

Las primeras células que nunca vimos

QTC-022 · De los quarks a la consciencia

El universo, la vida y cómo llegamos a saberlo

Autor: Juan Segurola

Versión: v1.0 ES · 2 de septiembre de 2026

Perfil epistémico: Problema abierto

Licencia: All Rights Reserved

Resumen del artículo

Ningún fósil conserva la primera célula. Cuando las rocas ofrecen biosignaturas convincentes, la vida ya construía comunidades. Los laboratorios se acercan al intervalo ausente desde la otra dirección: vesículas de ácidos grasos crecen y se dividen, gotas concentran catalizadores, polímeros genéticos se copian dentro de compartimentos y células sintéticas integran funciones elegidas. Ninguna es la primera célula histórica. Cada una empieza con materiales, catalizadores o condiciones aportados por investigadores, mientras los organismos de genoma mínimo heredan un progenitor evolucionado. Incluso las membranas modernas conservan una división lipídica no resuelta entre bacterias y arqueas. La evidencia apoya la celularización como integración prolongada de frontera, herencia, energía y reproducción, quizá entre poblaciones que intercambiaban componentes. LUCA pertenece después: es el ancestro común reconstruido desde supervivientes, no la primera vida que existió.

En 60 segundos

Nunca observamos la celularización y el registro rocoso empieza después de su trabajo decisivo. Estromatolitos antiguos y biosignaturas de fuentes termales indican comunidades, no la primera membrana que encerró química hereditaria. Los experimentos muestran que varias piezas no tuvieron que aparecer juntas. Vesículas de ácidos grasos se autoensamblan, admiten ciertos nutrientes, crecen y se dividen. Gotas coacervadas concentran ARN sin membrana y pueden adquirir después envolturas de ácidos grasos. Polímeros o catalizadores internos vuelven competitivas a protocélulas modelo. Pero cada demostración suministra parte del ciclo y ningún linaje ha arrancado síntesis de frontera, transporte, energía, copia y división desde entradas geoquímicas limitadas. Las membranas modernas añaden otro enigma: bacterias y arqueas usan químicas lipídicas distintas, aunque membranas híbridas diseñadas son viables. Las células mínimas tampoco revelan el comienzo; son descendientes reducidos, sostenidos por medios ricos y maquinaria heredada. La mejor lectura es una transición por etapas y poblaciones. La ascendencia común universal describe a los supervivientes. No identifica la primera célula ni dice que la vida surgiera una sola vez.

Por qué importa esta pregunta

La imagen de una vesícula afortunada que cobra vida es memorable y probablemente engañosa. La vida celular exige cerrar varios bucles causales: debe persistir un interior, entrar suministros, retenerse productos útiles, copiarse información y heredar los descendientes suficiente organización para continuar. Separar funciones permite reconocer progreso experimental sin convertir cada vesícula en vida. Convierte las piezas suministradas en un mapa preciso de investigación. También

impide que LUCA, los genomas mínimos y las biosignaturas antiguas respondan una pregunta para la que no fueron diseñados: cómo fueron las primeras células.

1. Las rocas empiezan demasiado tarde

La pregunta

Si las rocas convincentes más antiguas ya registran arrecifes o comunidades de fuentes termales, la celularización ocurrió antes de empezar el relato conservado. Una biosignatura establece un mundo habitado y revela muy poco sobre la primera frontera, genoma o ciclo reproductivo.

Las primeras células no dejaron un espécimen etiquetado. La Tierra altera continuamente su corteza más antigua mediante enterramiento, metamorfismo, deformación y erosión. Organismos microscópicos blandos se conservan mal incluso en rocas más jóvenes, y las células tempranas carecían de esqueletos mineralizados que vuelven visibles fósiles posteriores. El registro empieza con consecuencias: estructuras estratificadas, química del carbono, texturas minerales y ambientes cuya mejor explicación quizá incluye vida. Ninguna ofrece un retrato del primer compartimento exitoso.

En la Formación Strelley Pool de Australia Occidental, de unos 3.430 millones de años, Abigail Allwood y colegas cartografiaron un conjunto de estromatolitos de escala arrecifal, con varias morfologías y asociaciones ambientales.[1] La fuerza no reside en un bulto sugerente, sino en un sistema sedimentario organizado que se extiende kilómetros y se interpreta como ecología microbiana establecida. Esa es también la limitación. Una comunidad capaz de construir estructuras persistentes ya está después de aquello que unió herencia y reproducción celular.

La Formación Dresser, de unos 3.480 millones de años, añade evidencia de un ambiente hidrotermal terrestre. Tara Djokic y colegas describieron depósitos de fuentes termales con texturas y señales geoquímicas compatibles con vida en charcas o respiraderos terrestres.[2] El lugar amplía los ambientes ocupados por organismos tempranos. No demuestra que la vida empezara en una fuente termal ni conserva una membrana. La evidencia de hábitat responde dónde vivió cierta vida, no cómo se ensambló la vida celular.

Las afirmaciones más antiguas se vuelven frágiles. Allen Nutman y colegas interpretaron estructuras cónicas en rocas de Isua de 3.700 millones de años como estromatolitos.[3] El equipo de Abigail Allwood examinó después otra exposición y sostuvo que formas similares surgieron por deformación, no por construcción microbiana.[4] En Nuvvuagittuq, Matthew Dodd y colegas describieron tubos y filamentos en precipitados hidrotermales cuyas rocas anfitrionas podrían superar 3.770 millones de años.[5] Edad, asociación y biogenicidad siguen discutidas. Una forma sugerente no es una máquina del tiempo.

Estas disputas no son un fracaso de la geología. Exponen qué puede y qué no puede soportar la evidencia antigua. Líneas múltiples e independientes —sedimentología, química, contexto espacial y morfología— fortalecen una afirmación, mientras el metamorfismo borra detalles decisivos. Cuando la evidencia se vuelve convincente, la vida ya parece ecológica. Las rocas más antiguas sitúan la existencia celular antes de una fecha. No dicen si la primera frontera fue una vesícula, un poro mineral, una gota o algo sin representante moderno.

En qué punto estamos

El registro geológico ofrece un límite unilateral: existían comunidades celulares cuando sobreviven estructuras convincentes, pero su transición fundadora queda fuera de escena. Para investigar ese intervalo hay que construir evidencia además de excavarla. Los compartimentos de laboratorio permiten aislar, aportar y probar cada función necesaria, empezando por el acto engañosamente simple de crear un interior.

2. Una frontera todavía no es una célula

Una frontera realiza dos trabajos opuestos. Impide que una red de reacciones se disperse, pero debe dejar cruzar alimento, residuos y energía. Sellar perfectamente el interior agota suministros. Hacer la frontera libremente permeable pierde productos útiles y gradientes. Las células modernas lo resuelven con bicapas fosfolipídicas, canales, bombas y enzimas. Los primeros compartimentos no podían suponer esa maquinaria; frontera y química interna tuvieron que tolerarse mutuamente antes de volverse complejas.

Los ácidos grasos ofrecen un modelo más simple. En agua y dentro de intervalos adecuados de concentración, pH y sales, forman vesículas de bicapa. Martin Hanczyc, Shelly Fujikawa y Jack Szostak mostraron encapsulación, crecimiento y transformaciones semejantes a división.[6] Ting Zhu y Szostak vincularon después crecimiento de membrana con formación de filamentos y fisión sin citoesqueleto proteico.[9] Son capacidades físicas importantes. Pero una vesícula que se estrangula no necesariamente copia una diferencia funcional ni produce descendientes capaces de repetir el ciclo.

La permeabilidad primitiva puede ser ventaja. Mark Sacerdote y Szostak midieron el paso de azúcares por membranas modelo y vieron que la estructura alteraba mucho las tasas: en sus condiciones, la ribosa cruzaba más deprisa que pentosas relacionadas.[30] Sheref Mansy y colegas mostraron después que nucleótidos activados entraban en vesículas de ácidos grasos y extendían dentro una plantilla genética.[8] No hacía falta transportador proteico. El precio es la fuga: una membrana permisiva quizá no retenga productos pequeños ni un desequilibrio iónico utilizable.

Una frontera empieza a importar evolutivamente cuando el interior cambia el destino del paquete. Irene Chen, Richard Roberts y Szostak encapsularon ácidos nucleicos en vesículas de ácidos grasos. El estrés osmótico hizo que las vesículas cargadas adquirieran membrana de competidoras relajadas y crecieran.[7] Katarzyna Adamala y Szostak usaron después un catalizador encapsulado cuyo producto promovía crecimiento de membrana.[11] Ambos experimentos unieron estado interno y éxito externo. Ningún estado interno era generado y heredado por un ciclo autónomo completo.

Protocélula es, por tanto, una etiqueta funcional, no una identificación histórica. Puede nombrar una vesícula que realiza una operación celular, un compartimento que integra varias o una plataforma para probar acoplamientos. La pregunta útil siempre es qué aportaron los investigadores: anfifilos, plantillas, catalizadores, sustratos activados, mezcla, temperatura o división. Nombrar esas entradas no disminuye el resultado. Revela qué bucle causal sigue abierto antes de que un objeto químico limitado se vuelva célula evolutiva.

En qué punto estamos

Una membrana protege, alimenta y da fenotipo a un interior sin crear un linaje vivo. La distinción central es continuidad recíproca: el contenido debe ayudar a reproducir la frontera, y las fronteras descendientes conservar el contenido que produjo éxito. Antes de alcanzar ese pacto, otros compartimentos pudieron concentrar y ordenar la química que luego habitaría células.

3. Los compartimentos pudieron preceder a las membranas

La pregunta

Hoy una célula está rodeada por membrana, pero el origen no tiene que copiar el resultado final. Gotas, poros, superficies minerales y películas localizan reactivos antes de existir una envoltura lipídica heredable, permitiendo que la celularización cambie de recipiente al cambiar su química.

Algunos polímeros se separan espontáneamente del entorno acuoso y forman gotas coacervadas. La interfaz no es una bicapa lipídica, pero ciertas moléculas se reparten con fuerza hacia la fase densa. Concentrar acelera reacciones insignificantes en un océano diluido y mantiene próximos a socios. También conserva porosidad y dinamismo. Esas propiedades crean un problema hereditario: si el contenido se intercambia deprisa, una gota exitosa quizá no conserve su química distintiva para fundar un linaje.

Bogdan Drobot y colegas colocaron un catalizador de ARN dentro de protocélulas coacervadas sin membrana y mostraron que la compartimentación cambiaba el comportamiento de la reacción. [15] Las gotas eran ambientes de reacción reales, no dibujos. También se fabricaron con componentes preparados y no reprodujeron autónomamente su organización catalítica. El experimento separa dos afirmaciones confundidas: una función compartimentada puede preceder a la membrana, pero funcionar dentro de una gota no hace que la función se herede automáticamente.

Un compartimento sin membrana también sirve de andamio para una. Tyler Tang y colegas ensamblaron capas de ácidos grasos alrededor de microgotas coacervadas y produjeron protocélulas híbridas que combinaban una fase interna densa y una frontera anfílica.[14] Así se vuelve imaginable una transición por etapas: primero concentración, después envoltura. No demuestra que la Tierra temprana siguiera ese orden. Polímeros diseñados, ácidos grasos preparados y condiciones controladas crearon la oportunidad.

Otros ambientes sustituyen el compartimento flotante por espacio estructurado. Poros minerales retienen reactivos y exponen superficies catalíticas; películas húmedas y secas concentran solutos repetidamente; vetas de hielo forman microcanales salinos; gradientes hidrotermales mantienen diferencias químicas continuas.[29,31] Cada uno resuelve un problema distinto de dilución o energía. También puede atrapar productos, destruir moléculas frágiles o depender de un ambiente estrecho. Un escenario útil debe seguir materiales y descendientes durante el ciclo, no solo nombrar un lugar favorable.

Las fronteras pudieron cambiar durante la celularización. Química sobre superficies pudo pasar a gotas, después quedar envuelta por anfífilos simples y finalmente equiparse con lípidos sintetizados y proteínas de transporte. La secuencia es plausible, no recuperada. Las células modernas no conservan dentro una membrana fósil, y reemplazos posteriores borran químicas

anteriores.[21,25] Los experimentos más fuertes conectarán etapas sin que un investigador traslade productos purificados de un aparato al siguiente.

En qué punto estamos

Compartimento primero y membrana primero no son etiquetas excluyentes si las fronteras evolucionaron. Una secuencia de recipientes cambiantes pudo concentrar química antes de encerrarla duraderamente. Pero cada envoltura hereda la misma prueba práctica: debe alimentar las reacciones que protege. Así, la permeabilidad deja de ser propiedad material y se vuelve el siguiente problema de integración celular.

4. Una membrana debe admitir y retener

La evolución de membranas es un compromiso móvil. Una frontera laxa de ácidos grasos intercambia solutos sin proteínas, pero sufre con mucha sal, iones divalentes y retención de gradientes. Una bicapa fosfolipídica moderna es estable y menos permeable, pero exige canales y bombas. No hay razón para que la química óptima antes de proteínas codificadas sea la conservada después. Los primeros linajes celulares quizá sobrevivieron cambiando juntos composición de membrana y metabolismo.

Una incompatibilidad famosa puede suavizarse químicamente. La copia no enzimática de ARN suele necesitar magnesio, que desestabiliza vesículas de ácidos grasos. Katarzyna Adamala y Szostak mostraron que el citrato protegía membranas modelo y permitía síntesis de ARN por plantilla dentro.[10] El logro unió dos módulos antes incompatibles. Sus condiciones importan: se aportaron monómeros activados, bastante citrato, vesículas preparadas e intercambio controlado. Se demostró compatibilidad, no una economía de citrato autosuficiente.

Una segunda ruta fabrica membrana desde química soluble simple. En 2026 Marian Ebeling y colegas usaron una red organocatalítica que empezaba con pequeños carbonilos para generar productos anfífilos largos que formaron espontáneamente estructuras semejantes a protocélulas, desde nanómetros hasta micrómetros.[16] Los compartimentos toleraron varios pH, temperaturas y sales y retuvieron actividad catalítica. El organocatalizador definido era entrada de laboratorio y ningún linaje genético reprodujo las estructuras. Formación de abajo arriba aún no es vida de abajo arriba.

Otro experimento de 2026 atacó la suposición de que una membrana debe descender de otra. Satyam Khanal y colegas usaron cascadas enzimáticas solubles para sintetizar lípidos de novo desde precursores pequeños, y añadieron funciones modelo de entrada y retención de gradiente de protones.[17] Es una respuesta de ingeniería potente a la herencia de membrana. Usó enzimas modernas, ATP, química de CoA, NADPH, un péptido formador de poros, colesterol y tampones definidos. La bicapa no creció, se dividió y transmitió un sistema evolutivo.

Estos experimentos convierten un viejo enigma verbal en un registro de dependencias. ¿Surgen anfífilos continuamente? ¿Tolera la frontera iones catalíticos? ¿Entran nutrientes sin vaciar la célula? ¿Persisten gradientes útiles? ¿La química interna fabrica frontera? Cada módulo tiene demostraciones creíbles.[8,10,16,17] Ningún experimento los ha cerrado todos con entradas geoquímicas limitadas. Ese hueco es más estrecho e instructivo que declarar fáciles o imposiblemente complejas las membranas.

En qué punto estamos

Una membrana viable no es una sustancia, sino flujo gestionado: entra materia, permanecen productos, persisten diferencias energéticas y se produce frontera nueva. Sistemas de laboratorio satisfacen esas exigencias en subconjuntos solapados. La reproducción empieza cuando forman un ciclo recurrente, porque una célula que resuelve transporte una vez pero no reconstruye la solución no deja descendientes celulares.

5. El crecimiento debe acoplarse a la herencia

La pregunta

Un compartimento puede duplicar su membrana y fracasar como linaje. Si la división deja una hija sin catalizador, plantilla o maquinaria de frontera que causó el crecimiento, la reproducción destruye la organización que debía propagar.

La reproducción de fronteras puede ser químicamente autocatalítica. Peter Walde y colegas aportaron un precursor de ácido graso cuya hidrólisis generaba más moléculas formadoras de membrana, permitiendo a poblaciones de vesículas reproducir su estructura.[13] El resultado merece el nombre: vesículas existentes aceleraban la formación de más material vesicular. Pero el ciclo portaba poca información individualizada. Una variación que mejorara una vesícula no quedaba codificada en secuencia y copiada con fiabilidad. Se logró repetición antes que herencia abierta.

La división física también emerge sin motores moleculares. Zhu y Szostak alimentaron membranas modelo hasta formar filamentos alargados; una cizalla suave los dividió conservando contenido.[9] Kensuke Kurihara y colegas coordinaron amplificación de ADN encapsulado con reproducción de vesículas gigantes.[12] Los experimentos muestran que ciclos de genoma y frontera pueden coexistir. Ácidos grasos externos, condiciones mecánicas, reactivos de PCR y lípidos sintéticos todavía cerraban desde fuera partes principales.

La química interna puede conferir crecimiento competitivo. En el experimento de Chen, ácido nucleico encapsulado alteraba presión osmótica e impulsaba captación de membrana.[7] En el de Adamala, un catalizador interno producía una molécula que mejoraba crecimiento.[11] El puente importa porque la selección no favorece un genoma por beneficiar a la membrana si ambos se separan. Falta codificación recíproca: los descendientes deben copiar la causa del éxito, reproducir la frontera y mantenerlas unidas durante generaciones.

El reparto añade una restricción numérica. Una protocélula pequeña con pocas copias de un catalizador esencial puede dividirse de modo desigual y producir una hija sin ninguna. Un compartimento mayor amortigua la pérdida, pero se parece más al medio masivo y quizá refugie parásitos. Adhesión molecular, localización de reacciones y división coordinada reducen el riesgo. No exigen igualdad perfecta, sino una distribución suficiente para que organizaciones exitosas dejen más paquetes exitosos que las demás.

El orden histórico sigue abierto. Una frontera reproductora pudo capturar replicadores; replicadores pudieron alterar compartimentos previos; el metabolismo pudo suministrar precursores de membrana antes de genomas precisos; o las funciones maduraron en lugares distintos y se fusionaron.[18,25,29] Un orden experimental exitoso demuestra posibilidad, no

exclusividad. La comparación decisiva pregunta si una ruta mantiene continuidad de materia, energía y función heredada sin que investigadores reinicien repetidamente el ciclo.

En qué punto estamos

La reproducción celular no es fisión de membrana más copia de genoma escritas en líneas separadas. Es su sincronización causal entre descendientes, con errores tolerables de reparto y tiempo. Esa integración pudo ocurrir con membranas distintas de las actuales. La biología moderna conserva una pista —y complicación— en la división química entre lípidos bacterianos y arqueanos.

6. La división lipídica oculta la frontera ancestral

Las bacterias construyen generalmente membranas con ácidos grasos unidos por enlaces éster a sn-glicerol-3-fosfato. Las arqueas usan cadenas isoprenoides unidas por éter a la estereoquímica especular del glicerol-fosfato. También difieren enzimas y rutas.[21] Esta división lipídica sorprende porque ambos grupos comparten traducción, código genético y otras evidencias de ascendencia común. Si su población común más profunda ya poseía membrana moderna, ¿de qué tipo era? El presente no ofrece una respuesta única.

Una propuesta sitúa una membrana simple o mixta antes de la separación, seguida de refinamiento o reemplazo independiente. Otra coloca linajes tempranos en compartimentos geoquímicos y hace posteriores las membranas modernas. Una tercera enfatiza divergencia antigua de biosíntesis lipídica.[21,25] Cada interpretación debe explicar ascendencia compartida, distribución de rutas y fisiología. La división no autoriza a declarar dos orígenes independientes; la evidencia molecular conservada de ascendencia común es mucho más amplia.[27]

Una supuesta imposibilidad química se ha probado directamente. Antonella Caforio y colegas modificaron *Escherichia coli* para sintetizar lípidos de tipo arqueano, que alcanzaron aproximadamente el 20–30 por ciento de la membrana junto a lípidos bacterianos.[19] La membrana híbrida heteroquiral sostuvo crecimiento y aumentó ligeramente robustez ante ciertos estreses. El experimento refuta que una estereoquímica mixta no pueda sostener células. No identifica la membrana de un ancestro de hace miles de millones de años.

La naturaleza también cruza la frontera de los manuales. Laura Villanueva y colegas hallaron que bacterias del superfilo FCB poseen genes con potencial para sintetizar lípidos éter arqueanos y describieron evidencia lipídica correspondiente.[20] Transferencia génica, retención o convergencia pueden explicar el patrón. Sea cual sea la dirección, una clasificación perfectamente binaria es demasiado simple. La química de membrana moderna se ha intercambiado y modificado, haciendo la reconstrucción ancestral más rica y menos directa.

La inferencia honesta es negativa pero útil. No podemos tomar una membrana moderna y eliminar complejidad hasta obtener la primera frontera celular. Selección, reemplazo y transferencia horizontal reescribieron el rastro. La viabilidad híbrida amplía transiciones posibles; no elige una. QTC-023 usará genes conservados para reconstruir un ancestro común, pero la división lipídica advierte que incluso un ancestro reconstruido quizá no conserve intacta la química de la celularización.

En qué punto estamos

La división de membranas bloquea una película inversa simple desde células modernas hasta la primera. La ascendencia compartida sobrevive, pero la química ancestral queda indeterminada. Eliminar genes de una célula viva parece otra ruta hacia atrás. También engaña, porque la sustracción empieza con un organismo cuyas estructuras y compatibilidades no contadas ya evolucionaron.

7. Las células mínimas no son células primitivas

La pregunta

Eliminar genes de una célula moderna pregunta qué puede perder ese descendiente mientras un laboratorio lo mantiene vivo. La primera célula afrontó el problema opuesto: cómo un sistema sin progenitor celular reunió funciones compatibles suficientes para dejar descendencia.

En 2016 Clyde Hutchison y una gran colaboración presentaron JCVI-syn3.0, una célula derivada de *Mycoplasma* con genoma de 531 kilobases y 473 genes.[22] Crecía y se dividía en un medio rico. La cifra era un mínimo experimental para un chasis bajo apoyo particular, no el genoma mínimo de la vida. Quitar un nutriente, cambiar temperatura o exigir independencia ecológica vuelve esenciales genes prescindibles en un laboratorio.

El genoma mínimo contenía otra sorpresa: aproximadamente un tercio de los genes retenidos carecía inicialmente de función específica asignada.[22] La reducción descubrió necesidad sin explicarla por completo. Jonathan Breuer y colegas combinaron después experimentos y modelos para cartografiar metabolismo esencial y dependencias ambientales.[24] La lección no es que la vida necesite exactamente 473 genes. Incluso un descendiente muy caracterizado esconde trabajo causal tras etiquetas como desconocido o suministrado por el medio.

La división expuso otro sistema oculto. JCVI-syn3.0 producía formas irregulares. James Pelletier y colegas restituyeron 19 genes para crear un derivado regular y hallaron que siete actuando juntos—incluidos genes conocidos de división y varios de membrana con función desconocida—bastaban para recuperar morfología casi normal.[23] Una célula satisface crecimiento poblacional aunque sus divisiones individuales sean físicamente desordenadas. Supervivencia mínima, reproducción fiable y mecanismo entendido son metas distintas.

La reducción de arriba abajo hereda mucho más que ADN. El citoplasma inicial ya contiene ribosomas, membranas, metabolitos, concentraciones y organización espacial producidos por una célula madre. Sus proteínas evolucionaron para trabajar juntas. El medio rico sustituye tareas biosintéticas. Esas herencias son precisamente lo que un modelo de origen debe explicar, no suponer. Las células mínimas cartografían dependencias, pero la evolución no corre hacia atrás eliminando genes hasta que aparezca la historia.

Las células sintéticas de abajo arriba plantean la pregunta complementaria. En 2026 Ana María Restrepo Sierra y colegas encerraron un sistema de seis genes que acoplaba replicación de ADN, transcripción-traducción y síntesis fosfolipídica en liposomas.[18] Solo una minoría mostró ambas funciones; el lípido nuevo promedió cerca del 0,7 por ciento del total y no generó crecimiento detectable. Traducción PURE, proteínas de fago, enzimas bacterianas, liposomas preparados y sustratos aportados hacían enorme trabajo heredado. La integración avanzó sin crear una primera célula histórica o autónoma.

En qué punto estamos

Las células mínimas y sintéticas se acercan a la integración desde direcciones opuestas y exponen dependencias al quitar o añadir funciones. Ninguna repite el origen. Su valor es más preciso: identifican qué bucles siguen apoyados desde fuera. Al enumerarlos, la búsqueda pasa de una primera célula a una transición entre poblaciones cuya organización todavía se volvía celular.

8. La celularización fue una transición, no un instante

La pregunta

Todos los organismos actuales pueden descender de una población ancestral compartida aunque químicas anteriores produjeran muchos linajes, intercambiaran innovaciones o fracasaran repetidamente. La genealogía de supervivientes no es un censo de todo lo que se acercó a la vida.

Douglas Theobald comparó formalmente modelos de ascendencia común y separada para secuencias proteicas conservadas y halló apoyo abrumador a la ascendencia común universal entre linajes vivos muestreados.[27] La conclusión es poderosa y más estrecha de lo que parece. No cuenta cuántos intentos de origen ocurrieron, localiza el primer replicador ni demuestra una célula aislada en la raíz. Dice que los organismos cuya maquinaria conservada sobrevive comparten ascendencia.

Carl Woese sostuvo que el ancestro más profundo pudo ser un estado comunal de progenotes, no una célula moderna plenamente integrada.[25] Componentes e innovaciones circularían entre linajes laxos antes de estabilizarse traducción y otros sistemas. Kalin Vetsigian, Woese y Nigel Goldenfeld modelaron después cómo el intercambio horizontal podía ayudar a universalizar un código genético compartido.[26] Los modelos no recuperan una población perdida, pero muestran por qué la historia temprana parece red antes de que la herencia posterior se vuelva principalmente arbórea.

La celularización encaja con esa posibilidad. Recetas de membrana, catalizadores, replicadores y rutas metabólicas no tuvieron que madurar dentro de un único linaje continuo de vesículas. Compartimentos pudieron fusionarse, fugarse, intercambiar polímeros u ocupar poros conectados. La selección actuó quizá sobre moléculas, paquetes y comunidades en momentos distintos. Finalmente, un acoplamiento estrecho hizo que una frontera reprodujera la química que la reproducía. La transición puede contener umbrales reales sin ofrecer una primera célula nombrable.

Una reconstrucción reciente sitúa a LUCA —el último ancestro común universal— alrededor de hace 4.200 millones de años e infiere un genoma de al menos unos 2,5 megabases, cerca de 2.600 proteínas e interacciones ecológicas.[28] Las estimaciones dependen de modelos, pero su implicación basta para esta frontera: LUCA probablemente estaba mucho más organizado que una primera protocélula frágil. Pertenece a la historia de vida celular establecida, no automáticamente al instante en que empezaron vida o células.

Ya podemos decir qué hace la evidencia. Las rocas establecen comunidades celulares tempranas pero empiezan tarde. Las protocélulas demuestran que frontera, copia, crecimiento y catálisis se conectan por subconjuntos. Células sintéticas y mínimas revelan apoyo oculto. La química lipídica impide una reconstrucción inversa simple. La filogenia identifica descendientes compartidos y

posible ascendencia comunal.[1,6,18,21,22,27,28] Ninguna línea ordena de forma única la transición. Juntas acotan un problema abierto real, no un misterio vacío.

En qué punto estamos

Las primeras células faltan como objetos, pero están cada vez más acotadas como proceso. La vida celular surgió cuando fronteras, química heredada, energía y reproducción se sostuvieron mutuamente entre descendientes. Quizá nunca nombremos al primer participante. QTC-023 plantea la siguiente pregunta respondible: ¿qué revelan los genomas supervivientes sobre el ancestro posterior del que descienden todos los linajes vivos?

Lo que sabemos y cómo lo sabemos

- Biosignaturas arcaicas convincentes ya registran comunidades microbianas, no la primera transición celular.[1,2]
- Vesículas de ácidos grasos y coacervados compartimentan química; varios sistemas crecen, se dividen o alojan copia.[6–15]
- Polímeros o catalizadores internos cambian el crecimiento de protocélulas y vinculan físicamente contenido y competencia.[7,11]
- La química de membrana bacteriana y arqueana difiere, pero híbridos viables muestran que mezclarlas no es intrínsecamente imposible.[19–21]
- Células mínimas y sintéticas heredan mucha maquinaria biológica y no recrean la primera célula histórica.[18,22–24]

Lo que todavía no sabemos

- Qué compartimento físico transmitió primero, si alguno, una distinción interior–exterior estable entre descendientes.
- El orden histórico en que síntesis de frontera, herencia, metabolismo, acoplamiento energético y división se volvieron interdependientes.
- Si las primeras poblaciones usaron ácidos grasos, lípidos mixtos, confinamiento mineral o fronteras hoy perdidas.
- Cuánto intercambio ocurrió entre linajes tempranos antes de emerger herencia celular vertical estable.
- Cuánto tiempo precedió la evolución celular al ancestro reconstruido como LUCA.

Qué podría hacernos cambiar de opinión

- Un fósil celular excepcionalmente conservado y datado independientemente, anterior a biosignaturas comunitarias aceptadas.
- Un linaje de protocélulas geoquímicamente limitado que sostenga membrana, transporte, energía, copia y división durante generaciones.
- Reconstrucción de enzimas ancestrales que identifique decisivamente la membrana previa a la separación bacterias–arqueas.
- Convergencia de células sintéticas de arriba abajo y abajo arriba en una arquitectura pequeña y autónoma sin apoyo celular heredado.
- Evidencia filogenómica que distinga con nitidez un ancestro celular único de una población temprana comunal.

Si solo recuerdas una cosa

Ningún experimento ni fósil conserva la primera célula. La celularización fue probablemente una transición gradual aún no resuelta que acopló fronteras, herencia, energía y reproducción; LUCA es un ancestro posterior, no el comienzo.

Artículos relacionados

- QTC-021 — Cuando la química empezó a evolucionar
- QTC-023 — LUCA: el antepasado que reconstruimos

Referencias

- [1] Abigail C. Allwood; Malcolm R. Walter; Balz S. Kamber; Craig P. Marshall; Ian W. Burch. Stromatolite Reef from the Early Archaean Era of Australia. *Nature* 441, 714–718 (2006). DOI 10.1038/nature04764. <https://doi.org/10.1038/nature04764>
- [2] Tara Djokic; Martin J. Van Kranendonk; Kathleen A. Campbell; Malcolm R. Walter; Colin R. Ward. Earliest Signs of Life on Land Preserved in ca. 3.5 Ga Hot Spring Deposits. *Nature Communications* 8, 15263 (2017). DOI 10.1038/ncomms15263. <https://doi.org/10.1038/ncomms15263>
- [3] Allen P. Nutman; Vickie C. Bennett; Clark R. L. Friend; Martin J. Van Kranendonk; Allan R. Chivas. Rapid Emergence of Life Shown by Discovery of 3,700-Million-Year-Old Microbial Structures. *Nature* 537, 535–538 (2016). DOI 10.1038/nature19355. <https://doi.org/10.1038/nature19355>
- [4] Abigail C. Allwood; Minik T. Rosing; David T. Flannery; Joel A. Hurowitz; Christopher M. Heirwegh. Reassessing Evidence of Life in 3,700-Million-Year-Old Rocks of Greenland. *Nature* 563, 241–244 (2018). DOI 10.1038/s41586-018-0610-4. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0610-4>
- [5] Matthew S. Dodd; Dominic Papineau; Tor Grenne; John F. Slack; Martin Rittner; Franco Pirajno; Jonathan O’Neil; Crispin T. S. Little. Evidence for Early Life in Earth’s Oldest Hydrothermal Vent Precipitates. *Nature* 543, 60–64 (2017). DOI 10.1038/nature21377. <https://doi.org/10.1038/nature21377>
- [6] Martin M. Hanczyc; Shelly M. Fujikawa; Jack W. Szostak. Experimental Models of Primitive Cellular Compartments: Encapsulation, Growth, and Division. *Science* 302, 618–622 (2003). DOI 10.1126/science.1089904. <https://doi.org/10.1126/science.1089904>
- [7] Irene A. Chen; Richard W. Roberts; Jack W. Szostak. The Emergence of Competition between Model Protocells. *Science* 305, 1474–1476 (2004). DOI 10.1126/science.1100757. <https://doi.org/10.1126/science.1100757>
- [8] Sheref S. Mansy; Jason P. Schrum; Mathangi Krishnamurthy; Sylvia Tobé; Douglas A. Treco; Jack W. Szostak. Template-Directed Synthesis of a Genetic Polymer in a Model Protocell. *Nature* 454, 122–125 (2008). DOI 10.1038/nature07018. <https://doi.org/10.1038/nature07018>
- [9] Ting F. Zhu; Jack W. Szostak. Coupled Growth and Division of Model Protocell Membranes. *Journal of the American Chemical Society* 131, 5705–5713 (2009). DOI 10.1021/ja900919c. <https://doi.org/10.1021/ja900919c>

- [10] Katarzyna Adamala; Jack W. Szostak. Nonenzymatic Template-Directed RNA Synthesis Inside Model Protocells. *Science* 342, 1098–1100 (2013). DOI 10.1126/science.1241888. <https://doi.org/10.1126/science.1241888>
- [11] Katarzyna Adamala; Jack W. Szostak. Competition between Model Protocells Driven by an Encapsulated Catalyst. *Nature Chemistry* 5, 495–501 (2013). DOI 10.1038/nchem.1650. <https://doi.org/10.1038/nchem.1650>
- [12] Kensuke Kurihara; Mieko Tamura; Koh-ichiroh Shohda; Taro Toyota; Kentaro Suzuki; Tadashi Sugawara. Self-Reproduction of Supramolecular Giant Vesicles Combined with the Amplification of Encapsulated DNA. *Nature Chemistry* 3, 775–781 (2011). DOI 10.1038/nchem.1127. <https://doi.org/10.1038/nchem.1127>
- [13] Peter Walde; Roger Wick; Massimo Fresta; Annarosa Mangone; Pier Luigi Luisi. Autopoietic Self-Reproduction of Fatty Acid Vesicles. *Journal of the American Chemical Society* 116, 11649–11654 (1994). DOI 10.1021/ja00105a004. <https://doi.org/10.1021/ja00105a004>
- [14] T.-Y. Dora Tang; C. Rohaida Che Hak; Alexander J. Thompson; Marina K. Kuimova; D. S. Williams; Adam W. Perriman; Stephen Mann. Fatty Acid Membrane Assembly on Coacervate Microdroplets as a Step Towards a Hybrid Protocell Model. *Nature Chemistry* 6, 527–533 (2014). DOI 10.1038/nchem.1921. <https://doi.org/10.1038/nchem.1921>
- [15] Björn Drobot; Juan M. Iglesias-Artola; Kristian Le Vay; Viktoria Mayr; Mrityunjy Kar; Moritz Kreysing; Hannes Mutschler; T-Y Dora Tang. Compartmentalised RNA Catalysis in Membrane-Free Coacervate Protocells. *Nature Communications* 9, 3643 (2018). DOI 10.1038/s41467-018-06072-w. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06072-w>
- [16] Marian Simon Rafael Ebeling; Otto Berninghausen; Khang Hoang Nguyen; Roland Beckmann; Oliver Trapp. Organocatalyzed Bottom-Up Formation of Protocells. *Nature Communications* 17, 1983 (2026). DOI 10.1038/s41467-026-69597-5. <https://doi.org/10.1038/s41467-026-69597-5>
- [17] Satyam Khanal; Alessandro Fracassi; Alexander Harjung; Michael D. Burkart; Neal K. Devaraj. Breaking the Membrane Heredity Paradox Through De Novo Protocell Formation. *Nature Communications* 17, 6920 (2026). DOI 10.1038/s41467-026-73667-z. <https://doi.org/10.1038/s41467-026-73667-z>
- [18] Ana María Restrepo Sierra; Federico Ramirez Gomez; Mats van Tongeren; Laura Sierra Heras; Christophe Danelon. A Synthetic Cell with Integrated DNA Self-Replication and Lipid Biosynthesis. *Nature Communications* 17, 2727 (2026). DOI 10.1038/s41467-026-69531-9. <https://doi.org/10.1038/s41467-026-69531-9>
- [19] Antonella Caforio; Melvin F. Siliakus; Marten Exterkate; Samta Jain; Varsha R. Jumde; Ruben L. H. Andringa; Servé W. M. Kengen; Adriaan J. Minnaard; Arnold J. M. Driessen; John van der Oost. Converting *Escherichia coli* into an Archaeobacterium with a Hybrid Heterochiral Membrane. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115, 3704–3709 (2018). DOI 10.1073/pnas.1721604115. <https://doi.org/10.1073/pnas.1721604115>
- [20] Laura Villanueva; F A Bastiaan von Meijenfildt; Alexander B Westbye; Subhash Yadav; Ellen C Hopmans; Bas E Dutilh; Jaap S Sinninghe Damsté. Bridging the Membrane Lipid Divide: Bacteria of the FCB Group Superphylum Have the Potential to Synthesize Archaeal Ether Lipids. *The ISME*

Journal 15, 168–182 (2021). DOI 10.1038/s41396-020-00772-2. <https://doi.org/10.1038/s41396-020-00772-2>

[21] Jonathan Lombard; Purificación López-García; David Moreira. The Early Evolution of Lipid Membranes and the Three Domains of Life. *Nature Reviews Microbiology* 10, 507–515 (2012). DOI 10.1038/nrmicro2815. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2815>

[22] Clyde A. Hutchison, III; Ray-Yuan Chuang; Vladimir N. Noskov; Nacyra Assad-Garcia; Thomas J. Deerinck; Mark H. Ellisman; John Gill; Krishna Kannan; Bogumil J. Karas; Li Ma; James F. Pelletier; Zhi-Qing Qi; R. Alexander Richter; Elizabeth A. Strychalski; Lijie Sun; Yo Suzuki; Billyana Tsvetanova; Kim S. Wise; Hamilton O. Smith; John I. Glass; Chuck Merryman; Daniel G. Gibson; J. Craig Venter. Design and Synthesis of a Minimal Bacterial Genome. *Science* 351, aad6253 (2016). DOI 10.1126/science.aad6253. <https://doi.org/10.1126/science.aad6253>

[23] James F. Pelletier; Lijie Sun; Kim S. Wise; Nacyra Assad-Garcia; Bogumil J. Karas; Thomas J. Deerinck; Mark H. Ellisman; Andreas Mershin; Neil Gershenfeld; Ray-Yuan Chuang; John I. Glass; Elizabeth A. Strychalski. Genetic Requirements for Cell Division in a Genomically Minimal Cell. *Cell* 184, 2430–2440.e16 (2021). DOI 10.1016/j.cell.2021.03.008. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.03.008>

[24] Marian Breuer; Emmy E Earnest; Chuck Merryman; Kim S Wise; Lijie Sun; Michaela R Lynott; Clyde A Hutchison; Hamilton O Smith; John D Lapek; David J Gonzalez; Valérie de Crécy-Lagard; Drago Haas; Andrew D Hanson; Piyush Labhsetwar; John I Glass; Zaida Luthey-Schulten. Essential Metabolism for a Minimal Cell. *eLife* 8, e36842 (2019). DOI 10.7554/eLife.36842. <https://doi.org/10.7554/eLife.36842>

[25] Carl Woese. The Universal Ancestor. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 95, 6854–6859 (1998). DOI 10.1073/pnas.95.12.6854. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.12.6854>

[26] Kalin Vetsigian; Carl Woese; Nigel Goldenfeld. Collective Evolution and the Genetic Code. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103, 10696–10701 (2006). DOI 10.1073/pnas.0603780103. <https://doi.org/10.1073/pnas.0603780103>

[27] Douglas L. Theobald. A Formal Test of the Theory of Universal Common Ancestry. *Nature* 465, 219–222 (2010). DOI 10.1038/nature09014. <https://doi.org/10.1038/nature09014>

[28] Edmund R. R. Moody; Sandra Álvarez-Carretero; Tara A. Mahendrarajah; James W. Clark; Holly C. Betts; Nina Dombrowski; Lénárd L. Szánthó; Richard A. Boyle; Stuart Daines; Xi Chen; Nick Lane; Ziheng Yang; Graham A. Shields; Gergely J. Szöllősi; Anja Spang; Davide Pisani; Tom A. Williams; Timothy M. Lenton; Philip C. J. Donoghue. The Nature of the Last Universal Common Ancestor and Its Impact on the Early Earth System. *Nature Ecology & Evolution* 8, 1654–1666 (2024). DOI 10.1038/s41559-024-02461-1. <https://doi.org/10.1038/s41559-024-02461-1>

[29] Nick Lane; William F. Martin. The Origin of Membrane Bioenergetics. *Cell* 151, 1406–1416 (2012). DOI 10.1016/j.cell.2012.11.050. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2012.11.050>

[30] M. G. Sacerdote; J. W. Szostak. Semipermeable Lipid Bilayers Exhibit Diastereoselectivity Favoring Ribose. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102, 6004–6008 (2005). DOI 10.1073/pnas.0408440102. <https://doi.org/10.1073/pnas.0408440102>

[31] Jack W. Szostak; David P. Bartel; P. Luigi Luisi. Synthesizing life. *Nature* 409, 387–390 (2001). DOI 10.1038/35053176. <https://doi.org/10.1038/35053176>

