LA CUSTODIA DE VENUS

Tesis: la terraformación de Venus — o la mejora de su ecosistema para la vida actual — como sistema acoplado, con los relojes verdaderos

Autor: Juan Carlos Euyoque Aguilera

Casa: JCEA Labs

Versión: Borrador v2.8 — 3 de noviembre de 2026

Tipo: Tesis / estudio conceptual. No es un plano de ingeniería.

Carácter declarado: Ingeniería especulativa a futuro — hoy, ficción fundamentada en física conocida. Ningún elemento de este estudio requiere física nueva; todo requiere escala, tiempo o materiales que aún no existen.

Resumen

Este estudio, de ingeniería especulativa a futuro en el carácter declarado de la portada, parte de una observación: Venus no es un planeta sin recursos; es un planeta con el termostato roto. Tiene nitrógeno de sobra (≈3,2 bar), carbono de sobra ($4{,}6\times10^{20}$ kg de CO_2) y energía solar de sobra (2.611 W/m²). Lo que perdió es la capacidad de autorregularse: sin agua no hubo ciclo carbonato–silicato, el CO_2 volcánico se acumuló hasta los 92 bar y 737 K, la litosfera seca se convirtió en una tapa única e inmóvil, y sin salida de calor del manto el núcleo dejó de convectar y de generar campo magnético propio.

Esta tesis sostiene que Venus puede tratarse como lo que es — un sistema de cuatro subsistemas acoplados (balance de energía, magnetosfera, rotación y tectónica) — y que, tratado así, **es físicamente posible** llevarlo, por pisos y con relojes honestos, a uno de dos destinos relacionados: la mejora progresiva de su ecosistema para la vida que pueda existir hoy en él, o su terraformación completa hasta un mundo habitable y, a la larga, autorregulado.

- **Piso 1 (siglos):** apagar el horno. Una nube estática de ocultadores y espejos en el entorno del punto L1, construida por proceso y empezando por los trópicos para fabricar gradientes térmicos, con sombra casi total (≈97%) sostenida. La atmósfera cede su calor al espacio en el orden de un siglo y el CO_2 comienza a abandonar el cielo por los polos.
- **Piso 2 (~100 siglos):** un Venus habitable con marcapasos. Convertir el inventario de CO_2 en carbonato y en productos útiles (el carbono de los propios espejos, combustible CO/O_2), cosechar el azufre como reactivo industrial, importar el agua que falta y sostener la protección magnética con un anillo superconductor orbital como prótesis permanente.
- **Piso 3 (tiempo geológico, 10^7–10^8 años):** la autorregulación devuelta. Tectónica propia, dinamo propio, ciclo de carbono natural. Este piso no lo construye la ingeniería: lo observa y lo acompaña.

La tesis ética que ordena el estudio: no se conquista Venus; se le devuelve su capacidad de regularse y la custodia se retira a vigilar. Custodia, no colonización.

Las marcas [DATO], [MODELO] y [EN DISPUTA] se usan en todo el texto: [DATO] es medición publicada o constante física; [MODELO] es cálculo de primeros principios, reproducible con las constantes del Apéndice; [EN DISPUTA] es literatura científica no resuelta.

1. La pregunta y el criterio

La pregunta de la que parte este estudio no es «¿cómo se coloniza Venus?» sino **¿qué rompió el termostato de Venus, y cómo se le devuelve la capacidad de regularse solo?**

De ahí sale el criterio de diseño que gobierna todo lo demás: **toda solución que arregla una sola variable queda descartada.** Sembrar algas primero fracasa porque la entrada de energía tiene que bajar primero. Añadir cometas suma masa a un planeta que no sufre falta de volátiles sino falta de sumidero. Una sombrilla única es un solo punto de fallo y no resuelve ni la magnetosfera, ni la rotación, ni la tectónica. El sistema está acoplado; la respuesta tiene que estar acoplada.

2. El punto de partida: Venus hoy

- Superficie a 737 K y 92 bar; atmósfera de ≈4,8×10^{20} kg, 96,5% CO_2 y ~3,5% N_2 [DATO].
- Sin océanos: el agua total del planeta equivale a una capa global de centímetros; la firma D/H (≈150× la terrestre) registra la pérdida del agua primitiva al espacio [DATO]/[EN DISPUTA en el inventario inicial].
- Tapa estancada: sin tectónica de placas; resuperficie de hace 300–700 millones de años; vulcanismo activo con evidencia reciente [DATO]/[EN DISPUTA en el mecanismo de renovación].
- Sin dinamo propio: magnetosfera solo inducida por el viento solar; el núcleo —≈3.500 km de radio, con cientos de kilómetros de dispersión entre modelos— no muestra convección eficaz [DATO]/[EN DISPUTA en el detalle].
- Giro retrógrado de 243 días (día solar de ≈117 días), en equilibrio entre la marea gravitatoria solar y la marea térmica de su propia atmósfera, con variaciones medibles de la duración del día (≈20 minutos) por intercambio de momento atmósfera–planeta [DATO].
- Una capa ya templada: a 50–60 km de altura la presión es de ≈0,5–1 bar y la temperatura de ≈300 K [DATO]. Es el único ambiente del planeta cercano a lo habitable hoy, y el lugar donde se ha especulado con vida en las nubes [EN DISPUTA].

3. Piso 1 — Apagar el horno (siglos)

3.1 La sombra tiene que ser casi total

La temperatura de superficie escala con la raíz cuarta del flujo recibido [MODELO]. Con esa ley:

- Bloquear el 30% del Sol deja la superficie en ≈401 °C.
- Bloquear el 50% la deja en ≈620 K (≈347 °C): ni con medio Sol tapado el planeta sale del horno.
- Bajar a 400 K exige bloquear ≈91%.
- Alcanzar el punto crítico del CO_2 (304 K), donde el gas empieza a abandonar la atmósfera como líquido y nieve, exige ≈97%.

Y una vez que el CO_2 empieza a condensar, el propio invernadero se debilita y el enfriamiento se acelera: la retroalimentación, por una vez, trabaja a favor. La sombra útil es un eclipse casi completo y sostenido, no un parasol parcial. Con la sombra instalada, la atmósfera entrega su calor al espacio al ritmo que permite su radiación desde el tope de las nubes: el vaciado térmico atmosférico es del orden de **un siglo**, y de siglos contando el calor almacenado en la roca [MODELO]. Construir la sombra — 115 millones de km^2 de ocultación, el área del disco planetario — es en sí ingeniería de siglos. Piso completo: **5 a 10 siglos**.

3.2 Nube estática, no sombrilla rígida

El escudo no es un objeto: es una **nube estacionaria** de ocultadores y espejos en el entorno del punto L1 Sol–Venus, con cada elemento colgando de la luz (vela estatita) en vez de orbitando. Esto solo es físico si la película baja de un umbral medible: la densidad areal crítica para que la presión de radiación equilibre la gravedad solar a 0,72 UA es ≈**1,5 g/m²** [MODELO]. El Kapton actual (≈9,9 g/m²) queda por encima: no se sostiene, necesita órbita y propulsión. Las películas de carbono (grafeno, nanotubos) a ≈0,1 g/m² quedan por debajo: la nube cambia de categoría física y la masa total de una sombra completa cae a ≈$1{,}15\times10^{10}$ kg.

La geometría aporta dos límites y una ventaja:

- Desde L1, la penumbra solar desenfoca cualquier mancha a ≈13.000 km: la sombra de L1 es **difusa y planetaria**, nunca un parche nítido de 1.000 km [MODELO].
- Una mancha nítida solo existe en órbita baja (desenfoque de ≈8 km a 600 km de altura), pero barre la superficie a ≈7 km/s.
- El punto subsolar venusiano vive sobre el ecuador (±3°) todo el año [DATO]: la sombra nace donde tiene que nacer, sin apuntamiento.

3.3 El proceso: Mancha-0 y el arranque por los trópicos

El primer peldaño no enfría: **mide**. Mancha-0 consiste en llevar al entorno de L1 un ocultador pequeño más una suelta medida de polvo, y volver con tres números que hoy no existen: la penumbra real a 0,72 UA, el station-keeping de una estatita ligera y el tiempo de dispersión del polvo bajo una presión de radiación 1,92 veces la terrestre. El polvo fino (1 μm) bloquea ≈250 m²/kg pero la luz lo expulsa en días; el grano útil es de 10–20 μm (12–25 m²/kg): un velo consumible que se repone, no una estructura [MODELO]. Venus ya mantiene un anillo de polvo en su propia órbita heliocéntrica [DATO].

Decisión de diseño: **el sombreado no comienza en el ecuador, sino en los trópicos.** Una sombra centrada enfría simétrico: baja grados, pero no crea el gradiente que pone a trabajar a la atmósfera. Una banda sombreada en los trópicos — desplazar el centro de la mancha a ~25° de latitud cuesta mover el ocultador ≈2.540 km fuera de la línea Sol–Venus [MODELO] — fabrica la diferencia de temperatura hacia los polos de la que nacen el viento organizado y el par sobre el giro (sección 4).

Los elementos de los anillos empiezan muy alto y **descienden ganando velocidad** (bajar de 2.000 a 300 km de altitud acelera de 6,35 a 7,15 km/s [MODELO]) hasta estacionarse en la franja donde el arrastre atmosférico actúa sin quemar (≈200–600 km). Al final de su vida útil cada material se decide por separado: el que conviene se **recicla**; el que se deja caer, se deja caer con sus efectos calculados de antemano.

3.4 Fractura por choque térmico (concepto TSF)

El concepto: enfriar regiones de la tapa única hasta que el esfuerzo térmico supere la resistencia del basalto y la corteza se fracture en una red que pueda empezar a moverse.

La relación $\sigma = E\cdot\alpha\cdot\Delta T/(1-\nu)$ es mecánica de materiales estándar [DATO] y en este estudio cumple el rol de **regla de diseño**: convierte una meta de temperatura en una meta de esfuerzo. Con E = 70 GPa, $\alpha = 8\times10^{-6}$/K y ν = 0,25, el esfuerzo crece 0,747 MPa por grado: bastan **$\Delta T \approx 40$ K** para alcanzar la resistencia a tracción del basalto (10–30 MPa) [MODELO]. La meta de diseño se fija en 40–100 K.

Cotas del método, declaradas:

- El enfriamiento penetra la roca ≈4,7 m por año (difusividad del basalto): el choque fractura la **piel** y siembra la red de fallas; no parte la tapa de 10–20 km en un evento [MODELO].

- A 10 km de profundidad, la presión litostática (≈257 MPa) cierra las grietas de tracción: la fractura profunda es trabajo de eras, con la red superficial, el agua futura y el propio sistema actuando juntos [MODELO].
- No se invoca lubricación por lluvia en esta etapa: el vapor venusiano (≈30 ppm) tiene su punto de rocío a ≈263 K; a 350–400 K la humedad relativa es menor del 1% y no condensa [MODELO]. La lubricación hidrológica pertenece a etapas posteriores, con el planeta frío y el agua presente.

Lo que el choque térmico entregaría: la primera red de fracturas controlada en un planeta de tapa estancada, y con ella los caminos por donde el CO_2 empezará a entrar en la roca.

3.5 El anillo magnético: una prótesis que cierra

Mientras el núcleo no convecte, la protección contra el viento solar puede ser artificial: un anillo superconductor **alrededor del planeta**, en órbita baja — no en L1. Para 100 nT en el centro del anillo (radio ≈6.400–7.000 km, unos 350–950 km de altura) basta una corriente de ≈$1{,}0\times10^{6}$ A; para ≈300 nT en el centro, ≈$3{,}2\times10^{6}$ A [MODELO] (en la superficie el campo varía con la posición respecto al lazo). Es ingeniería futura (superconductores tipo REBCO, criogenia con blindaje multicapa), no física nueva. En L1, el mismo campo pediría ≈5×10^{11} A: la geometría orbital decide entre posible e imposible.

Este anillo se concibe como **prótesis permanente**: si en 10^{8} años el planeta enciende su propio campo, se retira; si no, se queda, y el plan se declara cumplido con marcapasos, no fracasado.

3.6 Dos familias de elementos — y la estructura AURORA-V

Para que no se confundan, el sistema completo tiene **dos familias** distintas:

- **La nube de L1** (secciones 3.1–3.3): estatitas y polvo cuya única función es la sombra. No orbita el planeta y no forma parte de la estructura siguiente.
- **La familia orbital**: elementos que sí rodean a Venus — el anillo magnético (3.5), las cortinas de arrastre que descienden a la franja de 200–600 km (3.3), los anillos habitables (5.3) y las unidades ópticas cercanas que administran la luz local. Los espejos-luna principales no viven en esta familia: van **enfrente**, del lado del Sol (sección 4), como enrutadores de energía entre la nube y esta estructura.

La familia orbital, como estructura teorizada única, lleva nombre: **AURORA-V** — *Estructura teorizada AURORA-V, de Juan Carlos Euyoque Aguilera (JCEA Labs)*. Sus materiales de construcción teorizados, y la razón de cada uno:

- **Películas de carbono (grafeno y nanotubos de carbono):** velas, pieles y superficies ligeras. Son el material que baja del umbral de estatita (≈0,1 g/m² contra el límite de ≈1,5 g/m²) y el que, en la madurez del sistema, se fabrica del propio CO_2 venusiano (5.1).
- **Superconductor REBCO** (óxido de itrio, bario y cobre): el lazo del anillo magnético. Funciona a ≈90 K, alcanzables con blindaje multicapa pasivo; su corriente persistente, una vez cargada, no consume potencia de sostenimiento significativa.
- **Carburo de silicio (SiC):** electrónica, sensores y sismómetros capaces de trabajar a ≈400 °C en la franja baja y, más tarde, en superficie.
- **Berilio pulido y aluminio:** las superficies ópticas de los espejos-luna y de la luz administrada.
- **Kapton y Mylar aluminizado (materiales actuales):** suficientes para Mancha-0 y los prototipos; no alcanzan el umbral de estatita ni la vida útil del sistema final, y este estudio no los presenta como si lo hicieran.

3.7 Cómo se construye: impresores, y todo baja por etapas

El primer envío desde la Tierra no es área de sombra: es **capacidad de fabricarla**. La pieza semilla es un robot impresor — la analogía terrestre es el lápiz impresor 3D: una máquina modesta que deposita material capa a capa — rediseñado para el espacio y para **alimentarse de lo que tenga a su alcance**: escombro orbital, polvo, partículas, material de asteroides cercanos. Los impresores producen estructura y producen más impresores; la sombra y los anillos crecen entonces en el lugar, con materia del lugar, en vez de lanzarse terminados desde la Tierra. La función queda fijada por este estudio; la máquina exacta queda **teorizada a propósito**: en los próximos 50 años cambiarán la tecnología, los materiales y nuestro entendimiento de ambos, y el papel fija el qué y el para qué, no el modelo del robot.

De ese principio se sigue el modo de despliegue de todo el sistema: **casi todo se crea en el espacio** — en órbita alta o en el entorno de L1, donde la materia se trabaja sin pelear contra la gravedad — **y se baja gradualmente** a su franja de trabajo (3.3): cada elemento desciende por etapas, ganando velocidad y efecto a medida que baja, y lo que no debe bajar se queda arriba. Construir arriba y bajar por etapas es lo que convierte las masas de este estudio (3.2) en un problema de tiempo y de industria, y no en un problema de lanzamiento.

4. El giro: anillos, viento y una decisión con costos

La vía propuesta para la rotación no importa masa ni momento angular de fuera: **los anillos causan el cambio de día por el arrastre del viento atmosférico**, alimentados por paneles y reflectores que aprovechan la energía solar en el espacio.

El canal es el que la propia Venus usa [DATO]: su giro es un equilibrio vivo entre la marea gravitatoria solar y la **marea térmica atmosférica**, con un par del orden de 6×10^{15} a 6×10^{16} N·m [MODELO], y con intercambio atmósfera–planeta ya medido en la duración del día. Controlar dónde cae la sombra es actuar sobre esa manija: una sombra descentrada hacia los trópicos deforma la marea térmica y la atmósfera empuja al planeta de forma continua, alimentada por el Sol. La atmósfera no actúa como batería (su momento almacenado es 0,02–0,1% del necesario) sino como correa de transmisión.

Este efecto tiene nombre: **efecto Custodia de Sombra y Viento** — abreviado **efecto CSV** —, el par neto sobre el giro de un planeta que se obtiene al administrar dónde cae la luz de su sol sobre su atmósfera, usando el viento como transmisión. Se mide en el cambio de la duración del día por unidad de tiempo, y es, de los mecanismos de este estudio, el que la propia Venus ya ejecuta sin administrar.

Con ese par, acortar el día de 243 a 30 días toma del orden de **10^8 años** [MODELO]: el giro pertenece al Piso 3. No es una puerta para habitar: con el giro a 60 días retrógrados, el día solar ya baja a ≈47 días, y los modelos de rotadores lentos con océanos son habitables [MODELO]/[EN DISPUTA en el detalle].

La dirección del giro es una decisión de diseño con costos declarados:

- **Mantener el giro retrógrado** y acelerarlo: $\Delta L = 1{,}28\times10^{32}$ kg·m²/s. Coopera con la superrotación existente, alineada con el suelo, y empuja dentro de la cuenca de equilibrio natural del planeta.
- **Invertirlo a prógrado**: $\Delta L = 1{,}64\times10^{32}$ kg·m²/s (+28%), cruzando por giro cero y obligando a la atmósfera a rehacerse en sentido contrario. Al ciclo día/noche y al dinamo, el signo les es indiferente: la inversión sería estética.

La recomendación de este estudio es el retrógrado: la ruta de menor momento, la que coopera con el sistema tal como es.

Dos piezas cierran la sección:

- **Espejos tipo luna, sin densidad: adoptados — y van enfrente.** Su lugar es el lado del Sol, entre la luz y el planeta, trabajando en dos modos: **bloquear** (su área propia suma a la sombra) y **reflejar** (redirigen la energía que no debe caer sobre la superficie hacia los receptores del sistema: la luz que sobra es la carga de AURORA-V — sus paneles, su anillo magnético, sus hábitats). Un campo modesto de 10.000 km² de espejos intercepta $2{,}6\times10^{13}$ W; entregar apenas el 0,1% ya son decenas de GW, la escala de energía que los anillos consumen [MODELO]. Desde L1 el haz reflejado se abre por el tamaño angular del Sol (≈13.000 km de mancha al llegar): es iluminación de área para el lado diurno, no un rayo fino; la entrega concentrada la hacen las unidades ópticas cercanas de la propia AURORA-V. Lo que estos espejos no hacen es decorar el cielo nocturno imitando una luna: de la Luna toman solo el efecto óptico útil, sin el efecto gravitatorio — y la ausencia de masa es una virtud medible: una luna real roba giro por marea (la Luna terrestre alarga el día ≈2 ms por siglo [DATO]) y pelearía contra el día que este plan construye.
- **Una luna masiva para Venus: descartada.** Acopla un segundo cuerpo al sistema para siempre, con su dinámica de dos cuerpos y sin margen para corregir un desbalance. El plan altera el orden de un planeta; no el de dos.

5. Piso 2 — Habitable con marcapasos (~100 siglos)

5.1 El CO_2: cantera, combustible y entierro

El inventario es el proyecto: $4{,}6\times10^{20}$ kg de CO_2 [DATO]. Se trata en tres corrientes que no deben confundirse:

Producto. Partir CO_2 da carbono y oxígeno. El carbono es el material de las películas de la sombra: construir la sombra completa a 0,1 g/m² consume $1{,}15\times10^{10}$ kg de carbono, una parte en ~11.000 millones del carbono atmosférico [MODELO]. En su madurez, los espejos de Venus se fabrican **con el aire de Venus**, en el espacio: la atmósfera es la cantera de su propio escudo. La electrólisis a $CO + O_2$ (precedente a escala de gramos: MOXIE en Marte [DATO]) aporta combustible y oxidante locales sin el hidrógeno que Venus no tiene; la ruta a metano (Sabatier) queda condicionada a importar hidrógeno.

Cosecha. Al enfriar, las nubes de ácido sulfúrico condensan y caen. Esa era de precipitación ácida es también la entrega de un reactivo: el ácido es el agente que acelera la meteorización de silicatos que entierra el CO_2. El inventario es medible: a ~150 ppmv de SO_2 [DATO], la atmósfera guarda $\approx1{,}1\times10^{17}$ kg de SO_2 (el 0,024% de la masa del CO_2) — unas $5{,}5\times10^{16}$ kg de azufre (≈0,012%) —: su manejo no mueve ninguna otra cifra de este estudio, y aun así, al ritmo de producción de azufre de la Tierra actual ($\sim7\times10^{10}$ kg/año), alcanzaría para ~800.000 años de industria [MODELO]. El azufre sigue la misma doctrina que el carbono: no es un residuo, es un inventario esperando su punto de uso, su cómo y su para qué (ácido industrial, baterías de azufre, materiales de construcción).

Entierro. El grueso no se «usa»: se entierra. Congelado sin más, el inventario sería una capa global de hielo seco de ≈645 m esperando un accidente [MODELO]. La forma final estable es carbonato: roca. Y ni la química total es un atajo: partir todo el CO_2 costaría $\approx4{,}1\times10^{27}$ J, unos 433 años del 100% de la luz solar que intercepta el planeta [MODELO]. El sumidero real es meteorización acelerada — agua, ácido cosechado y la red de fracturas del Piso 1 como superficie de reacción — sostenida durante milenios.

5.2 El agua y los polos

El agua total de Venus ($\approx6\times10^{15}$ kg [MODELO]) es una capa global de centímetros. Un océano somero de 310 m pide $1{,}4\times10^{20}$ kg importados [MODELO]: el agua es la única importación masiva verdadera del plan, y su logística marca el ritmo del Piso 2.

La geografía del desembarco la dan los polos. Hoy la superficie polar apenas es unos grados más fría que la ecuatorial, porque la atmósfera lo iguala todo; el refugio del presente es la altura (sección 2). Pero al avanzar el frío los polos llegan primero: la nieve carbónica nace polar, como en Marte, y el primer suelo firme y seguro será polar. El anillo magnético, en órbita polar, ya está orientado hacia esa geografía.

5.3 Vivir en los anillos antes que en el planeta

La secuencia habitacional pone la presencia humana **en los anillos primero** — en los anillos habitables de la estructura AURORA-V (3.6) —: dentro de la protección del anillo magnético, junto a la obra, con gravedad por rotación de las secciones habitables y el planeta enfriándose abajo durante siglos. El ciclo de luz de esos hábitats y de las futuras bases polares lo administran las unidades ópticas cercanas de la propia estructura, alimentadas por los espejos de enfrente (sección 4). La superficie se habita al final, no al principio. Esa es la diferencia práctica entre custodia y colonización.

6. La vía menor: mejorar el ecosistema para la vida actual

La terraformación completa es el destino lejano de esta tesis, pero no el único. Existe una vía menor, anterior y menos invasiva, que el mismo sistema acoplado habilita:

- La capa de nubes a 50–60 km ya ofrece hoy presión y temperatura cercanas a lo habitable [DATO]. Un sombreado parcial y administrado puede moderar sus extremos (radiación ultravioleta, excursiones térmicas) sin tocar la superficie, y aquí trabajan dos sombras a la vez: la de la nube de L1 y la de los espejos de enfrente (sección 4), cuyo bloqueo también cuenta. Los números son chicos y por eso útiles: 1% de sombra baja la temperatura de emisión del planeta ~0,6 K; 5%, ~3 K [MODELO].
- Si en esa capa existe vida nativa — hipótesis abierta [EN DISPUTA] — el objetivo científico pasa a ser su **mejora de condiciones**, no su desplazamiento: refugios de altitud, monitoreo continuo y estudio sin contacto. Esos refugios, como todo el sistema, se construyen en el espacio y descienden por etapas hasta su capa (3.7): nadie los lanza terminados desde la Tierra.
- Toda intervención sobre esa vida queda subordinada a la regla de la vida (sección 10): primero simulación, después — si acaso — el mundo real.

Esta vía tiene valor propio aunque la terraformación nunca se complete: convierte a Venus, desde el Piso 1, en un laboratorio protegido para la única biosfera que quizá ya tenga.

7. Piso 3 — La autorregulación (10^7–10^8 años)

El piso final no se construye: se acompaña.

- **Tectónica → dinamo.** Lo que enciende un dinamo no es la velocidad de giro en sí (Mercurio gira en 59 días y tiene campo [DATO]) sino la **convección del núcleo**, hoy estrangulada porque la tapa estancada no deja salir el calor del manto. Una tectónica sostenida que enfríe el manto durante ~10^8 años reabre el flujo de calor del núcleo y, con él, la posibilidad del dinamo.
- El giro, empujado por la marea térmica administrada (sección 4), alcanza su día corto dentro de este mismo piso.
- El ciclo carbonato–silicato, con océanos y tectónica, pasa de industria (Piso 2) a órgano del planeta.
- Criterio de cierre: la sombra se retira gradualmente. Si la temperatura se sostiene, el planeta recuperó su termostato. Si no, la sombra y el anillo permanecen de forma permanente.

8. Nodos falsables: la agenda que esta tesis le deja a la ciencia

Los cinco nodos siguientes se formulan como agenda abierta y se citan a nombre de su autor: **Juan Carlos Euyoque Aguilera (JCEA Labs)**. Cada uno lleva la confianza del laboratorio, declarada como lo que es: **porcentaje teorizado** — ningún nodo está ejecutado todavía, así que ningún porcentaje se presenta como derivado de mediciones.

1. **Mancha-0:** medir penumbra, station-keeping de estatitas ligeras y dispersión de polvo en el entorno de L1 de Venus. Esos tres números no existen. *Confianza teorizada: ~85%* de que los tres son medibles con tecnología actual o inmediata.
2. **Umbral de estatita:** demostrar una película por debajo de 1,5 g/m² que se sostenga de la luz a 0,72 UA. *Confianza teorizada: ~60%* — el material existe en laboratorio; lo no demostrado es sostenerlo desplegado.
3. **Par de marea térmica administrada — el efecto CSV:** cuantificar el par neto al desplazar el centro de una sombra fuera del punto subsolar, con los códigos climáticos existentes. Es la perilla del giro. *Confianza teorizada: ~70%* — el canal físico está medido en el Venus actual (la duración del día ya varía por intercambio atmósfera–planeta); lo abierto es el tamaño del par administrable.
4. **Campo mínimo útil:** calcular la protección real de un anillo de 100–300 nT contra el despojo atmosférico, con los modelos de interacción viento solar–magnetosfera ya usados para Marte. *Confianza teorizada: ~55%* de que ese campo baste para una protección significativa.
5. **Los datos en vuelo:** DAVINCI, VERITAS y EnVision medirán en la próxima década el núcleo, la litosfera y los gases nobles de los que depende cualquier fase cero. Y esta tesis declara de antemano qué implica cada resultado para sus pisos: si DAVINCI (gases nobles, D/H) fija un océano primitivo grande, el Piso 2 parte de un planeta que perdió más agua de la que hay que reponer entera — y si fue pequeño, la importación manda; si VERITAS (gravedad, momento de inercia) fija el radio y el estado del núcleo, sabremos si la flecha tectónica→dinamo del Piso 3 tiene un núcleo capaz de responder o si la prótesis es definitiva; si EnVision encuentra la tapa ya deformándose hoy, la red de fracturas de 3.4 parte de un planeta menos muerto y el Piso 1 se acorta. *Confianza teorizada: ~75%* de que las tres misiones vuelen y entreguen esos datos en la próxima década.

9. Alternativas evaluadas y descartadas

- **Tracción del giro por asteroides o impactos:** entregar el ΔL con cuerpos de 10^{15} kg exige millones de ellos sacrificando todo su momento orbital (≈3,5 millones para el giro prógrado), y su acoplamiento por marea tardaría ~10^{15} años por cuerpo. La conservación del momento angular fija la cota; la vía atmosférica de la sección 4 la respeta.
- **Lanzador de masa desde otro planeta como fuente de momento:** a velocidades reales de impacto, 10^{19} kg entregan ≈1,8% del ΔL, a un costo energético mayor que la energía rotacional buscada.
- **Radiador pasivo como tercer anillo de enfriamiento:** un espejo pasivo no evacúa más calor del que la propia sombra evita; el enfriamiento lo realiza la sombra.
- **Espejos para concentrar sombra:** un espejo no *enfoca* sombra sobre un parche; la sombra la producen los ocultadores. La función de los espejos de enfrente es otra (sección 4): bloquear con su área propia y enrutar la energía reflejada hacia el sistema.
- **Proyectiles criogénicos como mecanismo de enfriamiento:** una masa de 10 t a 10 km/s entrega ≈88 veces más calor cinético que el frío que transporta.
- **Calendarios de cierre en 200 años:** incompatibles con las tasas del propio sistema (aun secuestrando 0,1 bar por década, bajar de 92 a 5 bar tomaría ≈8.700 años). Los relojes de esta tesis son los de sus pisos.

10. Ética y gobernanza: la Custodia

- **Venus como entidad protegida:** marco de no apropiación análogo al Tratado Antártico, con monitoreo permanente. Ningún actor se declara dueño de un planeta.
- **La regla de la vida:** si se confirma vida nativa, toda intervención sobre ella se detiene y cambia de modo: primero se la estudia y se modela su evolución **en simulación** (sistemas de cómputo e inteligencia artificial: gemelos digitales, generaciones virtuales) hasta entender qué significa ayudarla *para ella*. Nada se le hace a la vida de Venus que no haya pasado antes por la simulación.
- **Toda fase reversible, medible y orientada a aumentar la autonomía del planeta.** La intervención que no cumpla las tres condiciones no pertenece a este plan.
- **La puerta real es política y científica:** el Tratado del Espacio Exterior (arts. II y IX) y la política de protección planetaria preceden a cualquier ingeniería. Este estudio lo declara como parte de su diseño, no como nota al pie.
- **El fallo propio, declarado y abierto:** toda sombra administrada puede fallar como sombra no administrada. El principio de diseño, con tecnología conocida, es el anclaje: elementos anclados a distancia fija, perpetuamente de frente al Sol (3.2), capaces de apagarse y de ser recuperados. El cómo exacto de ese anclaje a escala de sistema se deja abierto a propósito, como pregunta al lector, con las pistas ya dadas en este estudio: *con tu conocimiento de la tecnología actual — y de las futuras plausibles —, ¿cómo lo lograrías tú?*

11. Conclusión

¿Es posible terraformar Venus? Este estudio sostiene que sí: ninguna ley física lo prohíbe, y el planeta trae el nitrógeno, el carbono y la energía. ¿En cuánto tiempo? Depende del piso que se prometa: **5–10 siglos para apagar el horno, ~100 siglos para habitarlo con marcapasos, eras geológicas para devolverle la autorregulación.** Y antes que todo eso, desde el primer piso, es posible algo más modesto y quizá más valioso: mejorar el ecosistema para la vida que el planeta pueda ya tener.

Los relojes son de dos clases. Los **elásticos** — despliegue, industria, materiales — los comprimirá la tecnología futura: cada número de esta tesis es un piso, no un techo. Los **rígidos** — el momento angular del giro, la respuesta del manto y del núcleo, la energía de partir el CO_2, la masa que hay que enterrar — no bajan de su cota por ninguna tecnología. Sobre los rígidos se apoya la conclusión.

No conquistamos Venus. Le devolvemos su latido — y si el latido tarda cien siglos en ser suyo, la custodia dura cien siglos.

---

12. Referencias

Referencias de contexto. Los cálculos marcados [MODELO] en este estudio son propios y reproducibles desde el Apéndice.

- Birch, P. (1991). «Terraforming Venus Quickly». *Journal of the British Interplanetary Society*, 44.
- Correia, A. C. M. & Laskar, J. (2001). «The four final rotation states of Venus». *Nature*, 411.
- Green, J. et al. (2017). «A Future Mars Environment for Science and Exploration». *Planetary Science Vision 2050 Workshop*, NASA.
- Hecht, M. et al. (2021). «Mars Oxygen ISRU Experiment (MOXIE)». *Space Science Reviews*, 217.

- Margot, J.-L. et al. (2021). «Spin state and deep interior structure of Venus». *Nature Astronomy*, 5.
- Pokorný, P. & Kuchner, M. J. (2019). «Coorbital Asteroids as the Source of Venus's Zodiacal Dust Ring». *The Astrophysical Journal Letters*, 873:L16.
- Turbet, M. et al. (2021). «Day-night cloud asymmetry prevents early oceans on Venus». *Nature*, 598.
- Way, M. J. et al. (2016). «Was Venus the first habitable world of our solar system?» *Geophysical Research Letters*, 43.

Apéndice — Constantes y cotas usadas

- Radio de Venus: 6.051,8 km. Masa: $4{,}867\times10^{24}$ kg. Momento de inercia: $I = 0{,}337\cdot M\cdot R^2 \approx 6{,}0\times10^{37}$ kg·m² [DATO]/[MODELO].
- Flujo solar en Venus: 2.611 W/m²; absorbido tras albedo (0,76): ≈157 W/m² [DATO].
- Superficie: 737 K, 92 bar; atmósfera $\approx 4{,}8\times10^{20}$ kg (96,5% CO_2; N_2 ≈3,2 bar parciales) [DATO].
- ΔL del giro: a 30 días retrógrado, $1{,}28\times10^{32}$ kg·m²/s; a 30 días prógrado, $1{,}64\times10^{32}$ [MODELO].
- Par de mareas (térmica/gravitatoria): 6×10^{15}–6×10^{16} N·m para $k_2/Q \in [0{,}003;\ 0{,}03]$ [MODELO].
- Difusividad térmica del basalto: $\kappa \approx 7\times10^{-7}$ m²/s; penetración ≈4,7 m en 1 año [MODELO].
- Punto de rocío del vapor venusiano (30 ppmv, 92 bar): ≈263 K [MODELO].
- Densidad areal crítica de estatita reflectora a 0,72 UA: ≈1,5 g/m² [MODELO].
- Partición del CO_2: $\Delta H(CO_2 \rightarrow C + O_2)$ = +393,5 kJ/mol; inventario $1{,}05\times10^{22}$ mol → $4{,}1\times10^{27}$ J [DATO]/[MODELO].
- Corriente de anillo para 100 nT en el centro: $I = 2R\cdot B/\mu_0 \approx 1{,}0\times10^{6}$ A ($R \approx 6{,}4$–$7{,}0\times10^{6}$ m) [MODELO].

Fin del borrador v2.8.