no sea por accidente que el primer libro breve de Oparin fuera publicado por una editorial llamada Moscow Worker (A. I. Oparin, *The Origin of Life*, Moscú: Moscow Worker, 1924). El mismo Alexander Ivanovich Oparin fue un personaje bastante odioso que tocó con éxito la melodía del Partido Comunista a lo largo de su larga y exitosa carrera, durante la cual llegó a lo más alto de la jerarquía científica soviética. Su comportamiento en la era lysenkoísta, y en particular después del pogromo genético de 1948, fue tan deplorable como parece. Por supuesto, todo esto fue pura lucha por la supervivencia, ya que Oparin entendió bastante bien la importancia de la genética y lo dejó claro tan pronto como Lysenko estuvo fuera del poder. Tuve la oportunidad de conocer a Oparin en persona en 1971, cuando recibí de sus manos un premio por el segundo lugar en las "olimpiadas" de bioquímica para estudiantes de secundaria. Daba la impresión de ser un anciano profesor bastante distante (en parte, muy probablemente debido a una discapacidad auditiva grave que no estaba bien compensada por el audífono primitivo disponible en ese momento) pero amable.³⁵¹

También es ampliamente conocido como el marxismo influyó la visión filosófica de la ciencia de Stephen Jay Gould y Richard Lewontin. Por ejemplo, (Queller, 1995, págs. 486-488) señala que “*Spandrels* (en referencia al artículo conjunto de Gould y Lewontin antes mencionado), como todo texto, sólo puede comprenderse plenamente dentro de su contexto político-cultural. En el caso de *Spandrels*, el contexto era el intento de linchamiento intelectual de una ciencia joven, la sociobiología, que en su forma más altanera pretendía dar cuenta de la naturaleza humana de maneras que eran desagradables para muchos, sobre todo para

³⁵¹ En esta investigación se ha demostrado que la “teoría” de Oparin y Haldane es una teoría en toda regla y, de hecho, la mejor teoría posible para explicar el surgimiento de la vida. Además, es necesario señalar que el Koonin omite que la misma teoría de Oparin (que fundamenta filosóficamente su lógica a cada paso, hecho que puede comprobar cualquier persona con ojos que haya leído el escrito del biólogo marxista soviético) es la que planteó Haldane, también marxista, y sin la necesidad de sobrevivir al régimen estalinista. Por supuesto, ello no contradice que muchos científicos soviéticos de la época no estuvieran al tanto de lo absurdo que era el entendimiento mecanicista de Stalin (y por extensión, de Lysenko) de la genética mendeliana a la luz del “Marxismo” (el Marxismo no es mecanicista), entre ellos por supuesto que se encontraba Oparin.

aquellos con inclinaciones marxistas (...) es su conocida devoción (la de Gould y Lewontin) por el pensamiento marxista lo que podría interpretarse como un perro de agua³⁵² (...) "How the sociobiologist got his spots" (...) Nos dice que los sociobiólogos encuentran sentido a su cultura brutal, capitalista y dominada por los hombres en su biología, y luego usan esta biología degradada para justificar la cultura."³⁵³

Richard Lewontin, junto con Richard Levins, publicaron una serie de investigaciones sobre biología evolutiva, filosofía de la biología y la relación entre política y ciencia a lo largo de su trayectoria profesional. En lo relativo a filosofía de la biología son quizás los más importantes *El Biólogo Dialéctico* y *Biology Under the Influence: Dialectical Essays on Ecology, Agriculture, and Health*.

Richard Levins, probablemente el marxista de tercera generación más brillante³⁵⁴ que existió, señaló que sus aportes fundacionales en el campo de evolución y complejidad biológica en entornos cambiantes, así como también fundó la teoría de las metapoblaciones, fueron realizados con base en la filosofía y la lógica marxista, especialmente la expuesta por Marx en el prólogo de los *Grundrisse*. Sin embargo, similar a lo ocurrido con Haldane, el programa científico de Levins en Harvard fue vulnerado políticamente por las posiciones políticas y éticas de Levins³⁵⁵, situación acaecida posteriormente a que fuera despedido de la Universidad de Puerto Rico

³⁵² Aquí Queller está haciendo referencia a la expresión en inglés "spaniel", que hace referencia a un miembro de cualquiera de varias razas de perros pequeños o medianos, en su mayoría de patas cortas, que generalmente tienen el pelo largo y ondulado, patas y cola emplumadas y orejas grandes y caídas. Aplicado al contexto de los seres humanos, esta palabra busca denotar servilismo y adulación.

³⁵³ Paréntesis agregados por mí.

³⁵⁴ Las generaciones de marxistas deben contarse en períodos de 30 años a partir de la publicación del tomo I de *El Capital* (1867), pues hasta entonces surge el marxismo como un cuerpo teórico lo suficientemente desarrollado como para poder ser considerado la filosofía bajo la cual deben abordarse las ciencias, dado que es en la obra referida en que Marx presenta al mundo por primera vez de manera aplicada el carácter científico de su pensamiento filosófico. Así, Lenin, Oparin y J. B. S. Haldane son marxistas de primera generación, mientras que Levins, Lewontin y Gould son marxistas de tercera generación.

³⁵⁵ Véase (Wikipedia, 2022).

debido a su activismo contra la guerra de Vietnam y a favor de la independencia de Puerto Rico³⁵⁶.

Finalmente, aunque bastante más evidente, la aplicación por excelencia del materialismo dialéctico se encuentra precisamente en el terreno de la economía política, cuyo procedimiento de aplicación detallan tanto Marx en el prólogo de su obra *Contribución a la Crítica de la Economía Política* como Engels en *Karl Marx: "Contribución a la Crítica de la Economía Política"*. Para el caso de Marx es ampliamente conocida la persecución política y policial que sufrió, llegando a ver cómo las clases dominantes orquestaban desde la censura y/o cierre de los periódicos donde él trabajaba hasta múltiples exilios de diferentes países.

Si el lector ha podido salir airosa del escabroso camino seguido desde el prólogo de esta investigación hasta aquí, es probable que pueda comprender la afirmación de Haldane que hago propia:

“(...) yo no creo en la verdad absoluta del Marxismo en el sentido en que algunas personas creen en los dogmas religiosos. Yo sólo creo que está lo suficientemente cerca de la verdad para hacerlo digno de apostar mi vida a él en contra de las teorías rivales.” (Haldane, *Science and Everyday Life*, 1945, pág. 257).

³⁵⁶ Como señala el biólogo marxista en cuestión, “Me botaron de la Universidad de Puerto Rico porque ahí sí tuvimos un movimiento fuerte: el movimiento contra la guerra en Vietnam, el movimiento por la independencia de Puerto Rico. Entonces en realidad éramos peligrosos; en Harvard no. No se puede imaginar que los estudiantes de ahí, los hijos de los Kennedy, los hijos de la clase de política de Chicago vayan a derrocar un régimen dominado por las corporaciones. Entonces, es un lujo para una institución así tener como adorno a profesores que están en conflicto con la agenda y con la junta de gobernadores de la institución. Así es que vivimos en varios mundos, donde quiera que vayamos entramos en relaciones tanto de cooperación como de conflicto, y para cada persona es un problema cómo navegar este terreno, cómo aceptar lo que ofrecen sin ser tragados por las normas y valores y las perspectivas de la institución.” (Levins, 2015, pág. 10).

IV. REFERENCIAS

- Aboitiz, F. (1988). Homology: a comparative or a historical concept? *Acta Biotheoretica*, 37, 27-29. Retrieved from
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3149101/>
- Acerenza, L., & Graña, M. (2006). On the Origins of a Crowded Cytoplasm. *Journal of Molecular Evolution*, 63, 583-590. Retrieved from
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17009126/>
- Agren, J. A., & Clark, A. G. (2018, Noviembre 15). Selfish genetic elements. *PLOS Genetics*, 14(11), 1-20. Retrieved from
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6237296/>
- Amnuanpol, S. (2016). Physical origin of DNA unzipping. *Journal of Biological Physics*, 69-82. Retrieved from
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4713417/pdf/10867_2015_Article_9393.pdf
- Andrei, C., Iijas, A., & Steinhardt, P. J. (2022). Rapidly descending dark energy and the end of cosmic expansion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(15), 1-4. Retrieved from
<https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.2200539119>
- APTUS PLANT TECH. (2018, Septiembre 20). L-AMINOÁCIDOS. Retrieved from
Educación: <https://aptus-holland.com/es/l-amino/>
- Bada, J. L. (2013). New insights into prebiotic chemistry from Stanley Miller's spark discharge experiments. *Chemical Society Reviews*, 42(2186), 2186-2196. Retrieved from
<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2013/cs/c3cs35433d>

Bar-Yam, Y. (2000). Formalizing the gene centered view of evolution. *Advances in Complex Systems*, 277-281. Retrieved from <https://necsi.edu/selfish-gene-theory-of-evolution-called-fatally-flawed>

Big Chemical Encyclopedia. (2022, Junio 13). *Amino acid thioesters*. Retrieved from Chemical substances, components, reactions, process design ...: https://chempedia.info/info/amino_acid_thioesters/

Biology Discussion. (2022, Junio 15). *3 Main Types of Bonds in DNA Replication*. Retrieved from Genetics: <https://www.biologydiscussion.com/dna/dna-replication/3-main-types-of-bonds-in-dna-replication-genetics/67561>

Bloch, D. (2006). *Organic Chemistry Demystified*. New York: McGraw-Hill.

Bonifacino, J. S., & Glick, B. S. (2004, Enero 24). The Mechanisms of Vesicle Budding and Fusion. *Cell*, 116, 153-166. Retrieved from [https://www.cell.com/cell/fulltext/S0092-8674\(03\)01079-1?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0092867403010791%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/cell/fulltext/S0092-8674(03)01079-1?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0092867403010791%3Fshowall%3Dtrue)

Bourque, G., Burns, K. H., Gehring, M., Gorbunova, V., Seluanov, A., Hammell, M., . . . Feschotte, C. (2018, Noviembre 19). Ten things you should know about transposable elements. *Genome Biology*, 19(199), 1-12. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6240941/>

Bruice, P. Y. (2016). *Organic Chemistry*. New Jersey: Pearson.

BYJU'S. (2022, Junio 4). *Electronegativity Chart*. Retrieved from Classification of Elements and Periodicity in Properties: <https://byjus.com/chemistry/electronegativity-chart/>

BYJU'S. (2022, Junio 4). *Quantum Numbers*. Retrieved from Chemical Bonding and Molecular Structure: https://byjus.com/chemistry/quantum-numbers/#Principal_Quantum_Number

Clark, J. (2020, Septiembre 12). *Organic Acids*. Retrieved from Chemistry.

LibreTexts:

[https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Supplemental_Modules_\(Organic_Chemistry\)/Fundamentals/Organic_Acids_and_Bases/Organic_Acids](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Supplemental_Modules_(Organic_Chemistry)/Fundamentals/Organic_Acids_and_Bases/Organic_Acids)

Clokie, M. R., Millard, A. D., Letarov, A. V., & Heaphy, S. (2011). Phages in nature.

Bacteriophage, 31-45. Retrieved from

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3109452/>

ConceptoDefinición. (2022, Junio 7). *Coacervado*. Retrieved from Ciencia:

<https://conceptodefinicion.de/coacervado/>

Cunha, Tauana Junqueira. (2014, Mayo 5). *Origins of Eukaryotes: Who are our closest relatives?* Retrieved from Harvard University:

<https://sitn.hms.harvard.edu/flash/2014/origins-of-eukaryotes-who-are-our-closest-relatives/#:~:text=While%20the%20three%2Ddomains%20hypothesis,arose%20directly%20from%20an%20Archaea.>

Davey, R. (2022, Junio 11). *What is a Protocell?* Retrieved from AZoLifeSciences:

<https://www.azolifesciences.com/article/What-is-a-Protocell.aspx>

DE LA GORCE, J. (2022, Junio 20). *Migrations of Italian Artists to France, from 1650 to 1789*. Retrieved from Digital Encyclopedia of European History:

<https://ehne.fr/en/encyclopedia/themes/arts-in-europe/migration-and-artistic-identities/migrations-italian-artists-france-1650-1789>

Dekker, J., & Misteli, T. (2015). Long-Range Chromatin Interactions. *Cold Spring*

Harbor Perspectives in Biology, 1-22. Retrieved from

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4588061/pdf/cshperspect-EPI-a019356.pdf>

Del Bianco, C., & Mansy, S. S. (2012, Julio 26). Nonreplicating Protocells. *American Chemical Society*, 45(12), 2125-2130. Retrieved from
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ar300097w>

Devaney, R. L. (2022). *An Introduction to Chaotic Dynamical Systems* (Tercera ed.). Boca Raton: CRC Press.

D'haeseleer, P. (2006). What are DNA sequence motifs? *Nature Biotechnology*, 24, 423-425. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/nbt0406-423>

Dreiling, J. M., Lewis, W., Mills, J. D., & Gay, T. J. (2016, Marzo 4). Anomalously Large Chiral Sensitivity in the Dissociative Electron Attachment of 10-Iodocamphor. *Physical Review Letters*, 1-5. Retrieved from
<https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1069&context=physicsgay>

Dussel, E. (1991). 2. El método dialéctico de lo abstracto a lo concreto (20, 41-33, 14; 21,3-31,38): (Cuaderno M. desde la página 14 del manuscrito, terminado a mediados de septiembre de 1857). In E. Dussel, *La producción teórica de Marx: un comentario a los Grundrisse* (pp. 48-63). México D.F.: Siglo XXI Editores.
Retrieved from
<http://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/otros/20120424094653/3cap2.pdf>

Efimov, A. V. (2018). Chirality and Handedness of Protein Structures. *Biochemistry*, 58, 223-240. Retrieved from
<https://link.springer.com/article/10.1134/S0006297918140092>

Efron, B. (1978). Controversies in the Foundations of Statistics. *The American Mathematical Monthly*, 231-246.

Ellis, R. J. (2001, Octubre). Macromolecular crowding: obvious but underappreciated. *TRENDS in Biochemical Sciences*, 26(10), 597-604.
Retrieved from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11590012/>

Encyclopaedia Britannica. (2022, Mayo 30). *gene*. Retrieved from Heredity:

<https://www.britannica.com/science/gene>

Encyclopedia Britannica. (2022, Junio 15). *DNA sequencing*. Retrieved from genetics:

<https://www.britannica.com/science/DNA-sequencing>

Encyclopedia Britannica. (2022, Junio 4). *electric polarization*. Retrieved from physics: <https://www.britannica.com/science/electric-polarization>

Encyclopedia Britannica. (2022, Junio 7). *lysis*. Retrieved from biological process:

<https://www.britannica.com/science/lysogeny>

Encyclopedia Britannica. (2022, Junio 7). *lysogeny*. Retrieved from microbiology:

<https://www.britannica.com/science/lysogeny>

Encyclopedia Britannica. (2022, Junio 19). *transposons*. Retrieved from genetics:

<https://www.britannica.com/science/genetic-code>

Encyclopedia.com. (2022, Junio 10). *allometric growth*. Retrieved from A Dictionary of Biology: <https://www.encyclopedia.com/science/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/allometric-growth#:~:text=allometric%20growth%20The%20regular%20and,of%20the%20organism%2C%20%CE%B1%20%3D%20growth>

Falconer, D. S., & Mackay, T. F. (1997). *Introduction to Quantitative Genetics*. Harlow:

Addison Wesley Longman Limited. Retrieved from

<https://p303.zlibcdn.com/dtoken/31d11918b1aca4f8da7c4bd459f38c56>

Fernández, J. E. (2007). El Significado de la Fórmula "Ser del Comienzo" en la

Ciencia de la Lógica de Hegel. *Revista de Filosofía de Santa Fe*(15), 99-111.

Retrieved from <http://www.scielo.org.ar/pdf/topicos/n15/n15a06.pdf>

Frolov, I. T. (1984). *Diccionario de filosofía*. (O. Razinkov, Trans.) Moscú: Editorial

Progreso. Retrieved from <http://filosofia.org/>

- Fu, T., Lyu, Y., Liu, H., Peng, R., Zhang, X., Ye, M., & Tan, W. (2018, Mayo 21). DNA-Based Dynamic Reaction Networks. *Trends in Biochemical Sciences*, 43(7), 547-560. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6522144/>
- Fundación Gustavo Bueno. (2021, 12 23). *Gnoseología*. Retrieved from Proyecto Filosofía en español: <https://www.filosofia.org/enc/ros/gnos.htm>
- Fundación Gustavo Bueno. (2021, 12 23). *Lógica*. Retrieved from Proyecto Filosofía en español: <https://www.filosofia.org/enc/ros/log.htm#v2>
- Fundación Gustavo Bueno. (2021, 12 23). *Lógica Formal*. Retrieved from Proyecto Filosofía en español: <https://www.filosofia.org/enc/ros/log6.htm>
- Fundación Gustavo Bueno. (2021, 12 25). *Principio de Verificación*. Retrieved from Diccionario Marxista de Filosofía, I. Blauberg. 1971: 317-318: <https://www.filosofia.org/enc/ros/veri.htm>
- Ganguly, P. (2022, Junio 16). *Deletion*. Retrieved from National Human Genome Research Institute: <https://www.genome.gov/genetics-glossary/Deletion>
- Gavira Vallejo, J. M. (2013, Agosto 6). *Excepciones a la regla de Madelung en la configuración electrónica de los elementos químicos*. Retrieved from TRIPLEENLACE: <https://triplenlace.com/2013/08/06/excepciones-a-la-regla-de-madelung-y-el-diagrama-de-moeller-en-la-configuracion-electronica-de-los-elementos-quimicos-2/>
- Gerlach, H. (2013). Chirality: A Relational Geometric-Physical Property. *Chirality*, 25(11), 1-2. Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/chir.22216>
- Gould, S. J., & Vrba, E. S. (1982). Exaptation-A Missing Term in the Science of Form. *Paleobiology*, 8(1), 4-15. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/2400563>

- Grabundzija, I., Messing, S. A., Thomas, J., Cosby, R. L., Bilic, I., Miskey, C., . . . Ivics, Z. (2016, Marzo 2). A Helitron transposon reconstructed from bats reveals a novel mechanism of genome shuffling in eukaryotes. *Nature Communications*, 7, 1-12. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/ncomms10716>
- Grant, J. D. (2022, Junio 20). *INJECTIVITY RADIUS ESTIMATES I*. Retrieved from Universidad de Viena:
https://homepage.univie.ac.at/james.grant/papers/NullInj/Inj_rad_talk_1.pdf
- Grasis, J. A. (2018). Host-Associated Bacteriophage Isolation and Preparation for Viral Metagenomics. *Methods in Molecular Biology*, 1746, 1-25. Retrieved from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29492882/>
- Gribbin, J. (1976). *Galaxy Formation. A Personal View*. New York: THE MACMILLAN PRESS LTD.
- Haferkamp, J., Faist, P. K., Eisert, J., & Yunger Halpern, N. (2022, Marzo 28). Linear growth of quantum circuit complexity. *nature physics*, 528-534. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/s41567-022-01539-6.pdf>
- Haldane, J. B. (1944). Radioactivity and the Origin of Life in Milne's Cosmology. *nature*, 555. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/153555a0.pdf>
- Haldane, J. B. (1945). *Science and Everyday Life*. Allahabad: India Publishers. Retrieved from <https://jbshaldane.org/books/1939-Science-and-Everyday-Life/index.html>
- Haldane, J. B. (1957). Karl Pearson, 1857-1957. *Biometrika*, 44(3-4), 303-313. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/2332863>
- Haldane, J. B. (2022, Abril 26). *The Origin of Life*. Retrieved from Universidad de València: <https://www.uv.es/~orilife/textos/Haldane.pdf>

- Harris, F. (2015, Agosto 1). <https://liamdavid.net/2015/08/01/dna-replication-and-torsional-strain/>. Retrieved from Liam David Harris: <https://liamdavid.net/2015/08/01/dna-replication-and-torsional-strain/>
- Hawking, S. (2003). *El universo en una cáscara de nuez* (Octava ed.). Barcelona: Crítica / Planeta.
- Hayes, F. (2003, Septiembre 8). TRANSPOSON-BASED STRATEGIES FOR MICROBIAL FUNCTIONAL GENOMICS AND PROTEOMICS. *Annual Review of Genetics*, 37, 3-29. Retrieved from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14616054/>
- Hegel, F. (1968). *Ciencia de la Lógica*. Buenos Aires: Solar / Hachette.
- Hegel, G. W. (2006). *Filosofía de la Lógica*. Buenos Aires: Editorial Claridad S.A.
- Hernández, N., Williams, R. C., & Cochran, E. W. (2014). The battle for the "green" polymer. Different approaches for biopolymer synthesis: bioadvantaged vs. bioreplacement. *Organic and Biomolecular Chemistry*, 12, 2834-2849. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Eric-Cochran-2/publication/261247165_ChemInform_Abstract_The_Battle_for_the_Green_Polymer_Different_Approaches_for_Biopolymer_Synthesis_Bioadvantage_vs_Bioreplacement/links/5464e1780cf2052b509f26d8/ChemInform-Abstract
- Horgan, J. (2021, 12 25). *What Thomas Kuhn Really Thought about Scientific "Truth"*. Retrieved from Scientific American: <https://blogs.scientificamerican.com/cross-check/what-thomas-kuhn-really-thought-about-scientific-truth/>
- House, J., Rich, A., & Zitzewitz, P. W. (1984). Beta decay and the origin of biological chirality: New experimental results. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 14(1-4), 413-420.

- Huang, W., & Mackay, T. F. (2016). The Genetic Architecture of Quantitative Traits Cannot Be Inferred from Variance Component Analysis. *PLOS Genetics*, 1-15. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5094750/pdf/pgen.1006421.pdf>
- Hurle, B. (2022, Junio 16). *Somatic Cells*. Retrieved from National Human Genome Research Institute: <https://www.genome.gov/genetics-glossary/Somatic-Cells>
- Hurtle, B. (2022, Junio 16). *Germ Line*. Retrieved from National Human Genome Research Institute: <https://www.genome.gov/genetics-glossary/germ-line>
- Institute, National Human Genome Research. (2022, Junio 1). *Centrómetro*. Retrieved from National Human Genome Research Institute: <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Centromero>
- Institute, National Human Genome Research. (2022, Junio 1). *Telómero*. Retrieved from Institute, National Human Genome Research: <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Telomero>
- Jaynes, E. T. (2003). *Probability Theory. The Logic of Science*. New York: Cambridge University Press.
- Jiles, G. (2005). Internet encyclopaedias go head to head. *nature*, 438, 900-901. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/438900a>
- Kasman, L. M., & Porter, L. D. (2021, Septiembre 28). *Bacteriophages*. Retrieved from National Library of Medicine. National Center for Biological Information: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK493185/>
- Kass, R. E., & Wasserman, L. (1996). The Selection of Prior Distributions by Formal Rules. *Journal of the American Statistical Association*, 91(435), 1343-1370. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/2291752>

Khan Academy. (2022, Junio 15). *Procesamiento de pre-ARNm eucarionte*. Retrieved from Transcripción y procesamiento del ARN:

<https://es.khanacademy.org/science/ap-biology/gene-expression-and-regulation/transcription-and-rna-processing/a/eukaryotic-pre-mrna-processing>

Koonin, E. V. (2012). *The Logic of Chance*. New Jersey: Pearson Education. Retrieved from <https://www.pearson.com/us/higher-education/program/Koonin-Logic-of-Chance-The-The-Nature-and-Origin-of-Biological-Evolution-paperback/PGM280424.html>

Kumar, M. (2009). *Quantum. Einstein, Bohr and The Great Debate About Nature of Reality*. Crows Nest, New South Wales, Australia: Allen & Unwin Pty Ltd.

Landau, L. D., & Lifshitz, E. M. (1950). *Física Estadística*. Academia de Ciencias de la U.R.S.S.: Editorial Reverté.

Latorre, A., & Silva, F. J. (2001-2002). El tamaño del genoma y la complejidad de los seres vivos. *Mètode*, 32. Retrieved from <https://metode.es/revistas-metode/monograficos/el-tamano-del-genoma-y-la-complejidad-de-los-seres-vivos.html>

Lavis, D. A., & Milligan, P. J. (1985). THE WORK OF E. T. JAYNES ON PROBABILITY, STATISTICS AND STATISTICAL PHYSICS. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 36, 193-210. Retrieved from <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1093/bjps/36.2.193>

Lawrence Berkeley National Laboratory. (2000, Agosto 9). *Beta Decay*. Retrieved from Lawrence Berkeley National Laboratory:
<https://www2.lbl.gov/abc/wallchart/chapters/03/2.html>

Levins, R. (2015). *Una pierna adentro, una pierna afuera*. México, D.F.: Open Access Publishing. Retrieved from

<http://scifunam.fisica.unam.mx/mir/copit/SC0005ES/SC0005ES.html>

Lewis, T., & Stone., W. L. (2022, Abril 28). *Biochemistry, Proteins Enzymes*. Retrieved from National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554481/>

Lewontin, R. C. (1977, Marzo 17). Caricature of Darwinism. *Nature*, 266, 283-284. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/266283a0>

Lewontin, R. C. (1977). 'The Selfish Gene'. *Nature*, 267(202), 202. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/267202b0>

Lewontin, R., & Levins, R. (2009). *The Dialectical Biologist*. Delhi, India: Aakar Books for South Asia.

LibreTexts. (2020, Agosto 15). *Electron Configuration*. Retrieved from Chemistry: [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_\(Physical_and_Theoretical_Chemistry\)/Quantum_Mechanics/10%3A_Multi-electron_Atoms/Electron_Configuration](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Quantum_Mechanics/10%3A_Multi-electron_Atoms/Electron_Configuration)

Lisch, D. (2022, Noviembre). Mutator transposons. *TRENDS in Plant Science*, 7(11), 498-504. Retrieved from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12417150/>

Luan, B., & Aksimentiev, A. (2008, Junio 23). Strain softening in stretched DNA. *Physical Review Letters*, 101(11), 1-9. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2890292/>

Lupis, C. H., Gaye, H., & Bernard, G. (1970). The Case of Preferred Configuration in the "Central Atoms" Model. *Scripta Metallurgica et Materialia*, 4, 497-502. Retrieved from

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/003697487090002>

5

Lyu, Y., Wu, C., Heinke, C., Han, D., Cai, R., Teng, I.-T., . . . Tan, W. (2018, Junio 6). Constructing Smart Protocells with Built-In DNA Computational Core to Eliminate Exogenous Challenge. *American Chemical Association*, 140(22), 1-23. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6442726/pdf/nihms-1017171.pdf>

Macq, P. C., Crowe, K. M., & Haddock, R. P. (1958, Diciembre). Helicity of the Electron and Positron in Muon Decay. *Physical Review (Series I)*, 112(6), 2061-2071. Retrieved from <https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.112.2061#:~:text=The%20helicity%20of%20the%20electron,of%20motion%20of%20the%20particles.>

Madhu. (2018, Mayo 6). *Difference Between Px Py and Pz Orbitals*. Retrieved from Difference Between: <https://www.differencebetween.com/difference-between-px-py-and-pz-orbitals/>

Madhusha. (2017, Septiembre 6). *Difference Between Shell Subshell and Orbital*. Retrieved from General Chemistry: <https://pediaa.com/difference-between-shell-subshell-and-orbital/#Subshell>

Marx, K. (2010). *El Capital* (Vol. I). México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.

Matheson, R. (2020, Febrero 12). *Automated system can rewrite outdated sentences in Wikipedia articles*. Retrieved from Massachusetts Institute of Technology: <https://news.mit.edu/2020/automated-rewrite-wikipedia-articles-0212>

Matsuo, M., & Kurihara, K. (2021, Septiembre 24). Proliferating coacervate droplets as the missing link between chemistry and biology in the origins of life.

nature Communications, 12, 1-13. Retrieved from
<https://www.nature.com/articles/s41467-021-25530-6>

McLennan, D. A. (2008, Junio 24). The Concept of Co-option: Why Evolution Often Looks Miraculous. *Evolution: Education and Outreach*, 1, 247-258. Retrieved from <https://evolution-outreach.biomedcentral.com/articles/10.1007/s12052-008-0053-8>

Miller, S. L. (1953). A Production of Amino Acids Under Possible Primitive Earth Conditions. *Science*, 117(3046), 528-529. Retrieved from
<https://www.science.org/doi/10.1126/science.117.3046.528>

Moala, F. A., & Dey, S. (2018). Objective and subjective prior distributions for the Gompertz distribution. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90(3), 2643-2661. Retrieved from
<https://www.scielo.br/j/aabc/a/VgvwMxdcKGggLFMt5p4KbHq/?format=pdf&lang=en>

Murphy, P. A. (2020, Mayo 19). *Platonist Roger Penrose “Sees” Mathematical Truths*. Retrieved from Cantor’s Paradise: Cantor’s Paradise

Nabi, I. (2022, Marzo 14). *HACIA UNA INTERPRETACIÓN DIALÉCTICA-MATERIALISTA DE LA TOPOLOGÍA GENERAL: GÉNESIS HISTÓRICA-TEÓRICA DE LA TOPOLOGÍA DESDE LA GEOMETRÍA Y LA TEORÍA DE CONJUNTOS*. Retrieved from Marxist Statistics:
<https://marxiststatistics.com/2021/03/14/hacia-una-interpretacion-dialectica-materialista-de-la-topologia-general-genesis-historica-teorica-de-la-topologia-desde-la-geometria-y-la-teoria-de-conjuntos/>

Nabi, I. (2022). *I.XIII. Principio Monista de Complementariedad (o modo monista complementario de descripción) (BORRADOR)*. La Paz: Marxist Statistics. Retrieved from <https://marxiststatistics.com/2022/05/18/ii-xiii-principio-i-xiii-principio-monista-de-complementariedad-o-modo-monista-complementario-de-descripcion-borrador/>

[monista-de-complementariedad-o-modo-monista-complementario-de-descripcion-borrador/](https://marxiststatistics.com/2022/05/11/iii-la-definicion-subjetiva-del-valor-como-principio-pseudocientifico-borrador/)

Nabi, I. (2022, Marzo 11). *III. La Definición Subjetiva del Valor como Principio Pseudocientífico (Borrador)*. Retrieved from Marxist Statistics: marxiststatistics.com/2022/05/11/iii-la-definicion-subjetiva-del-valor-como-principio-pseudocientifico-borrador/

Nabi, I. (2022, Marzo 21). *Sobre la Teoría Marxista del Conocimiento y la Esencia (Borradores)*. Retrieved from Marxist Statistics: <https://marxiststatistics.com/2022/03/21/sobre-la-teoria-marxista-del-conocimiento-y-la-esencia-borradores/>

Nabi, I. (2022, Marzo 21). *SOBRE LA VISIÓN MARXISTA DE LA EXISTENCIA COMO ESTRUCTURA ORGÁNICA OBJETIVA (BORRADOR)*. Retrieved from Marxist Statistics: <https://marxiststatistics.com/2022/03/21/sobre-la-vision-marxista-de-la-existencia-como-estructura-organica-objetiva-borrador/>

National Geographic. (2022, Junio 8). *Chlorophyll*. Retrieved from Resource Library: <https://education.nationalgeographic.org/resource/chlorophyll>

National Human Genome Research Institute . (2020, Marzo 7). *DNA Origami*. Retrieved from Genomics Teaching Tools: <https://www.genome.gov/about-genomics/teaching-tools/dna-origami>

National Human Genome Research Institute. (2019, Julio 9). *ARN (ácido ribonucleico)*. Retrieved from Talking Glossary of Genetic Terms: <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/ARN>

National Human Genome Research Institute. (2019, Junio 13). *Transcripción*. Retrieved 04 15, 2022, from Talking Glossary of Genetic Terms: <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Transcripcion>

National Human Genome Research Institute. (2022, Junio 2). *Codón*. Retrieved from
National Human Genome Research Institute:
<https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Codon>

National Human Genome Research Institute. (2022, Junio 1). *Exón*. Retrieved from
National Human Genome Research Institute:
<https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Exon>

National Human Genome Research Institute. (2022, Junio 1). *Intrón*. Retrieved from
National Human Genome Research Institute:
<https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Intron>

National Human Genome Research Institute. (2022, Junio 1). *Microsatélite*.
Retrieved from National Human Genome Research Institute:
<https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Microsatelite>

National Human Genome Research Institute. (2022, Junio 13). *Nucleosoma*.
Retrieved from Glosario parlante de términos genómicos y genéticos:
<https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Nucleosoma>

National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information.
(2021). *The complement system and innate immunity*. Retrieved from
Immunobiology: The Immune System in Health and Disease:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK27100/>

nature. (2014). *transcription /DNA transcription*. Retrieved 04 15, 2022, from
Scitable: <https://www.nature.com/scitable/definition/transcription-dna-transcription-87/>

natureEDUCATION. (2014). *Double-stranded DNA*. Retrieved from Scitable:
<https://www.nature.com/scitable/content/double-stranded-dna-6834149/>

Naureen, Z., Dautaj, A., Anpilogov, K., Camilleri, G., Dhuli, K., Tanzi, B., . . .
Bertelli, M. (2020, Noviembre 9). Bacteriophages presence in nature and

- their role in the natural selection of bacterial populations. *Acta Biomedica*, 91(13), 1-13. Retrieved from
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8023132/>
- Ngo, T. T., Zhang, Q., Zhou, R., Yodh, J. G., & Ha, T. (2015). Asymmetric Unwrapping of Nucleosomes under Tension Directed by DNA Local Flexibility. *Cell*, 160(6), 1135-1144. Retrieved from
[https://www.cell.com/cell/fulltext/S0092-8674\(15\)00134-8?_return=1](https://www.cell.com/cell/fulltext/S0092-8674(15)00134-8?_return=1)
- Noyes, H. P., Bonner, W. A., & Tomlin, J. A. (1977, Abril). On the Origin of Biological Chirality Via Natural Beta-Decay. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 8(1), 21-23.
- Numata, K. (2020). How to define and study structural proteins as biopolymer materials. *nature*, 52, 1043-1056. Retrieved from
<https://www.nature.com/articles/s41428-020-0362-5>
- Oparin, A. (2021, Diciembre 14). *El Origen de la Vida*. Retrieved from proletarios.org: https://www.proletarios.org/books/Oparin-El_origen_de_la_vida.pdf
- Opijnen, T. v., & Levin, H. L. (2020, Noviembre 23). Transposon Insertion Sequencing, a Global Measure of Gene Function. *Annual Review of Genetics*, 337-345. Retrieved from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32886545/>
- Oregon State University. (2022, Junio 20). *Radial Geodesics*. Retrieved from Schwarzschild Geometry:
https://sites.science.oregonstate.edu/physics/coursewikis/GGR/book/df_ggr/oradial
- Orr, H. A. (2009). Fitness and its role in evolutionary genetics. *Nature Reviews Genetics*, 10(8), 531-539. Retrieved from
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2753274/>

- Paik, D. H., Roskens, V. A., & Perkins, T. T. (2013, Agosto 9). Torsionally constrained DNA for single-molecule assays: an efficient, ligation-free method. *Nucleic Acids Research*, 41(19), 1-9. Retrieved from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23935118/>
- Pearson, K. (1934). *Speeches Delivered at a Dinner Held in University College, London in Honour of Professor Karl Pearson 23 April 1934*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. Retrieved from <https://archive.org/details/filon-et-al-1934-speeches-delivered-at-a-dinner>
- Peng, P.-H., Hsu2, K.-W., & Wu, K.-J. (2021). Liquid-liquid phase separation (LLPS) in cellular physiology and tumor biology. *American Journal of Cancer Research*, 11(8), 3766-3776. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8414392/>
- Penny, D. (2006, Mayo 16). Genomics and the Irreducible Nature of Eukaryote Cells. *Science*, 312(5776), 1011-1014. Retrieved from <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1121674>
- Pietilä, M. K., Demina, T. A., Atanasova, N. S., Oksanen, H. M., & Bamford, D. H. (2014). Archaeal viruses and bacteriophages: comparisons and contrasts. *Trends in Microbiology*, 22(6), 1-11. Retrieved from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24647075/>
- Pray, L. A. (2022, Mayo 22). *Eukaryotic Genome Complexity*. Retrieved from Scitable by natureEDUCATION: <https://www.nature.com/scitable/topicpage/eukaryotic-genome-complexity-437/>
- Pruiksma, R. (2021, Mayo 15). *Rethinking Burlesque Forms in Louis XIII ballets: Dance, Music, and Politics in Burlesque ballets, 1625-1635*. Retrieved from Études Épistémè [En ligne]: <http://journals.openedition.org/episteme/11284>

Queller, D. C. (1995, Diciembre). THE SPANIELS OF ST. MARX AND THE PANGLOSSIAN PARADOX: A CRITIQUE OF A RHETORICAL PROGRAMME. *The Quarterly Review of Biology*, 485-489. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/77447>

Quora. (2022, Junio 8). *Why is there only one common ancestor to all known life on Earth? Why has the whole "single cell organism crawling out of a chemical soup and evolving into more complex life" thing only seemed to have happened once?* Retrieved from Questions: <https://www.quora.com/Why-is-there-only-one-common-ancestor-to-all-known-life-on-Earth-Why-has-the-whole-single-cell-organism-crawling-out-of-a-chemical-soup-and-evolving-into-more-complex-life-thing-only-seemed-to-have-happened-once>

Real Academia Española. (2021). *anclamiento*. Retrieved from Tesoro de los diccionarios históricos de la lengua española:
<https://www.rae.es/tdhle/anclamiento>

Reitner, J., & Thiel, V. (2011). *Encyclopedia of Geobiology*. Dordrecht,, The Netherlands: Springer.

ResearchGate. (2018, Febrero 22). *What does it mean Mild reaction conditions?* Retrieved from Heating:
https://www.researchgate.net/post/What_does_it_mean_Mild_reaction_conditions

Robert, C. P., & Casella, G. (2010). *Introducing Monte Carlo Methods with R*. New York: Springer.

Rosdolsky, R. (2004). *Génesis y Estructura de El Capital de Marx (estudios sobre los Grundrisse)* (Séptima ed.). México, D.F.: Siglo XXI.

Rosental, M. (1961). *Los problemas de la dialéctica en "El Capital" de Marx*. Montevideo: Ediciones Pueblos Unidos.

Rosental, M. M., & Iudin, P. F. (1971). *DICCIONARIO FILOSÓFICO*. San Salvador: Tecolut.

Rosental, M., & Iudin, P. (1959). *Diccionario filosófico abreviado*. Montevideo: Ediciones Pueblos Unidos.

Ross, F., Hernández, P., Porcal, W., López, G. V., Cerecetto, H., González, M., . . .

Salinas, G. (2012). Identification of Thioredoxin Glutathione Reductase Inhibitors That Kill Cestode and Trematode Parasites. *PLOS ONE*, 7(4), 1-12. Retrieved from

https://www.researchgate.net/publication/224847794_Identification_of_Thioredoxin_Glutathione_Reductase_Inhibitors_That_Kill_Cestode_and_Trematode_Parasites

Sadik, F. (2022, Junio 3). *Iodine(I) electron configuration and orbital diagram*. Retrieved from Valence Electrons: <https://valenceelectrons.com/iodine-electron-configuration/>

Sánchez-Palencia, É. (2015). *Paseo Dialéctico por las Ciencias*. Santander: Universidad de Cantabria.

ScienceDirect. (2022, Junio 11). *Autophagy in the regulation of protein secretion in immune cells*. Retrieved Junio 11, 2022, from Protein Secretion: <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/protein-secretion>

ScienceDirect. (2022, Junio 19). *Gene Repression*. Retrieved from Topics: <https://www.sciencedirect.com/topics/biochemistry-genetics-and-molecular-biology/gene-repression>

Shepherd, J. W., Greenall, R. J., Probert, M. I., Noy, A., & Leake, M. C. (2020). The emergence of sequence-dependent structural motifs in stretched, torsionally

- constrained DNA. *Nucleic Acids Research*, 48(4), 1748-1763. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7038985/>
- Silverman, A. D., Karim, A. S., & Jewett, M. C. (2020). Cell-free gene expression: an expanded repertoire of applications. *nature Reviews Genetics*, 21, 151-170. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/s41576-019-0186-3>
- Singer, E. (2014, Noviembre 26). *New Twist Found in the Story of Life's Start*. Retrieved from QuantaMagazine:
<https://www.quantamagazine.org/chiral-key-found-to-origin-of-life-20141126>
- Spencer, N. Y. (2019, Julio 3). *Practical applications of DNA origami. DNA origami from nanorobots to drug delivery*. Retrieved from Integrated DNA Technologies:
<https://www.idtdna.com/pages/education/decoded/article/practical-applications-of-dna-origami>
- Stone, E., Campbell, K., Grant, I., & McAuliffe, O. (2019, Junio). Understanding and Exploiting Phage–Host Interactions. *viruses*, 11(6), 1-26. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6630733/>
- Stone, M. A. (1989). Chaos, Prediction and Laplacean Determinism. *American Philosophical Quarterly*, XXVI(2), 123-131. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/20014277>
- Teves, S. S., & Henikoff, S. (2014). DNA torsion as a feedback mediator of transcription and chromatin dynamics. *Nucleus*, 5(3), 211-218. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4133216/>
- Theobald, D. L. (2010). A formal test of the theory of universal common ancestry. *nature*(465), 219-222. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/nature09014>

Thomas, J., & Pritham, E. J. (2015, Julio 2). Helitrons, the Eukaryotic Rolling-circle Transposable Elements. *Microbiology Spectrum*, 3(4), 1-32. Retrieved from <https://journals.asm.org/doi/10.1128/microbiolspec.MDNA3-0049-2014>

Thompson, N., & Hanley, D. (2017). Science is Shaped by Wikipedia: Evidence From a Randomized Control Trial. *MIT Sloan School of Management, Research Paper Series*, 1-50. Retrieved from https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3039505#

Thompson, N., & Leiserson, C. E. (2020, Marzo 25). *Determining Wikipedia's Influence on Science*. Retrieved from Massachusetts Institute of Technology: <https://www.csail.mit.edu/research/determining-wikipedias-influence-science>

Universidad Politécnica de Madrid. (2022, Junio 7). *Procariotas*. Retrieved from Universidad Politécnica de Madrid: <https://www.uprm.edu/labs3051-3052/wp-content/uploads/sites/168/2019/01/procariotas-lab.pdf>

University of Hawai'i at Mānoa. (2022, Junio 8). *Evidence of Common Ancestry and Diversity*. Retrieved from Aquatic Plants and Algae: <https://manoa.hawaii.edu/exploringourfluidearth/biological/aquatic-plants-and-algae/evidence-common-ancestry-and-diversity>

University of Washington. (2022, Junio 18). *Outline of Lecture 3, Monday Jan. 8.* Retrieved from genetics: <http://depts.washington.edu/genetics/courses/genet453/2001/summaries/summary-jan8.html>

Vibhute, M. A., Schaap, M. H., Maas, R. J., Nelissen, F. H., Spruijt, E., Heus, H. A., . . . Huck, W. T. (2020). Transcription and Translation in Cytomimetic Protocells Perform Most Efficiently at Distinct Macromolecular Crowding Conditions. *ACS Synthetic Biology*, 9(10), 2797-2807. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssynbio.0c00330?ref=pdf>

Vitiello, G. (2014). On the Isomorphism between Dissipative Systems, Fractal Self-Similarity and Electrodynamics. Toward an Integrated Vision of Nature. *systems*, 203-206.

Vollhardt, P., & Schore, N. (2022). *Organic Chemistry*. California: LibreTexts. Retrieved from <https://batch.libretexts.org/print/Finished/chem-32291/Full.pdf>

Wang, X., Lim, H. J., & Son, A. (2014). Characterization of denaturation and renaturation of DNA for DNA hybridization. *Environmental Health and Toxicology*, 1-8. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4168728/pdf/eht-29-e2014007.pdf>

Watkinson, S., Boddy, L., & Money, N. P. (2016). *The Fungi*. Londres: Academic Press. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/book/9780123820341/the-fungi>

Weisstein, E. W. (2022, Junio 2). *Reflection*. Retrieved from MathWorld - A Wolfram Web Resource: <https://mathworld.wolfram.com/Reflection.html>

Werren, J. H. (2011). Selfish genetic elements, genetic conflict, and evolutionary innovation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 10863–10870. Retrieved from <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1102343108>

Wikipedia. (2022, Mayo 31). *Evolutionary history of plants*. Retrieved from Evolutionary biology: https://en.wikipedia.org/wiki/Evolutionary_history_of_plants

Wikipedia. (2022, Febrero 26). *Richard Levins*. Retrieved from Mathematical and theoretical biology: https://en.wikipedia.org/wiki/Richard_Levins

Wikipedia. (2022, Junio 15). *Selfish genetic element*. Retrieved from Wikipedia articles published in PLOS Genetics:
https://en.wikipedia.org/wiki/Selfish_genetic_element

Wikipedia. (2022, Enero 20). *Theories of Surplus Value*. Retrieved from Theory of value (economics):
https://en.wikipedia.org/wiki/Theories_of_Surplus_Value

Yakushevich, L. V. (2001). Is DNA a nonlinear dynamical system where solitary conformational waves are possible? *Journal of Biosciences*, 26, 305-313.
Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02703739>

Yawn, D. H. (2020, Enero 1). *plasma*. Retrieved from Encyclopedia Britannica:
<https://www.britannica.com/science/plasma-biology>

Yeagle, P. L. (2016). *The Membranes of Cells*. (Tercera, Ed.) San Diego, California: Academic Press. Retrieved from
<https://www.sciencedirect.com/book/9780128000472/the-membranes-of-cells>

yourgenome.org. (2022, Febrero 21). *What is RNA?* Retrieved from Facts:
<https://www.yourgenome.org/facts/what-is-rna>

your-online. (2022, Junio 4). *Iodine electron configuration*. Retrieved from Electronic configurations of elements: <https://your-online.ru/en/electronic-formulas/I>

Zdravkovic, S. (2019). Nonlinear Dynamics of DNA Chain. *arvix*, 1-32. Retrieved from <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1909/1909.06167.pdf>