

VOLUMEN COMPLEMENTARIO QTC

Del quark a la consciencia

Edición juvenil

Veintisiete preguntas guiadas por pruebas para lectores de 13 a 17 años

Juan Segurola

Edición v1.0 | 5 de septiembre de 2026

DOI: 10.5281/zenodo.22337834

© 2026 Juan Segurola. All Rights Reserved.

Cómo leer este volumen

La ciencia no avanza reuniendo respuestas definitivas. Avanza mediante preguntas que pueden conectarse con pruebas, poniendo a prueba esos vínculos y declarando con claridad dónde termina una explicación. Los 27 capítulos de este volumen siguen ese patrón a través de la física, la astronomía, la química y la biología.

Cada capítulo tiene cinco partes. La pregunta identifica el problema. La idea central ofrece la respuesta defendible más breve. Las pruebas y el razonamiento muestran cómo la sostienen observaciones, experimentos y modelos. La propuesta de investigación invita a examinar la lógica en vez de limitarse a recordarla. El límite indica qué no establece el capítulo.

Algunos resultados son mediciones directas; otros son reconstrucciones o inferencias. Un modelo no es una conjetura: es una explicación estructurada que debe concordar con las observaciones y permanecer abierta a corrección. Al mismo tiempo, un modelo exitoso no debe extenderse más allá de las pruebas que lo sostienen. Cuando un problema sigue sin resolverse, el capítulo lo declara.

Estos capítulos son adaptaciones independientes de los artículos científicos canónicos QTC. Conservan sus afirmaciones e incertidumbres científicas con una estructura destinada a lectores de 13 a 17 años. Puedes leerlos en orden o empezar por cualquier pregunta que despierte tu interés. En ambos casos, sigue preguntando tres cosas: ¿qué se observó?, ¿qué razonamiento conecta la observación con la conclusión? y ¿qué pruebas podrían cambiar esa conclusión?

Índice

QTC	Question / Pregunta
QTC-001	¿Por qué una imagen astronómica no retrata un solo momento?
QTC-002	¿Qué descarta la oscuridad del cielo nocturno?
QTC-003	¿Qué hace que una superficie resista a tu mano?
QTC-004	¿Qué parte de nosotros procede del universo temprano y cuál de las estrellas?
QTC-005	¿Cómo puede la luz decirnos de qué está hecha una estrella si nadie puede tomar una muestra?
QTC-006	¿Cómo miden los astrónomos distancias a las que no puede llegar ninguna cinta métrica?
QTC-007	¿Cómo llegó la Tierra a tener miles de millones de años en la ciencia, y no solo una edad inimaginable?
QTC-008	¿Por qué las células dedican tanto esfuerzo a mantener diferencias a través de sus membranas?
QTC-009	¿Qué quiere decir la ciencia cuando llama vivo a algo?
QTC-010	¿Cómo puede la evolución ser a la vez aleatoria y no aleatoria?
QTC-011	¿Cuál es la luz más antigua que puede observar un telescopio?
QTC-012	Si el Big Bang no fue una bomba, ¿qué describe realmente esa expresión?
QTC-013	¿Cómo pueden los científicos reconstruir una era que ningún telescopio puede fotografiar?
QTC-014	Si materia y antimateria pueden producirse por pares, ¿por qué hay a nuestro alrededor un pequeño exceso de materia?

QTC	Question / Pregunta
QTC-015	¿Cómo estudian los astrónomos las primeras estrellas si no se ha confirmado ninguna estrella individual sin metales?
QTC-016	¿Se construye un planeta con una única receta o mediante muchos procesos que pueden seguir rutas diferentes?
QTC-017	¿Qué fecha una datación radiométrica: una roca, un mineral o un acontecimiento?
QTC-018	¿Qué transformó la deriva continental de una idea llamativa en tectónica de placas?
QTC-019	¿Regula la Tierra su clima como un termostato y, si es así, por qué el clima puede cambiar de forma tan drástica?
QTC-020	¿Necesitó la vida una cuna perfecta o un planeta que hacía muchos ensayos a la vez?
QTC-021	¿Cuándo deja la química de repetirse y empieza a mejorar?
QTC-022	¿Por qué no hay ningún fósil de la primera célula y qué debe ocupar su lugar?
QTC-023	¿Cómo se reconstruye un antepasado que nadie excavó nunca?
QTC-024	¿Por qué la Tierra parece dominada por bosques y animales si los microbios gobiernan el planeta?
QTC-025	¿Cómo puede una roca contarte cómo era el aire antes de que nadie pudiera respirarlo?
QTC-026	¿Cómo puede una célula conservar aún el registro de una asociación de hace más de mil millones de años?
QTC-027	¿Sigue significando algo el árbol de la vida si los genes pueden moverse entre linajes?

QTC-001 | ¿Por qué una imagen astronómica no retrata un solo momento?

Base canónica: QTC-001 · Todo lo que ves pertenece al pasado

Pregunta. Un telescopio puede registrar la Luna, una estrella cercana y una galaxia en una sola exposición. ¿Muestra la fotografía cómo eran esos objetos al mismo tiempo?

Idea central. No. El detector recibe juntos los fotones, pero esos fotones iniciaron su viaje en momentos muy diferentes. Por eso la astronomía estudia señales y reconstrucciones: una imagen registra llegadas al telescopio, mientras que describir la fuente exige modelar de dónde procede la señal y cómo ha viajado.

Pruebas y razonamiento. En el siglo XVII, Ole Rømer observó que los eclipses de Ío, una luna de Júpiter, parecían adelantarse o retrasarse cuando cambiaba la posición de la Tierra. Ese patrón temporal era evidencia de un trayecto luminoso cambiante, no una medida directa y autosuficiente de la velocidad de la luz. Hacía falta una escala de distancia para convertir el retraso en velocidad, y James Bradley alcanzó después la misma conclusión mediante la aberración estelar. Rutas independientes importan porque pueden revelar una explicación que encaja por casualidad con una sola observación.

Propuesta de investigación. Imagina que tres noticias llegan a tu teléfono en el mismo minuto, aunque se escribieron hace un segundo, ocho minutos y dos millones de años. ¿Qué hechos puedes afirmar directamente a partir de los mensajes? ¿Qué afirmaciones sobre el presente serían una predicción y no una observación?

Límite de la afirmación. El retraso de propagación puede calcularse y corregirse en muchas mediciones. No crea un presente universal único para lugares distantes. En cosmología, el tiempo de mirada al pasado, la distancia y la coordenada temporal asignada a un acontecimiento son cantidades distintas.

QTC-002 | ¿Qué descarta la oscuridad del cielo nocturno?

Base canónica: QTC-002 · ¿Por qué el cielo nocturno es oscuro?

Pregunta. ¿Por qué la oscuridad se convierte en una observación cosmológica y no solo en la falta de luz visible?

Idea central. Un cielo oscuro contradice un modelo sencillo en el que las estrellas han brillado siempre dentro de un universo inmutable y poblado de manera uniforme. En ese modelo, las capas más lejanas contienen más estrellas y la luz acumulada no desaparece solo porque cada fuente individual esté más lejos. La oscuridad observada indica, por tanto, que al menos una premisa del modelo falla.

Pruebas y razonamiento. La cuestión decisiva no es un brillo matemáticamente infinito. Las estrellas reales tienen superficies finitas y opacas, de modo que una población suficientemente antigua de estrellas duraderas cubriría casi toda línea de visión con fotosferas. El polvo tampoco salva el modelo antiguo: absorbe radiación, se calienta y devuelve energía en otras longitudes de onda. La cosmología actual añade la condición que falta: estrellas y galaxias poseen una historia luminosa finita. La expansión y el corrimiento al rojo modifican además el fondo, sobre todo en bandas concretas, pero no son toda la explicación.

Propuesta de investigación. Anota los supuestos de la paradoja clásica: un pasado eterno, una distribución aproximadamente uniforme de fuentes duraderas y tiempo suficiente para que llegue su radiación. Elimina uno cada vez. ¿Qué cambio responde a la observación y cuál solo cambia la forma de plantear la pregunta?

Límite de la afirmación. La oscuridad visible no significa que el universo carezca de radiación ni demuestra que el espacio tenga un borde. Los instrumentos de microondas, por ejemplo, detectan radiación que llega desde todas las direcciones. La afirmación se refiere al cielo óptico y a la historia finita de las fuentes luminosas.

QTC-003 | ¿Qué hace que una superficie resista a tu mano?

Base canónica: QTC-003 · ¿Por qué las cosas sólidas son sólidas?

Pregunta. Si los átomos contienen un núcleo diminuto y estados electrónicos extendidos, ¿por qué una mesa detiene la mano en lugar de dejarla pasar?

Idea central. El contacto ordinario no es un choque entre cáscaras microscópicas duras. Al presionar dos materiales, cambian sus disposiciones electrónicas, sus interacciones eléctricas y los estados cuánticos permitidos, de modo que aumenta la energía total. La fuerza que sentimos es el resultado macroscópico de esa subida pronunciada de energía y de pequeñas deformaciones en ambos materiales.

Pruebas y razonamiento. La física separa dos problemas relacionados. La mecánica cuántica explica por qué un electrón de un átomo ocupa un estado finito estable en vez de caer sobre el núcleo. En la materia macroscópica, los electrones son fermiones y no pueden ocupar todos un mismo estado de baja energía cuando se apiñan. Esa restricción estadística no es una fuerza adicional llamada «repulsión de Pauli»: es una limitación de los estados cuánticos que tiene consecuencias mecánicas. Las enanas blancas ofrecen una prueba llamativa porque su relación medida entre masa y radio sigue la misma física de degeneración a escala estelar.

Propuesta de investigación. Compara un muelle, una goma elástica y un bloque de madera. Cada uno responde de forma distinta. ¿Qué observación informa sobre la respuesta del material y cuál se limitaría a repetir la etiqueta cotidiana «sólido»? Después pregunta qué cambio microscópico de energía podría sostener una fuerza de restitución.

Límite de la afirmación. «Los átomos son casi todo espacio vacío» es una afirmación de escala, no una imagen física completa. El tamaño aparente del átomo procede de un estado cuántico extendido, y ni el contacto ni la estabilidad de la materia se explican mediante un solo ingrediente aislado.

QTC-004 | ¿Qué parte de nosotros procede del universo temprano y cuál de las estrellas?

Base canónica: QTC-004 · ¿Dónde se fabricaron los átomos de tu cuerpo?

Pregunta. ¿Es «estamos hechos de polvo de estrellas» una frase verdadera, falsa o incompleta cuando distinguimos entre el número de átomos y la masa de un cuerpo?

Idea central. El Big Bang y las estrellas posteriores forman parte de la respuesta. Los núcleos de hidrógeno se fabricaron principalmente en el universo temprano, mientras que gran parte del carbono y el oxígeno que dominan la masa corporal se ensambló después mediante procesos estelares. El resultado depende de qué se cuente: el hidrógeno es muy abundante por número, pero oxígeno y carbono pesan mucho más.

Pruebas y razonamiento. Las reacciones nucleares, los espectros astronómicos, los meteoritos y los modelos de evolución química apuntan a una herencia galáctica mezclada. Los primeros minutos produjeron sobre todo hidrógeno y helio, no toda la tabla periódica. Las estrellas forman muchos núcleos pesados, pero sus vidas y muertes aportan cosas distintas. La captura de neutrones, las fusiones de objetos compactos y la espalación de rayos cósmicos añaden otras rutas, por lo que un elemento puede heredar varias rutas de producción, y no existe una tabla periódica honesta en la que cada elemento tenga un único lugar de nacimiento. La coincidencia entre el deuterio primordial previsto y el observado es especialmente importante; el problema no resuelto del litio muestra que un marco exitoso puede conservar una anomalía real.

Propuesta de investigación. Toma dos descripciones del mismo cuerpo: una enumera cuántos átomos tiene de cada elemento y otra da fracciones de masa. Explica por qué ambas pueden ser correctas y, aun así, producir titulares distintos sobre el origen cósmico. ¿Qué información necesitarías antes de asignar un núcleo a una estrella concreta?

Límite de la afirmación. Los núcleos individuales normalmente no pueden rastrearse hasta una explosión ancestral única. El Sistema Solar se formó con material mezclado durante muchas generaciones, y las contribuciones relativas de algunos procesos de elementos pesados siguen en investigación.

QTC-005 | ¿Cómo puede la luz decirnos de qué está hecha una estrella si nadie puede tomar una muestra?

Base canónica: QTC-005 · ¿Cómo sabemos de qué están hechas las estrellas?

Pregunta. ¿Cómo puede la luz decirnos de qué está hecha una estrella si nadie puede tomar una muestra?

Idea central. El espectro de una estrella conserva huellas de la interacción de átomos e iones con la luz. Su patrón permite identificar especies químicas, pero no indica automáticamente sus cantidades.

Pruebas y razonamiento. Las mediciones de laboratorio establecen qué longitudes de onda puede producir cada transición. Después, los astrónomos comparan varias líneas compatibles con un modelo de la atmósfera estelar. La temperatura, la presión, la ionización, la excitación atómica y las mezclas de líneas modifican su aspecto. Por eso fue decisivo que Cecilia Payne aplicara física de ionización: mostró que espectros distintos no obligan a pensar que las estrellas tienen composiciones globales completamente diferentes. El hidrógeno y el helio dominan las atmósferas estelares ordinarias aunque sus líneas visibles cambien mucho según las condiciones.

Propuesta de investigación. ¿Por qué una coincidencia con una línea de laboratorio es necesaria, pero insuficiente, para calcular una abundancia estelar?

Límite de la afirmación. La espectroscopia ofrece una inferencia restringida por pruebas, no un frasco de gas estelar. Los análisis modernos siguen dependiendo de datos atómicos y modelos atmosféricos, y hasta el Sol conserva desacuerdos de alta precisión entre algunas abundancias y la heliosismología.

QTC-006 | ¿Cómo miden los astrónomos distancias a las que no puede llegar ninguna cinta métrica?

Base canónica: QTC-006 · ¿A qué distancia está el universo? La escalera de distancias cósmicas

Pregunta. ¿Cómo miden los astrónomos distancias a las que no puede llegar ninguna cinta métrica?

Idea central. La distancia cósmica se construye con mediciones conectadas, no con una regla universal. La geometría calibra objetos cercanos, que a su vez calibran indicadores más brillantes y lejanos.

Pruebas y razonamiento. La paralaje mide el pequeño desplazamiento aparente de una estrella cercana cuando la Tierra cambia de posición en su órbita. Las distancias geométricas a binarias eclipsantes de la Gran Nube de Magallanes y a máseres de agua en NGC 4258 ayudan a calibrar estrellas variables Cefeidas. Las Cefeidas calibran después supernovas de tipo Ia, visibles a distancias mucho mayores. Estos enlaces se solapan, por lo que los astrónomos comparan incertidumbres y fuentes de error compartidas en vez de tratar cada paso como independiente. A gran escala, el corrimiento al rojo informa sobre la expansión, pero no es por sí mismo una distancia.

Propuesta de investigación. ¿Por qué sería engañoso describir la escalera moderna de distancias como una fila de escalones completamente separados?

Límite de la afirmación. La tensión de Hubble es un desacuerdo medido entre resultados de distancia del universo tardío y valores inferidos de datos del universo temprano bajo Lambda-CDM base. Todavía no demuestra ni un error sistemático oculto ni nueva física.

QTC-007 | ¿Cómo llegó la Tierra a tener miles de millones de años en la ciencia, y no solo una edad inimaginable?

Base canónica: QTC-007 · El tiempo profundo

Pregunta. ¿Cómo llegó la Tierra a tener miles de millones de años en la ciencia, y no solo una edad inimaginable?

Idea central. La geología aprendió dos cosas diferentes: primero el orden de los sucesos y después sus edades numéricas. Ninguna de las dos salió de una única roca o de un único experimento decisivo.

Pruebas y razonamiento. Las capas, las intrusiones que cortan rocas anteriores, las discordancias y la sucesión de fósiles establecen un orden relativo. Los intentos de transformar ese orden en años dieron respuestas distintas porque los modelos de enfriamiento, erosión y transporte de calor contenían supuestos diferentes. La desintegración radiactiva aportó relojes duraderos, pero hubo que controlar contaminación y elección de material. Los meteoritos y las mediciones de isótopos de plomo son especialmente importantes porque la Tierra ha reciclado repetidamente gran parte de su material más antiguo. En conjunto, historia geológica, modelos físicos y relojes isotópicos convergen en una edad próxima a 4,54 mil millones de años.

Propuesta de investigación. ¿Por qué un resultado erróneo obtenido con un modelo serio informa más que una conjetura que simplemente falla?

Límite de la afirmación. El carbono-14 sirve principalmente para materiales relativamente recientes que formaron parte de seres vivos, no para la edad del planeta. La edad aceptada es una reconstrucción convergente con incertidumbre, no una cifra leída directamente en la roca terrestre más antigua conservada.

QTC-008 | ¿Por qué las células dedican tanto esfuerzo a mantener diferencias a través de sus membranas?

Base canónica: QTC-008 · La vida funciona con gradientes

Pregunta. ¿Por qué las células dedican tanto esfuerzo a mantener diferencias a través de sus membranas?

Idea central. Las células usan diferencias de concentración iónica y carga eléctrica como fuentes controladas de cambio útil. Una membrana hace disponible esa diferencia sin tener que ser perfectamente estanca.

Pruebas y razonamiento. El transporte de electrones, reacciones impulsadas por la luz y otros procesos pueden bombear iones a través de membranas selectivas. El gradiente electroquímico resultante incluye concentración y voltaje. La ATP sintasa ofrece a los iones una vía de retorno controlada y acopla su movimiento a la producción de ATP. Peter Mitchell propuso en 1961 esta explicación basada en la membrana, sustituyendo la expectativa de un intermediario químico común de alta energía. Su aceptación dependió de experimentos convergentes, seguidos por trabajo estructural y observaciones directas de rotación molecular. Algunos sistemas usan sodio en vez de protones y el ATP también puede formarse directamente durante el metabolismo.

Propuesta de investigación. ¿Qué se gana al tratar una membrana como parte de un mecanismo y no como un recipiente alrededor de reacciones?

Límite de la afirmación. Un gradiente es una fuente de energía libre, no un sistema vivo por sí mismo. Los gradientes naturales pueden importar en la investigación sobre el origen de la vida, pero todavía no explican completamente cómo empezó la vida.

QTC-009 | ¿Qué quiere decir la ciencia cuando llama vivo a algo?

Base canónica: QTC-009 · ¿Qué queremos decir realmente cuando hablamos de vida?

Pregunta. ¿Por qué la biología no ha fijado una definición breve que clasifique todos los casos conocidos y desconocidos como vivos o no vivos?

Idea central. A la palabra vida se le piden varios trabajos. Una regla de clasificación ordena casos como virus o sistemas sintéticos. Una teoría explica cómo se mantiene una organización viviente. Una regla operativa indica a un instrumento qué debe buscar. Esas tareas se solapan, pero una definición que funciona para una no funciona automáticamente para las demás.

Pruebas y razonamiento. Las listas familiares revelan enseguida un problema de nivel. Una persona, una mula o una hormiga obrera estéril está viva aunque ese individuo no se reproduzca; el cambio evolutivo pertenece a un linaje reproductivo. Las esporas latentes pueden mostrar una actividad extremadamente reducida y seguir siendo viables. Los virus evolucionan, pero necesitan células para reproducirse, mientras viroides y priones complican el límite de otros modos. Los marcos propuestos destacan combinaciones distintas de metabolismo, frontera, autoproducción, herencia y evolución abierta. Ninguno se acepta como solución universal, en parte porque todos los organismos celulares conocidos de la Tierra comparten una ascendencia profunda: un rasgo común a todos puede ser necesario o reflejar una sola historia evolutiva exitosa.

Propuesta de investigación. Elige un propósito: clasificar un virus en un libro, diseñar una medida para una nave espacial o explicar una célula que se mantiene a sí misma. Escribe un criterio útil para ese propósito. Después pruébalo con un organismo estéril, una espora latente y un virus. ¿Qué fallo es un defecto y cuál indica que el criterio fue diseñado para otra tarea?

Límite de la afirmación. La falta de una definición universal no vuelve la cuestión arbitraria. Declara unidad, propósito y criterios antes de examinar un caso, y después busca pruebas que separen un sistema vivo de alternativas no vivas creíbles. Las moléculas orgánicas, la habitabilidad o una señal extraña aislada no demuestran vida.

QTC-010 | ¿Cómo puede la evolución ser a la vez aleatoria y no aleatoria?

Base canónica: QTC-010 - Variación al azar y un filtro

Pregunta. Si las mutaciones aparecen al azar, ¿por qué a veces las poblaciones llegan a estar bien adaptadas a su ambiente?

Idea central. En evolución, azar significa que una mutación no aparece porque vaya a ser útil. No significa que los sucesos moleculares carezcan de causa ni que todos los cambios sean igual de probables. La selección natural es una clasificación no aleatoria: las variantes que dejan números distintos de descendientes en un ambiente definido pueden cambiar de frecuencia. Ninguno de los dos procesos tiene previsión.

Pruebas y razonamiento. La química molecular, la secuencia de ADN y los procesos de reparación sesgan qué mutaciones surgen, pero esos sesgos no predicen el beneficio futuro. Experimentos con resistencia bacteriana hicieron visible el orden: las variantes resistentes existían antes del desafío y el desafío cambió después su éxito relativo. Darwin y Wallace describieron la selección antes de conocer genes y ADN; la genética moderna explica la transmisión, pero no convierte la selección en un plan. La deriva, migración, recombinación, restricciones del desarrollo y orden histórico también modifican los resultados. La aptitud siempre es relativa a un ambiente concreto, no una clasificación universal de organismos.

Propuesta de investigación. Piensa en una población bacteriana antes de añadir un antibiótico. Escribe dos historias: una en la que las células cambian porque necesitan resistencia y otra en la que ya existen variantes poco frecuentes y el antibiótico cambia qué descendientes permanecen. ¿Qué observación sobre el momento de aparición distinguiría ambas historias?

Límite de la afirmación. La selección natural puede producir adaptaciones sorprendentes sin producir perfección, complejidad inevitable ni progreso moral. Las historias evolutivas conservan compromisos, estructuras reutilizadas y trayectorias que dependen de qué cambios llegaron primero.

QTC-011 | ¿Cuál es la luz más antigua que puede observar un telescopio?

Base canónica: QTC-011 · La luz más antigua que podemos observar

Pregunta. ¿Muestra el fondo cósmico de microondas el comienzo del universo?

Idea central. Muestra la radiación electromagnética más antigua que nos llega desde todas las direcciones, no el primer instante del cosmos. Durante unos 380.000 años tras la fase temprana caliente, los electrones libres dispersaban los fotones con tanta frecuencia que la luz ordinaria no podía viajar libremente. Cuando se formaron átomos, la mayoría de los fotones se desacopló y la expansión los llevó a la radiación de microondas observada hoy.

Pruebas y razonamiento. Un universo caliente en expansión predijo radiación relictas antes de que Penzias y Wilson hallaran en 1965 un exceso de antena sin explicar. Aquella medida a una frecuencia era evidencia que debía comprobarse, no un espectro completo. COBE midió después la forma de cuerpo negro casi perfecta esperada de una radiación térmica. COBE, WMAP y Planck cartografiaron variaciones diminutas de temperatura y polarización, y Planck añadió la lente gravitatoria. Esos patrones conservan información del plasma temprano de fotones y bariones. Sin embargo, los mapas publicados son reconstrucciones: el comportamiento del detector, la calibración, la emisión de primer plano, las máscaras y los métodos estadísticos intervienen en la inferencia.

Propuesta de investigación. Compara una fotografía tomada a través de un cristal esmerilado con un registro de luz liberada después de que el cristal se aclare. ¿Qué acontecimientos puede mostrar directamente la luz posterior y cuáles solo pueden inferirse de los patrones grabados en ella? ¿Cómo comprobarías que un patrón aparente pertenece a la fuente y no al cristal o la cámara?

Límite de la afirmación. La superficie de última dispersión no es una envoltura material centrada en la Tierra y tiene espesor finito, no un solo instante exacto. La CMB puede restringir condiciones anteriores por sus consecuencias, pero no retrata directamente el tiempo cero ni elimina la dependencia de modelos cosmológicos.

QTC-012 | Si el Big Bang no fue una bomba, ¿qué describe realmente esa expresión?

Base canónica: QTC-012 · ¿Qué queremos decir realmente cuando hablamos del Big Bang?

Pregunta. Si el Big Bang no fue una bomba, ¿qué describe realmente esa expresión?

Idea central. La afirmación fiable es que el universo observable fue más caliente, más denso y estaba en expansión. No exige una explosión desde un punto dentro de un espacio vacío preexistente.

Pruebas y razonamiento. Varias líneas de evidencia alcanzan esta historia desde direcciones distintas: los corrimientos al rojo y relaciones de distancia de galaxias, el fondo cósmico de microondas, las abundancias de elementos ligeros y la estructura a gran escala. No todas miden el mismo episodio. Los núcleos ligeros se formaron principalmente en los primeros minutos, mientras el fondo de microondas se liberó mucho después, cuando pudieron formarse átomos y viajar la luz. Los modelos cosmológicos conectan estas huellas, pero la evidencia de un pasado caliente es más amplia que cualquier componente aislado de un modelo.

Propuesta de investigación. ¿Qué partes de una explicación cosmológica se miden directamente y cuáles son el marco que conecta las mediciones?

Límite de la afirmación. Al retroceder las ecuaciones clásicas se llega a condiciones donde la relatividad general clásica deja de ser fiable. Esa frontera no es una fotografía de la creación, y ni un comienzo cuántico ni un rebote cósmico han sido confirmados.

QTC-013 | ¿Cómo pueden los científicos reconstruir una era que ningún telescopio puede fotografiar?

Base canónica: QTC-013 · Antes de los átomos

Pregunta. ¿Cómo pueden los científicos reconstruir una era que ningún telescopio puede fotografiar?

Idea central. Antes de que los átomos neutros permitieran viajar libremente a la luz, el universo era opaco para la observación electromagnética ordinaria. Las condiciones anteriores se infieren a partir de reliquias posteriores y física contrastada.

Pruebas y razonamiento. El fondo cósmico de microondas señala la superficie electromagnética más antigua que podemos observar, no el comienzo de la historia cósmica. Las mediciones nucleares y de partículas, las abundancias primordiales, los efectos de neutrinos, la expansión cósmica y los cálculos de retículo restringen etapas anteriores. Cuando las reacciones se vuelven más lentas que la expansión, salen gradualmente del equilibrio y dejan consecuencias observables. Las colisiones de iones pesados prueban materia fuertemente interactuante relevante, pero producen sistemas pequeños y breves, no un universo temprano en miniatura.

Propuesta de investigación. ¿Por qué resulta útil describir la confianza sobre el universo temprano como un gradiente y no como una elección entre sí o no?

Límite de la afirmación. El Modelo Estándar predice cruces suaves en los regímenes QCD y electrodébil contrastados bajo condiciones del universo temprano. Las épocas GUT y de Planck nombradas siguen siendo propuestas, no escenas observadas.

QTC-014 | Si materia y antimateria pueden producirse por pares, ¿por qué hay a nuestro alrededor un pequeño exceso de materia?

Base canónica: QTC-014 · Materia, antimateria y un desequilibrio sin resolver

Pregunta. Si materia y antimateria pueden producirse por pares, ¿por qué hay a nuestro alrededor un pequeño exceso de materia?

Idea central. El problema no consiste en que la antimateria sea imaginaria o haya desaparecido en la nada. Consiste en explicar cómo el universo temprano adquirió o conservó un pequeño exceso de materia antes de que los pares emparejados se aniquilaran.

Pruebas y razonamiento. La cosmología mide con gran precisión el residuo, y la nucleosíntesis primordial y el fondo de microondas coinciden en él. Sakharov identificó condiciones que una explicación dinámica necesita en general: procesos que cambien el número bariónico, asimetrías relacionadas con carga y CP, y salida del equilibrio, salvo que fallen los supuestos de partida. La interacción débil conocida viola CP, pero el Modelo Estándar mínimo no genera el exceso observado. Ideas candidatas incluyen leptogénesis y mecanismos electrodébiles extendidos; los experimentos prueban sus ingredientes mediante neutrinos, momentos dipolares, desintegración del protón y otras búsquedas.

Propuesta de investigación. ¿Por qué reproducir un número final medido no demuestra que un mecanismo propuesto ocurriera realmente?

Límite de la afirmación. Ningún mecanismo candidato ha sido confirmado como origen histórico del exceso cósmico de materia. La pregunta es científicamente concreta y experimentalmente estructurada, pero sigue abierta.

QTC-015 | ¿Cómo estudian los astrónomos las primeras estrellas si no se ha confirmado ninguna estrella individual sin metales?

Base canónica: QTC-015 · Las estrellas que nunca hemos visto

Pregunta. ¿Cómo estudian los astrónomos las primeras estrellas si no se ha confirmado ninguna estrella individual sin metales?

Idea central. Las estrellas de Población III se infieren a partir del hidrógeno y helio casi prístinos del universo temprano, pero los sistemas candidatos, el gas primitivo y una estrella individual identificada sin metales son niveles de evidencia diferentes.

Pruebas y razonamiento. El hidrógeno molecular enfrió de forma imperfecta el gas primordial, lo que las simulaciones sugieren que favoreció crecimiento rápido y una población inclinada hacia masas altas. La predicción no es una masa universal: los cálculos modernos también producen discos, binarias y fragmentos menos masivos. Los investigadores combinan simulaciones, patrones químicos conservados en estrellas antiguas, espectros de sistemas primitivos remotos y lentes gravitatorias. Las observaciones del JWST han reforzado mucho el campo, incluidos sistemas de metalicidad muy baja, pero una señal de pocos metales o emisión de helio por sí sola no demuestra que se haya visto una estrella individual de Población III.

Propuesta de investigación. ¿Por qué resulta más convincente aquí una combinación de varias pistas que la pista individual más llamativa?

Límite de la afirmación. Las primeras estrellas ya no están fuera del alcance de la evidencia, pero todavía ninguna estrella individual ha sido identificada espectroscópicamente como verdaderamente libre de metales.

QTC-016 | ¿Se construye un planeta con una única receta o mediante muchos procesos que pueden seguir rutas diferentes?

Base canónica: QTC-016 · Cómo se construye un planeta

Pregunta. ¿Se construye un planeta con una única receta o mediante muchos procesos que pueden seguir rutas diferentes?

Idea central. Los planetas surgen de discos de gas y material sólido mediante condensación, choques, concentración, gravedad, calentamiento y migración. La física general está establecida; el itinerario exacto de la Tierra se reconstruye.

Pruebas y razonamiento. Los telescopios muestran discos alrededor de estrellas jóvenes, los meteoritos conservan sólidos muy tempranos del Sistema Solar, los sistemas isotópicos ordenan sucesos y los modelos informáticos prueban dinámicas posibles. El polvo no puede crecer sin dificultades: rebote, fragmentación y deriva pueden detenerlo. Los mecanismos de concentración y la acreción posterior de guijarros ofrecen rutas para superar esas barreras. Impactos y calentamiento radiactivo diferenciaron algunos cuerpos en núcleos metálicos y mantos silicatados. La Luna sugiere con fuerza un gran impacto, pero varios modelos afrontan restricciones diferentes.

Propuesta de investigación. ¿Por qué una fecha isotópica precisa puede registrar un acontecimiento de la historia de un planeta sin ser el día de su nacimiento?

Límite de la afirmación. Un anillo o brecha en un disco no demuestra por sí solo un planeta, y ningún meteorito, modelo u observación única conserva toda la secuencia de formación de la Tierra.

QTC-017 | ¿Qué fecha una datación radiométrica: una roca, un mineral o un acontecimiento?

Base canónica: QTC-017 · Cómo aprendimos a fechar el pasado

Pregunta. ¿Qué fecha una datación radiométrica: una roca, un mineral o un acontecimiento?

Idea central. Una medición radiométrica pertenece a un sistema isotópico de una muestra concreta. El razonamiento geológico identifica qué acontecimiento registró.

Pruebas y razonamiento. Los isótopos padre se transforman en isótopos hijo a ritmos característicos, pero un reloj útil también necesita condiciones iniciales conocidas e intercambio posterior limitado. Cristalización, enfriamiento, erupción y metamorfismo pueden poner en marcha relojes distintos. La espectrometría de masas, los patrones, los laboratorios limpios y el análisis de incertidumbre importan porque un contaminante pequeño puede alterar una muestra pequeña. U-Pb es especialmente potente porque dos cadenas de desintegración del uranio aportan una prueba interna. Las fechas discordantes pueden revelar pérdida de plomo o varios episodios en vez de trabajo deficiente.

Propuesta de investigación. ¿Cómo puede el desacuerdo entre dos relojes convertirse en evidencia geológica y no en motivo para descartar ambos?

Límite de la afirmación. Una isocrona recta no es automáticamente una edad, y el carbono-14 sigue intercambios recientes de carbono, no la formación de un planeta.

QTC-018 | ¿Qué transformó la deriva continental de una idea llamativa en tectónica de placas?

Base canónica: QTC-018 · El planeta que se mueve

Pregunta. ¿Qué transformó la deriva continental de una idea llamativa en tectónica de placas?

Idea central. El encaje de los continentes era sugerente, no una prueba. La tectónica de placas resultó convincente cuando observaciones independientes describieron un mecanismo global comprobable.

Pruebas y razonamiento. Wegener combinó el encaje continental con fósiles, cinturones rocosos y clima antiguo, pero las fuerzas que propuso no podían mover continentes a través de la corteza oceánica. La exploración del océano cambió el caso. La ecosonda reveló dorsales y fosas; Marie Tharp cartografió la grieta mesoatlántica; las franjas magnéticas registraron expansión del fondo e inversiones del campo; los terremotos transformantes y las zonas sísmicas profundas completaron la geometría. Más tarde, la geodesia espacial midió directamente el movimiento actual de las placas.

Propuesta de investigación. ¿Por qué puede ser razonable la resistencia científica cuando una observación es sugerente pero faltan mecanismo y pruebas decisivas?

Límite de la afirmación. Es útil tratar las placas como casi rígidas, pero las zonas fronterizas anchas muestran que se trata de una aproximación, no de una descripción literal de cada parte de la Tierra.

QTC-019 | ¿Regula la Tierra su clima como un termostato y, si es así, por qué el clima puede cambiar de forma tan drástica?

Base canónica: QTC-019 · El termostato de la Tierra

Pregunta. ¿Regula la Tierra su clima como un termostato y, si es así, por qué el clima puede cambiar de forma tan drástica?

Idea central. En escalas geológicas largas, el calentamiento puede reforzar la meteorización de silicatos y transferir carbono a las rocas, mientras el enfriamiento puede debilitar ese sumidero. Es una retroalimentación negativa, no un ajuste fijo de temperatura.

Pruebas y razonamiento. La lluvia y el agua del suelo reaccionan con minerales silicatados; los ríos transportan productos disueltos al océano; el enterramiento de carbonatos almacena carbono durante intervalos largos. Los procesos volcánicos y metamórficos devuelven dióxido de carbono a la atmósfera. La retroalimentación depende de roca fresca, escorrentía, litología, montañas, biología y reacciones de la corteza oceánica, por lo que cambia su intensidad. El hielo casi global puede interrumpir la meteorización continental y permitir que el dióxido de carbono se acumule antes de la deglaciación.

Propuesta de investigación. ¿Cómo puede ser real una retroalimentación y aun así resultar demasiado lenta o débil para controlar todos los cambios climáticos?

Límite de la afirmación. La meteorización actúa en escalas de cientos de miles de años. No puede cancelar rápidamente las emisiones humanas modernas ni garantizar un único estado climático preferido.

QTC-020 | ¿Necesitó la vida una cuna perfecta o un planeta que hacía muchos ensayos a la vez?

Base canónica: QTC-020 · Antes de la vida: un planeta lleno de química

Pregunta. Un experimento produce una molécula que usan los seres vivos. ¿Qué ha demostrado sobre la Tierra de hace cuatro mil millones de años?

Idea central. La química sin biología puede construir muchos componentes de la vida. Nadie ha demostrado todavía un ambiente temprano que aportara a la vez ingredientes, energía, concentración y protección, y durante el tiempo suficiente.

Pruebas y razonamiento. Las chispas en mezclas gaseosas seleccionadas producen aminoácidos, y una muestra rica en azufre guardada desde 1958 rindió después 23 aminoácidos y cuatro aminas. Los meteoritos ricos en carbono contienen aminoácidos, compuestos relacionados con azúcares y ribosa, lo que muestra que los posibles aportes orgánicos no se limitaban a la química terrestre. La luz ultravioleta hace algo más que calentar una mezcla: su fotoquímica puede orientar reacciones hacia azúcares, y hacia precursores compartidos por ARN, aminoácidos y lípidos. Esa misma energía también destruye lo que fabrica. A pH 7, la ribosa tiene una vida media próxima a 73 minutos a 100 °C y próxima a 44 años a 0 °C. Charcas que se secan, superficies minerales, respiraderos hidrotermales y poros microscópicos pueden concentrar o unir moléculas, pero cada ambiente propuesto tiene también límites concretos, como exposición, degradación, condiciones incompatibles o dilución.

Propuesta de investigación. ¿Por qué una reacción puede ser perfectamente real en un matraz y aun así resultar irrelevante para la historia si su producto desaparece más rápido de lo que el planeta lo repone?

Límite de la afirmación. Un resultado de laboratorio muestra qué puede hacer la química en condiciones elegidas, pero no localiza dónde empezó la vida. Ningún experimento ha llevado todavía material de origen geológico hasta un cambio heredado.

QTC-021 | ¿Cuándo deja la química de repetirse y empieza a mejorar?

Base canónica: QTC-021 · Cuando la química empezó a evolucionar

Pregunta. ¿Qué debe ocurrirle a una diferencia química para que construya sobre sí misma, en vez de desvanecerse al final de cada ciclo?

Idea central. Copiarse, crecer y automantenerse no equivale a evolucionar. La química evoluciona solo cuando una diferencia llega a los descendientes y cambia su éxito.

Pruebas y razonamiento. Un ARN trasladado una y otra vez a mezclas frescas con una replicasa viral se adaptó entre traslados, porque las diferencias heredadas de secuencia cambiaron su facilidad de copia. Las variantes recortadas que acabaron dominando encajaban mejor en aquel tubo concreto, no vivían mejor. Manfred Eigen precisó después el coste del error. Cuanto más crece una secuencia, más exacta debe ser la copia para que la selección la retenga. El ARN sirve además de registro y catalizador a la vez, algo que se volvió experimental al describirse ARN catalítico en 1982 y 1983. Mientras tanto, las redes de reacciones pueden mantenerse y los compartimentos crecer y dividirse sin conservar necesariamente qué variante funcionó mejor.

Propuesta de investigación. ¿Por qué enumerar lo que aportó un experimento —enzimas, fragmentos, sustratos activados, tiempos— dice más que el resultado por sí solo?

Límite de la afirmación. Todo sistema de laboratorio que evoluciona parte de catalizadores evolucionados, sustratos preparados o ciclos gestionados. Ninguno ha empezado con entradas geoquímicas limitadas y sostenido después por sí mismo una adaptación abierta.

QTC-022 | ¿Por qué no hay ningún fósil de la primera célula y qué debe ocupar su lugar?

Base canónica: QTC-022 · Las primeras células que nunca vimos

Pregunta. Las rocas convincentes más antiguas ya muestran comunidades microbianas enteras. ¿Qué evidencia queda del paso que produjo las células?

Idea central. La celularización no dejó ningún espécimen. Se investiga construyendo por separado cada función necesaria y averiguando después cuáles pueden hacerse funcionar juntas.

Pruebas y razonamiento. En Strelley Pool, en Australia Occidental, unas estructuras estratificadas de unos 3.430 millones de años se extienden kilómetros, y se leen como ecología microbiana establecida, muy posterior ya a una primera frontera. La afirmación más antigua de Isua sigue discutida porque la deformación puede imitar formas biológicas; las afirmaciones de Nuvvuagittuq se discuten por su edad, asociación y origen biológico. Los compartimentos de laboratorio abordan el hueco desde el otro lado. Las vesículas de ácidos grasos se ensamblan en agua, dejan entrar nucleótidos activados y permiten que una plantilla se alargue dentro, mientras el citrato puede proteger membranas modelo durante una copia dependiente de magnesio. Un ácido nucleico atrapado eleva la presión osmótica y capta membrana de vecinas menos tensas. Bacterias y arqueas construyen además membranas con químicas contrastadas, así que ninguna célula viva se reduce sin más hasta la primera.

Propuesta de investigación. ¿Por qué una célula modificada con membrana mixta bacteriana y arqueana nos dice qué era posible sin decirnos qué ocurrió?

Límite de la afirmación. Toda protocélula de laboratorio parte de materiales o condiciones aportados por quienes investigan, y los genomas reducidos proceden de una célula madre ya evolucionada. LUCA pertenece a una parte posterior del relato: un ancestro reconstruido, no la primera célula.

QTC-023 | ¿Cómo se reconstruye un antepasado que nadie excavó nunca?

Base canónica: QTC-023 · LUCA: el antepasado que reconstruimos

Pregunta. LUCA no dejó fósil. ¿Qué se está reconstruyendo entonces, y con qué material?

Idea central. LUCA nombra el punto más reciente donde converge la ascendencia de todas las células que hoy viven. Es una población inferida desde las moléculas de sus descendientes, no un organismo que nadie haya visto. La ascendencia común es robusta; el retrato es interpretación estratificada.

Pruebas y razonamiento. El ARN ribosómico mostró que los metanógenos no pertenecen a las bacterias corrientes, sino que forman una línea de descendencia profunda y separada, y aquello dividió la vida celular más hondamente de lo que sugería la apariencia. La comparación da relaciones sin dirección, porque ninguna célula viva queda fuera de todas las células vivas. Los genes duplicados antes de la separación resolvieron ese problema, ya que cada copia puede servir de grupo externo para su pareja. La lista estricta de genes presentes en toda célula secuenciada resulta después pequeña y muy dominada por la traducción, porque los genes metabólicos se pierden e intercambian con mucha más facilidad. Los métodos que modelan ganancia, pérdida y transferencia restauran metabolismo, y pagan esa completitud con supuestos adicionales.

Propuesta de investigación. ¿Por qué una transferencia horizontal, que rompe el árbol familiar de un gen, puede convertirse en evidencia sobre el orden en que existieron las ramas?

Límite de la afirmación. La palabra «último» está trabajando. Pudo existir vida anterior que intercambiara genes y no dejara descendientes independientes, así que LUCA no es ni la primera célula ni un individuo aislado.

QTC-024 | ¿Por qué la Tierra parece dominada por bosques y animales si los microbios gobiernan el planeta?

Base canónica: QTC-024 · El planeta microbiano

Pregunta. ¿Qué cambia cuando la historia de la vida se mide por duración, número de células y trabajo químico, en vez de por lo que es bastante grande para verse?

Idea central. La Tierra es microbiana por duración de la ocupación, abundancia, variedad metabólica y trabajo biogeoquímico. No lo es por peso, porque el carbono de biomasa acumulada corresponde sobre todo a las plantas.

Pruebas y razonamiento. El ARN ribosómico separó las bacterias de las arqueas como dos linajes profundamente distintos, así que «microbio» nombra un modo de vivir y no una rama del árbol. Una estimación de 1998 situó las células procariotas en $4-6 \times 10^{30}$. Trabajos posteriores rebajaron compartimentos importantes, entre ellos el sedimento bajo el fondo marino, calculado en unas $2,9 \times 10^{29}$ células. Esos totales se apoyan en muestras, en volúmenes estimados de hábitat y en extrapolaciones, así que una revisión a la baja significa un mapa mejor acotado. Los microbios fijan y liberan carbono, vuelven disponible el nitrógeno atmosférico, mueven el azufre y producen y consumen metano. Una reserva modesta realiza un trabajo enorme cuando los mismos átomos la atraviesan una y otra vez.

Propuesta de investigación. ¿Por qué «cuántas células» es una pregunta distinta de «cuánto carbono», y ambas distintas de «a qué velocidad corre la química»?

Límite de la afirmación. Se ha logrado crecimiento microbiano a 121 °C, y también a 122 °C, bajo alta presión. Eso muestra qué tolera la vida bajo una receta declarada. No muestra que la vida temprana se pareciera a esas células, que sean abundantes, ni que se haya encontrado vida en otro lugar.

QTC-025 | ¿Cómo puede una roca contarte cómo era el aire antes de que nadie pudiera respirarlo?

Base canónica: QTC-025 · Cómo leer una atmósfera en una roca

Pregunta. No sobrevive ninguna muestra continua de aire antiguo. ¿Qué se mide realmente cuando un estudio publica niveles de oxígeno de hace miles de millones de años?

Idea central. Las rocas conservan los productos de reacciones ocurridas en aire, suelo y agua. Toda estimación de oxígeno es una cadena que va de una medición a una reacción, un ambiente, una fecha y un reservorio planetario.

Pruebas y razonamiento. Los granos de pirita y uraninita que sobrevivieron al transporte apuntan a una meteorización con muy poco oxígeno, si se controlan procedencia y abrasión, ya que ambos se oxidan con facilidad hoy en superficie. Los isótopos de azufre llegan más arriba en la cadena. Los sedimentos arcaicos portan anomalías que las reacciones dependientes de masa no producen. Sí puede producirlas la química ultravioleta entre gases de azufre suspendidos en el aire. Cuando oxígeno y ozono cambian la penetración de la luz ultravioleta, esas anomalías dejan de generarse y conservarse igual. Metales como el molibdeno y el cromo registran oxidación en tierra seguida de retirada en el mar. Una cuenca restringida puede, por tanto, imitar un cambio de todo el planeta.

Propuesta de investigación. ¿Por qué pudo producirse oxígeno en aguas costeras someras durante muchísimo tiempo sin que la atmósfera entera se oxigenara?

Límite de la afirmación. El umbral de oxígeno que suele citarse para la señal del azufre procede de un modelo fotoquímico, no de una lectura del aire antiguo. La oxigenación atmosférica no significó que las aguas oceánicas profundas también estuvieran oxigenadas.

QTC-026 | ¿Cómo puede una célula conservar aún el registro de una asociación de hace más de mil millones de años?

Base canónica: QTC-026 · La célula dentro de la célula

Pregunta. ¿Por qué afirmar que una mitocondria desciende de una bacteria, en vez de ser simplemente otra parte de la célula?

Idea central. Las mitocondrias, y los plastos presentes en plantas y algas, son descendientes integrados de bacterias dentro de un linaje hospedador emparentado con arqueas. Su ascendencia endosimbiótica está establecida, mientras el orden de los pasos que produjo la primera célula eucariota sigue reconstruyéndose.

Pruebas y razonamiento. El argumento es un conjunto, no una pista aislada. Los genomas de los orgánulos están reducidos y reorganizados, pero sus genes conservados se agrupan con bacterias, y los plástidos con cianobacterias. Dos membranas circundantes encajan con un origen interno, y la maquinaria de división guarda componentes de procedencia bacteriana que hoy trabajan bajo control del hospedador. Hoy la mayoría de proteínas del orgánulo se codifican en el núcleo y entran por complejos de translocación. Por separado, cada observación admite otras explicaciones, ya que el ADN transferido, las dobles membranas y la fisión existen en otros lugares. Su coincidencia es justo lo que predice la endosimbiosis. Algunas mitocondrias encogieron tanto, hasta hidrogenosomas y mitosomas, que primero se tomaron por ausencias.

Propuesta de investigación. Si un linaje perdió por completo su orgánulo mitocondrial, ¿por qué eso refuerza en vez de debilitar el argumento de una única fusión antigua?

Límite de la afirmación. Las pruebas sitúan al antepasado mitocondrial entre parientes de las alfa-proteobacterias, sin nombrar ninguna bacteria viva como progenitora. El linaje exacto del hospedador, y cuánta complejidad tenía ya, siguen abiertos.

QTC-027 | ¿Sigue significando algo el árbol de la vida si los genes pueden moverse entre linajes?

Base canónica: QTC-027 · De la información a la herencia: árbol, red y virus

Pregunta. ¿Cómo puede la herencia producir historias ramificadas reales mientras los genes también cruzan entre linajes que no son progenitor y descendiente?

Idea central. La copia vertical aporta un armazón ramificado. Las transferencias añaden encima conexiones que pueden rastrearse, y a veces fecharse. El resultado es un árbol con injertos, no un árbol sustituido por una red.

Pruebas y razonamiento. La propia copia se demostró material. Unas bacterias cultivadas con nitrógeno pesado y pasadas a nitrógeno ligero produjeron ADN cuya densidad encajaba con una regla simple, la copia semiconservativa: cada doble hélice nueva conserva una hebra vieja acompañada de otra recién fabricada. La exactitud se construye después por capas. Se eligen nucleótidos, se retiran extremos mal emparejados y sistemas de reparación inspeccionan luego el ADN nuevo. Los errores que superan las tres capas se vuelven diferencias heredadas. Los genes se mueven además por tres rutas establecidas en el laboratorio: captación de material del entorno, traspaso entre células en contacto y empaquetado de ADN del hospedador dentro de partículas de fago. Una reconciliación de 2024 sobre 8.790 especies procariotas detectó millones de transferencias putativas; las recientes se concentraban en funciones accesorias más que repartirse por igual, mientras algunas transferencias antiguas se habían convertido en genes metabólicos ampliamente distribuidos.

Propuesta de investigación. ¿Por qué un gen que arruina un árbol de especies puede fijar aun así el orden en que existieron dos ramas?

Límite de la afirmación. No se conoce ningún gen que haga por los virus lo que los genes conservados de traducción hacen por las células. Sus orígenes pueden ser múltiples y hoy no existe un único árbol familiar viral universal.