

Atraso civilizacional

Roma



El Carbono



y la República de
Costa Rica



Jose Andres Zamora Viquez
2026

Atraso civilizacional: Roma, el carbono y la República de Costa Rica

Civilizational Lag: Rome, Carbon and the Republic of Costa Rica

Jose Andres Zamora Viquez

Universidad Latina de Costa Rica

Costa Rica

joseandreszamoravi@gmail.com

2026

Resumen

Un argumento histórico basado en la teoría donde se sostiene que las civilizaciones generan sistemáticamente daños invisibles como subproductos de sus mayores logros, y que cada iteración de este patrón no solo se repite, sino que se intensifica exponencialmente. Desde el plomo romano que contaminó un imperio, pasando por el carbono industrial que desestabilizó un planeta, hasta la geoingeniería solar que amenaza con condenar a la humanidad a una dependencia atmosférica sin una salida segura. El artículo propone el atraso civilizatorio como concepto formal para describir la barrera estructural entre la consecuencia tecnológica y la respuesta institucional y argumenta que el patrón termina en un shock de terminación; el momento en que detener la intervención se vuelve tan catastrófico como el problema original.

Costa Rica, como protagonista de un futuro distópico, un pequeño estado que se descarboniza responsablemente, construyó un modelo de energía pública basado en la hidrología limpia y ahora se encuentra doblemente expuesto a inestabilidades que no causó e intervenciones que no podrá

controlar. Un ejemplo real del precio que paga el atraso civilizatorio a quienes se comportaron correctamente.

Palabras Clave: Energía renovable, Shock de Terminación, Marco Judicial Costarricense

Abstract

A historical argument is based on the theory that civilizations systematically generate invisible damage as byproducts of their greatest achievements, and that each iteration of this pattern not only repeats itself but intensifies by magnitudes. From Roman lead that contaminated an empire, to industrial carbon that destabilized a planet, to solar geoengineering that threatens to lock humanity into atmospheric dependency with no safe exit. The paper proposes civilizational lag as a formal concept to describe the structural gap between technological consequence and institutional response and argues that the pattern ends in a termination shock; the moment when halting intervention becomes as catastrophic as the original problem. Costa Rica, as the protagonist of a dystopian future, a small state that is responsibly decarbonizing, built a public energy model based on clean hydrology and now finds itself doubly exposed to instabilities it did not cause and interventions it cannot control. A real world example of the price civilizational lag pays to those who have acted correctly.

Keywords: Renewable energy, Termination Shock, Costa Rican Judicial Framework

I. Introducción

En lo más profundo del círculo polar ártico, capas de hielo, perforadas y analizadas en laboratorio, permanecen preservadas como un archivo planetario. Dentro de esas capas de hielo permanecen, y permanecerán para siempre, restos de civilizaciones desaparecidas: ceniza volcánica de erupciones, partículas de combustión industrial e incluso restos microscópicos de la fundición romana de plomo. Mucho después del colapso del Imperio Romano, la contaminación producida por su expansión quedó incrustada en la Tierra, invisible para quienes la crearon, pero detectable miles de años después.

Las civilizaciones a menudo han entendido sus logros a través de monumentos, victorias militares, expansión económica o progreso tecnológico. Sin embargo, se ha prestado mucha menos atención a las consecuencias emergentes que acompañan a esos logros y a la persistente incapacidad de las instituciones políticas para reconocerlas o en este caso, revertirlas antes de que empeoren. Este artículo busca argumentar que tales fallos no son accidentes históricos aislados, sino parte de un patrón estructural recurrente. Desde la contaminación por plomo en la época romana hasta las emisiones industriales de carbono, pasando por las intervenciones contemporáneas de geoingeniería solar, las sociedades humanas generan repetidamente formas de daño invisible cuyas consecuencias superan la capacidad de las instituciones diseñadas para gestionarlas.

El artículo introduce el concepto de atraso civilizatorio para describir la brecha entre las consecuencias tecnológicas y la respuesta institucional. Este patrón surgió inicialmente a escalas

locales e imperiales, la modernidad industrial lo transformó en una condición planetaria. En su forma más avanzada, se observa hoy en día en los debates sobre la inyección de aerosoles estratosféricos, el atraso civilizacional, se llega a una fase terminal en la que detener la intervención puede resultar catastrófico. La cuestión ya no es simplemente si las civilizaciones causan daño, sino en si se vuelven estructuralmente incapaces de abandonar los sistemas que ellas mismas crean.

Costa Rica sirve como referente jurídico del artículo, a través del cual estas dinámicas se hacen visibles. A pesar de haber construido uno de los sistemas públicos de energía renovable más ambiciosos del mundo y de contribuir mínimamente a las emisiones globales, el país sigue siendo profundamente vulnerable a la inestabilidad climática y a futuras intervenciones atmosféricas dirigidas por actores más poderosos. En este sentido, Costa Rica ilustra la distribución desigual de los costos producidos por el atraso civilizacional.

A través de un análisis histórico comparativo de Roma, las emisiones industriales de carbono y la geoingeniería solar; antes de examinar a Costa Rica como caso. Argumenta que el progreso del atraso civilizatorio no es meramente repetitivo, sino exponencial, marcado por una creciente invisibilidad y la irreversibilidad.

II. Marco teórico

Cuando pensamos en fenómenos antinaturales, o incluso en crisis ambientales contemporáneas, a menudo se explican mediante conceptos como fallas en la gobernanza, debilidad institucional, captura regulatoria o problemas de acción colectiva. Aunque estos marcos iluminan aspectos importantes de la respuesta política, comparten un punto ciego fundamental que es que asumen que el problema es de reconocimiento o voluntad.

Se asume que instituciones más sólidas o regulación más eficaz podrían contener las consecuencias que las propias sociedades generan. Este artículo argumenta que eso simplemente no es suficiente.

Este artículo argumenta que el problema es más profundo y estructural de lo que puede explicarse únicamente por la falta de gobernanza. A lo largo de diversos periodos históricos, las civilizaciones han generado repetidamente formas de consecuencias materiales cuya magnitud y alcance temporal superaron la capacidad institucional para gestionarlas. E irónicamente, la gobernanza ha surgido sistemáticamente solo después de que ya se hubiera consolidado la dependencia económica respecto de esos sistemas.

Este artículo denomina a este patrón estructural atraso civilizatorio. Una condición civilizatoria recurrente en la que la transformación tecnológica supera sistemáticamente la adaptación política.

A diferencia de las explicaciones convencionales del atraso institucional, el atraso civilizacional opera a través de escalas históricas y observa la relación entre sistemas de

producción completos y dependencia ecológica. La tendencia de las civilizaciones a normalizar formas invisibles de acumulación hasta que los costos de revertirlas se vuelven política, económica y materialmente imposibles.

Este atraso puede identificarse mediante diferentes marcadores históricos que se intensifican a lo largo del tiempo. El primero es la acumulación invisible; la producción gradual de consecuencias nocivas que permanecen parcialmente imperceptibles y socialmente normalizadas que no se pueden acceder científicamente durante el periodo que fueron producidas. En “El choque del Antropoceno”, Bonneuil and Fressoz (2016) cuestionan la narrativa dominante de que las sociedades industriales actuaron por ignorancia frente a las consecuencias de su propio desarrollo. Su argumento central sostiene que el conocimiento sobre el daño ambiental existía, que había voces científicas y comunidades comprendían las implicaciones de la industrialización, pero que ese conocimiento fue sistemáticamente suprimido o ignorado. Esta revisión es valiosa y el presente artículo no busca contradecirla.

Sin embargo, el atraso civilizatorio no es un argumento sobre la ausencia del conocimiento, es un argumento estructural sobre la relación entre dependencia y reversibilidad. La pregunta relevante no es si las civilizaciones sabían, sino si podían actuar sobre lo que sabían sin desestabilizar los sistemas económicos y políticos que sostenían su propio funcionamiento. Roma tuvo escépticos del plomo. La modernidad industrial tuvo científicos climáticos tempranos. El conocimiento existía, pero la dependencia estructural respecto de esos sistemas ya se concretó antes de que la gobernanza tuviera el incentivo de responder.

El segundo marcador es el vacío de gobernanza, no es simplemente la ausencia de regulación sino la incapacidad de las instituciones políticas para revertir las consecuencias generadas por los sistemas. Este vacío surge porque las instituciones de gobernanza emergen históricamente después de que los sistemas productivos ya se han normalizado.

Las instituciones no llegan tarde por accidente, llegan tarde porque su propia existencia depende de los sistemas de regulación. Una Roma que hubiera prohibido el plomo habría desmantelado parte de la infraestructura hidráulica que sostenía su expansión urbana. Una modernidad industrial que hubiera regulado el carbono en sus etapas tempranas habría contenido el mismo proceso de acumulación de capital que financiaba sus instituciones.

En su forma más avanzada, este vacío no es solo temporal; pero afecta a todos de una forma sistemática. La geoingeniería solar ilustra un caso en el que no existe ningún marco institucional con autoridad legítima para aprobar, regular o detener intervenciones atmosféricas de escala planetaria. El vacío es ausencia legal.

El tercer marcador es el gradiente de irreversibilidad. Los otros dos marcadores describen condiciones de una estructura que persiste e ignora independientemente del daño que produce. El gradiente de irreversibilidad describe una trayectoria sobre la progresión histórica mediante la cual los costos de abandonar un sistema dañino se vuelven progresivamente más caros con el tiempo.

Los sistemas productivos generan infraestructura, empleo y capital acumulado que hacen costoso su abandono incluso cuando el daño es reconocido. En una forma más avanzada, la irreversibilidad es ecológica: el daño acumulado en el sistema natural supera la capacidad de

recuperación dentro de escalas de tiempo políticamente manejables. En su forma terminal, la irreversibilidad se convierte en dependencia sistémica: abandonar la intervención produce consecuencias tan desestabilizadoras como el problema original.

Esta última forma tiene un nombre técnico en la literatura sobre geoingeniería: choque de terminación. Su mera existencia como concepto señala algo significativo; que hemos llegado a un punto en el que el gradiente de irreversibilidad no solo complica la salida, sino que la convierte en catástrofe. No es simplemente que sea difícil detenerse. Es que detenerse puede ser tan destructivo como continuar.

El gradiente de irreversibilidad es, en este sentido, la medida del atraso civilizatorio acumulado. Cuanto más profundo es el atraso civilizatorio acumulado, más costosa y políticamente inviable se vuelve la salida.

III. Roma y el primer modelo

Representó uno de los logros civilizatorios más extraordinarios de la historia. Al pensar en el imperio que conquistó el mundo conocido, el plomo es una de las últimas cosas que se nos vienen a la mente. Dentro de los límites de la ciudad, fue uno de los elementos y materiales que apoyó desmesuradamente su desarrollo. La infraestructura hidráulica romana dependía en gran medida de tuberías de plomo para distribuir agua a lo largo de los centros en crecimiento, transportaban millones de litros de agua diariamente, sistemas de distribución urbana, baños públicos y redes de plomería doméstica que definían el estándar de vida de las élites imperiales.

Esta infraestructura además de ser simplemente funcional era el símbolo material del orden romano, de su capacidad técnica y de la promesa de civilización que exportaba a sus provincias.

Tuberías, recipientes de cocina, vasijas de almacenamiento, e incluso un vino llamado sapa, producido hirviendo mosto de uva en recipientes de plomo, consumido ampliamente por las clases altas romanas. El plomo era barato, maleable, duradero y funcionaba. No había razón técnica para sustituirlo y ninguna institución con el mandato o la capacidad conceptual para cuestionar su uso sistémico.

Los mismos sistemas que permitieron a Roma mantener ciudades, redes comerciales y formas avanzadas de consumo también produjeron una contaminación persistente de bajo nivel que se distribuía a través del agua, los alimentos y el vino.

Lo que Roma no podía ver, y lo que ningún romano habría podido documentar, quedó preservado en otro lugar. Núcleos de hielo extraídos del Ártico revelan una firma química con un pico sostenido de contaminación por plomo que coincide precisamente con los siglos de mayor expansión imperial romana, detectable a miles de kilómetros de distancia de cualquier acueducto. (McConnell et al. 2018) El Imperio había terminado hacía siglos cuando esa señal comenzó a desvanecerse. La acumulación sobrevivió a la civilización que la produjo.

Existían observaciones aisladas sobre los efectos nocivos del plomo, no había capacidad institucional para conceptualizar la contaminación como un problema estructural derivado de la propia infraestructura imperial. El primer marcador del atraso civilizatorio había comenzado.

Como se ve hoy en día, lo que pudo existir como una respuesta institucional romana no puede explicarse simplemente por ignorancia. Vitruvio, arquitecto e ingeniero quien escribió *De Architectura* donde advirtió explícitamente contra el uso de tuberías de plomo para la distribución de agua, recomendando en su lugar el uso de terracota por razones de salud. Plinio documentó los efectos tóxicos del plomo en contextos mineros en su *Naturalis Historia*. Este conocimiento era accesible para la clase intelectual romana, pero nada cambió a pesar de todo.

Existe este vacío gubernamental, en una extraordinariamente sofisticada civilización con derecho elaborado, administración provincial, ingeniería hidráulica y literatura técnica que identificaba el problema con precisión, incapaz de traducir ese conocimiento en respuesta institucional. El derecho romano regulaba contratos y ofensas entre personas identificables. Pero no existía cierta categoría para el daño acumulativo e invisible generado por la propia infraestructura del Estado. La sofisticación de Roma no fue un antídoto contra el atraso civilizatorio. Paradójicamente, fue la condición que le permitió prosperar; pero cuanto más dependía la ciudad del plomo, más impensable era cuestionarlo.

La irreversibilidad opera en su forma más clara en Roma con su dependencia. Para reemplazar todo el plomo habría significado dismantelar los acueductos, quitar el de las ciudades, reestructurar la producción de alimentos y abandonar el sapa que definía el consumo de las élites. Realísticamente hablando, no existía alternativa técnica viable dentro de la imaginación institucional romana porque el costo de salir supera cualquier incentivo para intentarlo.

Algunos historiadores han llevado esta lógica más lejos. La hipótesis de envenenamiento por plomo romano sugiere que la exposición crónica al plomo entre las élites imperiales, pudo haber contribuido a patrones de deterioro cognitivo observables en la clase gobernante. Emperadores erráticos e incapacidad institucional progresiva. La hipótesis es difícil de probar con certeza, pero es igualmente difícil de descartar dado lo que hoy sabemos sobre los efectos neurotóxicos del plomo a exposición crónica.

Lo que Roma ilustra, su capacidad revolucionaria de plomo, la modernidad industrial repitió a una escala planetaria. Entre 1923 y 1996, el plomo fue añadido sistemáticamente a la gasolina en Estados Unidos con exposición masiva a través del aire, el suelo y los alimentos. Un estudio publicado en los *Proceedings of the National Academy of Sciences* en 2022 estimó que más de 170 millones de estadounidenses vivos en 2015 habían sido expuestos a niveles clínicamente preocupantes de plomo durante la infancia. Con una pérdida colectiva estimada de 824 millones de puntos de coeficiente intelectual. La hipótesis del crimen y el plomo extiende estas consecuencias al aspecto social; el ascenso y la caída de la criminalidad violenta en el siglo XX sigue con notable precisión la curva de exposición al plomo, entre la exposición y el pico de criminalidad, cuando empezó a ser regulado sugiriendo que una decisión de infraestructura reestructuró invisiblemente el comportamiento social de generaciones enteras. (McFarland, Hauer and Reuben 2022)

Roma no sabía lo que estaba haciendo. La modernidad industrial sí lo sabía, o podía haberlo sabido, y lo hizo de todas formas. El patrón empezó con el imperio y siguió las civilizaciones.

IV. Extremos Industriales

Roma sirve como un marcador del atraso civilizatorio de forma elemental, la modernidad como uno de los fenómenos más impactantes; a una condición planetaria. El carbono no solo contaminó un imperio, sino también la atmósfera compartida de toda la humanidad. Y a diferencia del plomo romano, cuya invisibilidad era genuina, la acumulación de carbono industrial no ocurrió en la oscuridad del conocimiento científico.

En 1856, Eunice Newton Foote identificó experimentalmente la capacidad del dióxido de carbono para atrapar calor. En 1896, Svante Arrhenius calculó con precisión el calentamiento global que resultaría de duplicar las concentraciones atmosféricas de CO₂. El conocimiento fue publicado y accesible para quienes tomaban decisiones industriales y políticas. Bonneuil y Fressoz tenían razón con que la modernidad industrial no actuó por ignorancia, se vio continuar a pesar del conocimiento. (Bonneuil y Fressoz 2016)

Lo que cambió entre Roma y la modernidad industrial fue su escala y su cinismo. Se normaliza en Roma por falta de categoría conceptual para el daño sistémico. La modernidad industrial normaliza el carbono teniendo esa categoría, eligiendo sistemáticamente no aplicarla. La acumulación de carbono fue una consecuencia anticipada y externalizada del mayor proyecto de acumulación de capital de la historia.

El cambio climático es el primer problema en la historia humana que es simultáneamente global en sus causas y consecuencias; y que requiere coordinación sostenida entre actores soberanos que no reconocen ninguna autoridad superior. Roma podría en principio haber resuelto su problema de plomo unilateralmente, dentro de sus propias instituciones si hubiera tenido la

categoría conceptual para reconocerlo. El problema industrial del carbono no puede resolverse solamente por un actor por más poderoso que sea este.

La respuesta internacional a lo que está ocurriendo llegó bastante tarde, y bastante débil. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático fue adoptada en 1992 casi un siglo después de que se calculará el problema, y junto este, se firmó El Protocolo de Kioto, donde las principales economías lo abandonaron. Estos consensos descansan sobre compromisos voluntarios sin mecanismos para ejercerlos. Su autoridad es estructuralmente insuficiente para el problema de este nivel.

El vacío de gobernanza en su segunda forma, donde la ausencia de autoridad legítima es real. Las instituciones llegaron tarde y llegaron sin los dientes necesarios para revertir una dependencia que llevaba más de un siglo procreando.

Como se observó en Roma, el aspecto irreversibilidad lo supera por magnitudes ya que no es solo un aspecto económico o infraestructural, es ecológica. El CO₂ emitido no desaparece con la regulación de las emisiones. Se acumulan por siglos continuando sin importar las decisiones políticas que se tomen hoy. Una civilización que descarbonizará completamente mañana heredaría décadas de calentamiento desproporcionada.

Esta es la distinción crítica entre la irreversibilidad romana y la industrial. Roma podía en principio haber reemplazado sus tuberías de plomo; el daño acumulado en cuerpos individuales era irreversible, pero el sistema era reemplazable. El carbono industrial ha producido una

irreversibilidad constante dentro de escalas de tiempo político que el sistema climático mismo ha sido alterado de maneras que continuarán desarrollándose independientemente.

La dependencia en este caso es civilizatoria en el sentido más literal. Los sistemas de alimentación, transporte, manufactura, y comunicación que sostienen a ocho mil millones de personas están contruidos sobre energía de carbono. Abandonar ese sistema no significa replomear una ciudad, significa reestructurar la base de toda civilización moderna. El costo de salida es existencialmente desestabilizador.

Y, sin embargo, a diferencia de Roma, la salida es todavía técnicamente posible. Las energías renovables existen. La transición es costosa e institucionalmente resistida, pero físicamente realizable. El nivel de irreversibilidad industrial es severo, y cada año que pasa la hace más cara y difícil. En Roma la salida era impensable. En la modernidad industrial es prohibitiva. En la geoingeniería solar se convierte en catástrofe. El cambio ha llegado a su forma terminal.

V. Termination Shock

La geoingeniería solar no es una propuesta futura. Sino un relato que existe hoy en día, una conversación que ya comenzó, sin permisos de quien más la necesitan y que al mismo tiempo, más le tienen miedo.

A diferencia del plomo romano y del carbono industrial, la inyección de aerosoles estratosféricos no es una consecuencia no intencional de un sistema productivo sino más como una intervención “controlada” y consciente; diseñada sobre el sistema climático planetario. Jugar a ser

dios, en el sentido más literal. Esa distinción cambia fundamentalmente el carácter moral y jurídico del problema. El plomo romano era una externalidad de la infraestructura. El carbono industrial era una externalidad del capital. La geoingeniería solar es una decisión.

Las decisiones tienen actores y responsables, y estas responsabilidades, al menos en el aspecto de derecho internacional todavía no tiene nombre, y si nos basamos en la idea del atraso civilizacional, no va a tener nombre en un gran tiempo.

En 2026, empresas privadas como Stardust Solutions han comenzado a desarrollar programas de inyección de aerosoles estratosféricos sin marco regulatorio internacional que los autorice, límite o detenga. (Hiar y Mathiesen, 2025) No existe ningún tratado vigente con autoridad legítima sobre la atmósfera como bien común planetario.

El vacío de gobernanza que en Roma era conceptual y en la modernidad industrial era jurisdiccional, aquí es total. En este contexto, no es un atraso, sino ausencia estructural en el momento en que la intervención ya está comenzando. Lo que hace a este momento cualitativamente diferente de los anteriores no es solo la escala.

Es que, por primera vez en la historia, una civilización está considerando deliberadamente alterar el sistema climático planetario como respuesta a los daños que ella misma produjo. Es una intervención sobre las consecuencias de una intervención anterior. El atraso civilizatorio ha llegado al punto en que sus soluciones reproducen su propia lógica.

Finalmente, el gradiente de irreversibilidad alcanza su forma terminal un concepto que la literatura técnica sobre geoingeniería denomina *Termination Shock*. (Parker and Irvine 2018) Si la inyección de aerosoles estratosféricos se mantiene durante décadas y luego se detiene abruptamente, sea por colapso institucional, conflicto geopolítico, agotamiento de recursos o simple cambio de voluntad política; las temperaturas globales se recalentarían a un ritmo varias veces más rápido que el calentamiento original que la intervención buscaba mitigar. (Trisos et al., 2018)

La razón es estructuralmente simple, y metafísicamente destructora. Mientras la inyección continúa, enmascara el calentamiento acumulado que el carbono atmosférico sigue produciendo silenciosamente debajo de la capa reflectante. El termómetro global no mide la ausencia de la enfermedad, mide la presencia continua del tratamiento. El día en que el tratamiento se detiene, la enfermedad completa reaparece de inmediato, sin las décadas de advertencia gradual que el calentamiento ordinario habría dado.

Esto invierte la lógica de la irreversibilidad romana e industrial. En Roma y en el carbono, el daño se acumulaba lentamente y de forma silenciosa. En la geoingeniería solar, es la ausencia de daño la que es artificial y temporal, sostenida únicamente mientras la intervención continúa. La civilización que adopta la geoingeniería solar no resuelve el atraso civilizatorio. Lo convierte en una dependencia perpetua, donde detenerse es estructuralmente equivalente a empezar de nuevo.

El choque de terminación no es solo un riesgo técnico. Es la forma más extrema sobre gradiente de irreversibilidad, una vez que se cruza el event horizon deja de ser un costo y se convierte en una trampa civilizatoria.

El *Termination Shock* produce mil preguntas sin respuestas, y nos enfrenta a una situación en la que actuar y no actuar conducen ambos a resultados catastróficos y en la que no existe una tercera opción.

No desplegar geoingeniería solar significa aceptar el calentamiento acumulado del carbono industrial sin mitigación, con consecuencias que los modelos climáticos describen como potencialmente civilizatorias en su extremo.

Desplegarla significa aceptar una dependencia que, una vez iniciada, no puede detenerse sin desencadenar un recalentamiento más violento que el problema original. Y continuar indefinidamente significa transferir la soberanía sobre el sistema climático planetario a quien quiera que controle el programa.

Esta es la naturaleza de la propuesta y no la falla estructural, Cualquier intervención sobre un sistema cuya escala excede la del actor que la controla produce, tarde o temprano, esta misma forma de atrapamiento como se ha mostrado en los tres casos anteriores.

Y lo más horrible; si funciona esta solución exactamente como está diseñada, la trampa existe dentro de todo., El éxito técnico y el atrapamiento estructural no son resultados alternativos. Son el mismo resultado, descrito desde dos posiciones temporales distintas.

El *Termination Shock* también impone un requisito gubernamental que ni existe hoy en día, mantener una intervención atmosférica continua durante un período que la propia ciencia climática estima en siglos, posiblemente milenios, para evitar el recalentamiento abrupto. Ningún marco de gobernanza en la historia humana ha sostenido un compromiso vinculante de esa duración. Hasta les cuesta mantener uno por 4 años.

Estados Unidos abandonó el Protocolo de Kioto, luego se retiró del Acuerdo de París, luego regresó, luego amenazó retirarse nuevamente, todo dentro del lapso de una sola generación política. Si un compromiso climático voluntario de cooperación internacional no logra sobrevivir un cambio de partido en el poder, resulta difícil imaginar cómo un programa de intervención atmosférica activa, que exige continuidad operativa ininterrumpida, sobreviviría guerras, colapsos económicos, revoluciones, pandemias o simplemente el desgaste ordinario de la voluntad política.

Ninguna constitución ha sido construida con la expectativa de durar mil años de implementación consistente. Las catedrales medievales tardaron generaciones enteras en completarse y eso se consideraba un acto de paciencia institucional extraordinaria a base de fe. La geoingeniería solar exigiría una paciencia mil años más larga, sostenida no por la fe sino por la cooperación de actores soberanos que ni siquiera logran ponerse de acuerdo sobre los términos de un tratado comercial.

Termination Shock no es solo un riesgo técnico sino una certeza estadística razonable, dado el comportamiento del *zoon politikon*.

VI. Costa Rica Como Lente de Justicia

Costa Rica no participó en la combustión de carbón que produjo la revolución industrial. No posee programas de inyección de aerosoles ni capacidad institucional para influir en su desarrollo. De igual forma, está estructuralmente expuesta a las consecuencias de ambos.

El Instituto Costarricense de Electricidad construyó, a lo largo de más de seis décadas, uno de los sistemas eléctricos más limpios del mundo con récords de más de un 70% por generación hidroeléctrica. Y para todos los Costarricenses, es la base de un contrato social, la electricidad entendida como un derecho garantizado por el Estado, no como una mercancía sujeta a la lógica del mercado. Costa Rica hizo, de manera temprana lo que el argumento de este artículo sugiere que las civilizaciones rara vez hacen, actuó antes de que la dependencia se vuelva técnicamente irreversible.

Pero ese logro depende enteramente de un sistema climático estable. La hidroelectricidad requiere lluvia, y la lluvia depende de patrones atmosféricos que el carbono industrial ya ha comenzado a desestabilizar y que la geoingeniería solar, si se despliega unilateralmente, podría alterar aún más sin ningún mecanismo de consentimiento. La sequía de 2024 llevó al país al borde del racionamiento eléctrico por un diseño que nunca se esperó enfrentar. (The Tico Times, 2024)

Esta vulnerabilidad climática no es solo un riesgo futuro abstracto. Se ha vuelto en un arma política, en 2026, la Asamblea Legislativa aprobó en primer debate un proyecto de ley para privatizar parcialmente la generación eléctrica (Expediente 23.414) citando precisamente la inestabilidad reciente del sistema como evidencia de que el modelo público ya no es sostenible. (Martínez, 2026) Pero, la misma inestabilidad climática externa que el atraso civilizatorio ha producido se utiliza ahora para justificar el abandono del modelo que, paradójicamente, distribuía sus costos de manera más equitativa que cualquier alternativa de mercado.

Aquí se revela la injusticia central del atraso civilizatorio. Los costos de la acumulación invisible y del vacío de gobernanza no se distribuyen según la responsabilidad histórica, sino según la vulnerabilidad estructural. Costa Rica descarbonizó. Costa Rica no contaminó. Y sin embargo, Costa Rica está doblemente expuesta a una inestabilidad climática que no causó, y a una intervención atmosférica futura sobre la cual no tendrá ninguna autoridad de decisión.

VII. El Vacío De Legitimidad

Las tres trayectorias examinadas en este artículo Roma, la modernidad industrial y la geoingeniería solar exponen drásticamente un vacío de gobernanza que se intensifica progresivamente en su naturaleza.

En Roma, el vacío era conceptual. No existía ninguna categoría jurídica o política capaz de reconocer el daño sistémico generado por la propia infraestructura del Estado. El conocimiento aislado no encontró ninguna institución dispuesta a tratarlo. En la modernidad industrial, el vacío se volvió jurisdiccional. La categoría existía, la ciencia climática, pero ninguna autoridad legítima

poseía jurisdicción real sobre un problema que excede las fronteras de cualquier Estado soberano. En la geoingeniería solar, el vacío se ha vuelto total. Ni la categoría conceptual limitada de Roma, ni el estado jurisdiccional de la modernidad industrial, existen siquiera en forma parcial. Actores privados están comenzando a intervenir sobre el sistema climático planetario.

Este patrón no es exclusivo de los tres casos históricos examinados aquí. La gobernanza de la inteligencia artificial avanzada exhibe una lógica estructuralmente idéntica, desarrollándose de manera simultánea y no posterior a la geoingeniería solar. Sistemas con capacidades transformadoras se crean a una velocidad que excede sistemáticamente la capacidad regulatoria de cualquier Estado individual.

Con oportunidades inimaginables a la dependencia económica e institucional y los actores con mayor poder de decisión sobre su desarrollo son, predominantemente, privados. El atraso civilizatorio no es una serie de casos cerrados que el presente artículo documenta retrospectivamente. Pero más bien, un proceso activo

La pregunta es si existe algún diseño institucional capaz de anticipar la dependencia antes de que se consolide, en lugar de regular sus consecuencias después de que la salida ya se ha vuelto prohibitiva.

VII. Conclusión

Las capas de hielo en lo más profundo del círculo polar ártico siguen acumulándose, año tras año, indiferentes a las civilizaciones que las producen. Dentro de ellas, el plomo romano y el

carbón industrial conviven ya como restos de un pasado igual. Y que en el futuro se verá una señal química dejada por la geoingeniería solar.

Este artículo ha argumentado que estos tres casos no son ocurrencias aisladas sino expresiones sucesivas de un mismo patrón estructural, el atraso civilizatorio, que no simplemente se repite, sino que se intensifica con cada iteración.

Costa Rica con su modelo eléctrico público demuestra que actuar antes de que la dependencia se consolide es posible. Pero también demuestra que actuar responsablemente no protege a un Estado de la irresponsabilidad climática y geopolítica de otros.

El atraso civilizatorio no terminó con Roma, ni terminará con la geoingeniería solar. Ya se perfila en la gobernanza de la inteligencia artificial, y probablemente en dominios tecnológicos que todavía no hemos nombrado.

Si el atraso civilizatorio tiene una respuesta institucional, posiblemente esta no puede operar bajo la misma lógica que ha fallado tres veces. Exigiría instituciones diseñadas para anticipar dependencias antes de que se creen no para regularlas después. Ningún sistema presente cumple esta condición. Proponerlas en abstracto es sencillo. Construir las a tiempo, antes de que la siguiente iteración del patrón se manifieste, es precisamente lo que ninguna civilización ha logrado todavía.

La pregunta que este artículo no puede responder, y que quizás ninguna generación pueda responder hasta haberla vivido, es si una civilización puede aprender a reconocer su propio patrón

a tiempo para interrumpirlo...o si el patrón mismo es la condición que hace ese reconocimiento estructuralmente imposible.

Bibliografía

Arrhenius, S. (1896). On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 41*(251), 237–276.

Asamblea Legislativa de Costa Rica. (2026). *Ley de Armonización del Sistema Eléctrico Nacional (Expediente N.º 23.414).*

Bonneuil, C., & Fressoz, J.-B. (2016). *The shock of the Anthropocene: The Earth, history, and us*. Verso.

Foote, E. N. (1856). Circumstances affecting the heat of the sun's rays. *American Journal of Science and Arts, 22*(66), 382–383.

Hiar, C., & Mathiesen, K. (2025). Global cooling startup raises \$60M to test sun-reflecting technology. *E&E News by POLITICO*.

Instituto Costarricense de Electricidad. (2026). *Informe anual de generación eléctrica 2025*. ICE.

Martínez, G. (2026, 26 de mayo). Diputados votan en primer debate proyecto de armonización eléctrica. *CRHoy*.

McConnell, J. R., Wilson, A. I., Stohl, A., Arienzo, M. M., Chellman, N. J., Eckhardt, S., Thompson, E. M., Pollard, A. M., & Steffensen, J. P. (2018). Lead pollution recorded in Greenland ice indicates European emissions tracked plagues, wars, and imperial expansion during antiquity. **Proceedings of the National Academy of Sciences, 115*(22), 5726–5731.*

McConnell, J. R., et al. (2022). Pervasive lead pollution and cognitive impact in ancient Rome. **Proceedings of the National Academy of Sciences**.

McFarland, M. J., Hauer, M. E., & Reuben, A. (2022). Half of US population exposed to adverse lead levels in early childhood. **Proceedings of the National Academy of Sciences, 119*(11), e2118631119.*

Parker, A., & Irvine, P. J. (2018). The risk of termination shock from solar geoengineering. **Earth's Future, 6*(3), 456–467.*

Pliny the Elder. (1938). **Natural history** (H. Rackham, Trans.). Harvard University Press. (Obra original publicada ca. 77–79 d. C.).

The Tico Times. (2024, abril). Costa Rica faces historic drop in renewable energy production.

Trisos, C. H., Amatulli, G., Gurevitch, J., Robock, A., Xia, L., & Zambri, B. (2018). Potentially dangerous consequences for biodiversity of solar geoengineering implementation and termination. **Nature Ecology & Evolution, 2*, 475–482.*

United Nations. (2015). *Paris agreement*.

U.S. Government Accountability Office. (2026). *Climate intervention: Strengthening federal oversight of solar geoengineering*.

Vitruvius. (1999). *Ten books on architecture* (I. D. Rowland, Trans.). Cambridge University Press. (Obra original publicada ca. siglo I a. C.)