

Reflexiones sobre el patrimonio geológico como activo cultural y natural en los sitios geotérmicos

Driselda Sánchez-Aguirre¹,
Héctor González-García¹ y Carles Canet^{1,2,*}

¹ Escuela Nacional de Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán, 04510, Ciudad de México, México.

² Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán, 04510, Ciudad de México, México.

*Autor para correspondencia (C. Canet): ccanet@igeofisica.unam.mx

EDITORES:

Luigi A. Solari
Luca Ferrari

CÓMO CITAR:

Sánchez-Aguirre, D., González-García, H., & Canet, C. (2025). Reflexiones sobre el patrimonio geológico como activo cultural y natural en los sitios geotérmicos. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 42(2), 113-123. DOI: <https://dx.doi.org/10.22201/igc.20072902e.2025.2.1861>

Manuscrito recibido: enero 30, 2025
Manuscrito corregido recibido: mayo 8, 2025
Manuscrito aceptado: mayo 9, 2025
Publicado en línea: julio 28, 2025 (en prensa)

COPYRIGHT

© 2025 Los autores.

Este es un artículo de acceso-libre publicado y distribuido por la Universidad Nacional Autónoma de México bajo los términos [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) que permite uso irrestricto, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que se otorguen los créditos correspondientes al (los) autor(es) original(es).



RESUMEN

Además de ser fuentes de energía renovable y minerales, los sitios geotérmicos constituyen un recurso turístico tradicionalmente aprovechado para la balneología. Sin embargo, el valor de los sitios geotérmicos y sus manifestaciones —incluyendo una amplia (geo)diversidad de geoformas y depósitos hidrotermales, como: géiseres, manantiales termales, fumarolas, solfataras, y sinters— trasciende los meros intereses económicos, abarcando dimensiones culturales y ecológicas. Son lugares ricos en mitos, leyendas y prácticas ancestrales, que conectan a las comunidades con su pasado y con la Tierra, y fortalecen su identidad. Además, los sitios geotérmicos son espacios ideales para la educación ambiental y científica, donde el público visitante puede acercarse a los procesos geológicos activos a través de una vivencia sensorial y aprender la importancia de la geotermia como fuente renovable de energía. Estos sitios deben ser gestionados de tal manera que la conservación sea compatible con su aprovechamiento sostenible, para lo cual es necesario identificar, antes de emprender cualquier proyecto de explotación, sus valores naturales (ecológicos y geológicos) y culturales (tangibles e intangibles). Su protección exige un marco jurídico holístico que reconozca, valore y armonice su importancia económica, cultural y científica. En este contexto, el geoturismo se presenta como una alternativa económica sostenible, capaz de conciliar la protección de estos espacios de geodiversidad y significación cultural con el desarrollo económico de las comunidades, promoviendo una interacción respetuosa y enriquecedora de las personas con su entorno.

Palabras clave: geositios; geoturismo; energía renovable; patrimonio cultural; conservación ambiental.

ABSTRACT

In addition to being sources of renewable energy and minerals, geothermal sites are a tourist resource traditionally utilized for balneology. However, the value of geothermal sites and their manifestations —including a wide (geo)diversity of landforms and hydrothermal deposits, such as geysers, hot springs, fumaroles, solfataras, and sinters— goes beyond mere economic interests, encompassing cultural and ecological dimensions. These are places rich in myths, legends, and ancestral practices that connect communities to their past and to the Earth, strengthening their identity. Furthermore, geothermal sites are ideal spaces for environmental and scientific education,

where visitors can engage with active geological processes through a sensory experience and learn about the importance of geothermal energy as a renewable resource. These sites must be managed in such a way that conservation is compatible with their sustainable use. For this purpose, it is essential to identify their natural (ecological and geological) and cultural (tangible and intangible) values before undertaking any exploitation projects. Their protection requires a holistic legal framework that recognizes, values, and harmonizes their economic, cultural, and scientific importance. In this context, geotourism emerges as a sustainable economic alternative, capable of reconciling the protection of these spaces of geodiversity and cultural significance with the economic development of local communities. This promotes a respectful and enriching interaction between people and their natural environment.

Keywords: geosites; geotourism; renewable energy; cultural heritage; environmental conservation.

INTRODUCCIÓN

La energía geotérmica es el calor que naturalmente emana de la Tierra. El término geotermia engloba los procesos conocidos como hidrotermales, mediante los cuales el calor interno de la Tierra se transfiere a la superficie a través de la circulación de agua en estado líquido o vapor (Heasler *et al.*, 2009). El transporte focalizado de calor y materia por medio de sistemas convectivos hidrotermales concentra la energía y ciertos elementos químicos en áreas específicas, dando lugar a los sitios geotérmicos. Las anomalías térmicas y geoquímicas de estos sitios hacen de ellos una fuente extraordinaria de recursos naturales (energéticos y minerales) y turísticos (balnearios, turismo de salud). Además, en torno a sus condiciones geoquímicas anómalas y al amplio rango de temperaturas se desarrollan comunidades de organismos extremófilos, que proporcionan pistas sobre la vida temprana en la Tierra y posiblemente en Marte (Hurwitz *et al.*, 2024). Por estas razones, los sitios geotérmicos han captado la atención desde múltiples perspectivas. La ciencia ha sido cautivada por la complejidad de los fenómenos hidrotermales; la industria, por su parte, tiene interés en la explotación de sus recursos, energéticos (renovables) así como minerales (metálicos y no metálicos); y la sociedad, en general, valora estos sitios para el turismo de salud, e inclusive, la espiritualidad. Así, se puede afirmar que los sitios geotérmicos brindan valiosos servicios —culturales y de aprovisionamiento—, que han sido aprovechados desde tiempos inmemoriales y que actualmente contribuyen al desarrollo sostenible.

En cuanto a su dimensión cultural, alrededor de los sitios geotérmicos se han tejido a lo largo del tiempo una plétora de mitos e historias, al exhibir fenómenos geológicos inusuales y poderosos, capaces de inspirar asombro y veneración. Las narrativas culturales tradicionales intentan explicar la historia y los procesos de la Tierra desde diferentes cosmovisiones (Burbery, 2021). Es así que la significación cultural de los sitios geotérmicos precede por mucho su explotación comercial (Tutua-Nathan, 1992). Hay evidencias arqueológicas e históricas, de cómo los petroglifos de Yellowstone, en el noroeste de EUA, respaldan la relevancia cultural que los sitios geotérmicos tienen desde tiempos pretéritos. Este caso en específico, Yellowstone, goza de múltiples designaciones, fue declarado parque nacional en 1872, inscrito como Patrimonio Mundial de la UNESCO en 1978, y designado Sitio de Patrimonio Geológico de la IUGS en 2022. De este sitio se han elaborado múltiples representaciones artísticas; una de ellas es la de Fenn (1872), que destaca la manifestación hidrotermal conocida como «*Giant Geyser*» (Figura 1). La profusa representación en pinturas, dibujos y fotografías de sitios de interés geológico en todo el mundo (Reynard y Giusti, 2018) atestigua la gran admiración que estos inspiran.

Así como en Yellowstone, algunas de las zonas con manifestaciones geotérmicas espectaculares e icónicas están actualmente protegidas,

principalmente por su valor estético, en parques nacionales, como es el caso del Parque Nacional de Rotorua, en Nueva Zelanda, o el Parque Nacional Rincón de la Vieja, en Costa Rica. Además, numerosos sitios geotérmicos se encuentran en propiedades inscritas en distintas listas de patrimonio (Erfurt, 2021), principalmente de la UNESCO, sea como Patrimonio Mundial (WHC-UNESCO, 2024a) o como *geosities* dentro de Geoparques Mundiales (IGGP-UNESCO, 2024); o bien designados como Sitios de Patrimonio Geológico de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS, por sus siglas en inglés) (UNESCO y IUGS, 2023), entre otras.

En México no hay ningún sitio geotérmico que esté protegido específicamente por sus valores naturales y culturales, con la excepción, tal vez, de La Primavera, Jalisco. Esta zona fue decretada en 1980 como Área de Protección de Flora y Fauna (CONANP, 2024), e inscrita como Reserva de la Biosfera de la UNESCO en 2006 (MAB-UNESCO, 2024). No obstante, la conservación se enfoca en los ecosistemas forestales, su biodiversidad y los servicios ecosistémicos, aunque también se protege un río de agua termal, conocido como «Río Caliente», que discurre a través de la zona boscosa. Precisamente por sus manifestaciones geotérmicas superficiales, desde la década de los 70 del siglo XX la zona ha sido objeto de exploración geotérmica por parte de la Comisión Federal de Electricidad, la cual llegó a perforar una docena de pozos exploratorios en 1980. Esta práctica generó un fuerte rechazo social, principalmente en la adyacente ciudad de Guadalajara, debido a la falta de garantías ambientales y a una deficiente comunicación social del proyecto geotermoelectrico (*e.g.* Cázares Martínez, 1992).

Este caso, el de la Primavera, ilustra cómo la reacción ciudadana ante la mala gestión social y ambiental de un proyecto geoenergético puede desencadenar la protección legal de un área natural que alberga recursos geotérmicos, excluyendo la posibilidad del aprovechamiento sostenible de estos. Tal escenario nos lleva a reflexionar sobre la necesidad de identificar, antes de emprender cualquier proyecto de carácter extractivo, los valores naturales (ecológicos y geológicos) y culturales (tangibles e intangibles) de los sitios geotérmicos. La conservación de los valores mencionados —a menudo eclipsados por su enorme interés económico como fuentes de recursos energéticos (energía geotérmica) y turísticos tradicionales (balneología)— no se contempla en la legislación (*cf.* Hiriart Le Bert *et al.*, 2011). Por lo tanto, no existe incentivo legal para armonizar la explotación con la conservación.

En este trabajo nos enfocamos en la conexión entre los sitios geotérmicos y los valores culturales inherentes a ellos, con una aproximación axiológica desde un concepto amplio de patrimonio geológico. Mostramos, particularmente, cómo estos entornos naturales representan un legado cultural muy valioso para las comunidades, pero poco valorado desde la patrimonialización hasta el turismo. Al mismo tiempo, subrayamos la importancia de preservar estos espacios,

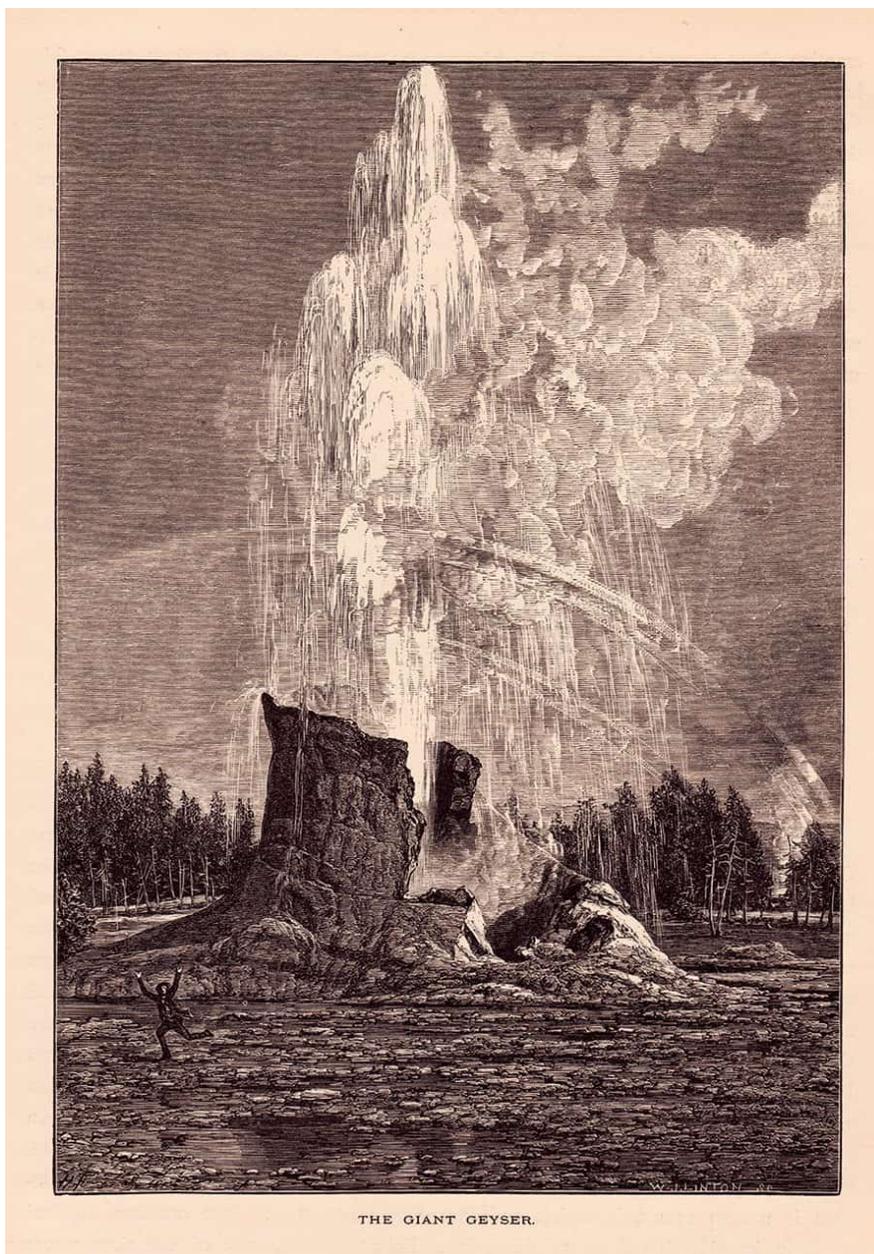


Figura 1. Grabado en madera del géiser conocido como «The Giant Geysers», de Yellowstone, noroeste de EUA. Ilustración elaborada en 1872 por el grabador y pintor Harry Fenn (1837-1911). Con exquisitas ilustraciones y detalladas descripciones de sus espléndidas y variadas manifestaciones de la intensa actividad hidrotermal, el capítulo titulado *Our great national park. The valley of the Yellowstone* (Bryant, 1872) exalta la extraordinaria belleza natural del territorio que en 1872 recibiera por parte del Congreso de EUA la declaración como parque nacional —el primero en el mundo.

los cuales capturan la historia geológica de nuestro planeta y atesoran significados culturales que las comunidades les otorgan por medio de tradiciones y prácticas ancestrales.

PATRIMONIO GEOLÓGICO: MARCO CONCEPTUAL E INTERSECCIONES CON LA GEOTERMIA

Contexto y principios básicos

Con el propósito de facilitar su identificación, estudio y conservación, la Convención de 1972 de la UNESCO estableció una distinción fundamental entre patrimonio cultural y patrimonio

natural (WHC-UNESCO, 1972). En el artículo 1 de dicha convención, el patrimonio cultural se define como el conjunto de bienes creados por el ser humano que poseen un valor universal excepcional en términos históricos, artísticos o científicos, e incluye monumentos arquitectónicos y escultóricos, conjuntos de edificaciones que forman paisajes singulares, y sitios que combinan intervención humana con elementos naturales. En su Convención de 2003, la UNESCO expandió el concepto de patrimonio cultural incorporando el patrimonio cultural inmaterial, al que definió como las prácticas, conocimientos y expresiones que las comunidades reconocen como parte de su identidad cultural, junto con los objetos y espacios asociados. Transmitido de generación en generación, este patrimonio se adapta

con el tiempo, reforzando la identidad y el respeto por la diversidad cultural (UNESCO, 2003).

Por otro lado, el artículo 2 define el patrimonio natural como aquellos elementos naturales —incluyendo formaciones físicas, biológicas y geológicas, así como hábitats de especies en peligro— que poseen un valor universal destacado en términos científicos, estéticos o de conservación. Se incluyen en esta categoría áreas de extraordinaria belleza (paisajística) o importancia científica y ecológica. En particular, el criterio ‘viii’, establecido en el documento “Directrices operativas para la aplicación de la Convención del Patrimonio Mundial” (WHC-UNESCO, 2024b), destaca elementos naturales de valor excepcional que representan etapas significativas en la historia de la Tierra, tales como procesos geológicos activos significativos en la formación de geoformas, registros notables de la vida, procesos geomórficos y características fisiográficas. Por lo tanto, este criterio de selección se enfoca específicamente en el patrimonio geológico. Sin embargo, a nivel internacional, los sitios inscritos bajo este criterio (viii) muestran un desequilibrio territorial y temático, concentrándose en países del llamado ‘Norte Global’ y con un marcado énfasis en la geomorfología, descuidando otros aspectos de la geología (Canet *et al.*, 2024), entre ellos la geotermia.

Existen múltiples definiciones de patrimonio geológico, también conocido como geopatrimonio. En un esfuerzo por identificar conceptos en común de las diversas aproximaciones, Németh *et al.* (2017), a partir de una revisión sistemática, lo definieron como un conjunto de elementos geológicos y geomorfológicos de valor excepcional con fundamento en los siguientes principios: (i) tiene su base científica en las geociencias, gracias a las cuales es posible su identificación y estudio riguroso; (ii) se enfoca en una conservación holística, integrando la protección tanto de la geodiversidad como de la biodiversidad; (iii) los ‘geomorfositos’ y ‘geositos’ (*s.l.*) se reconocen como recursos esenciales para el desarrollo de geoparques, los cuales funcionan como territorios donde los procesos naturales se combinan y enriquecen con valores culturales y educativos; y (iv) es indispensable la participación comunitaria para asegurar la sostenibilidad y el sentido de pertenencia local que impulsa el deseo de conservación de estos recursos geológicos.

Aproximadamente una cuarta parte de los sitios de patrimonio mundial de la UNESCO designados bajo el criterio ‘viii’ por su valor vulcanológico o hidrogeológico tienen asociadas manifestaciones

geotérmicas, lo que refleja la relevancia de estas como patrimonio geológico. Con todo, esta realidad invita a explorar y considerar nuevos sitios con estas características (Tabla 1).

La construcción del patrimonio

El patrimonio puede entenderse como un conjunto dinámico de elementos que se enriquece a través de experiencias y recuerdos, ofreciendo a las personas un sentido de pertenencia y conexión con su historia e identidad (Németh *et al.*, 2017). De este modo, la patrimonialización es el proceso social y académico mediante el cual algo que valoramos colectivamente y protegemos por su importancia cultural, histórica o natural se convierte en patrimonio (Montenegro, 2010). Para que algo sea considerado patrimonio, tiene que haber personas, grupos o instituciones que le reconozcan ese valor y decidan preservarlo. Sin ser la excepción, los procesos que llevan a la patrimonialización de los elementos geológicos son también el resultado de percepciones sociales, tanto de observadores como de usuarios (Reynard y Giusti, 2018).

Actualmente, existen varios programas para patrimonializar la geología desde un ámbito internacional. Uno de los más recientes es el que lleva a cabo la IUGS, organización científica que, en 2021, instituyó la Comisión Internacional de Patrimonio Geológico; a través de esta, en 2022 se designaron los 100 primeros “Sitios de Patrimonio Geológico de la IUGS” (IUGS, 2022). Un objetivo primordial de este listado es resaltar la historia del planeta con diferentes fenómenos geológicos y conectar a las comunidades con su entorno (IUGS, 2022). Entre los 100 primeros Sitios de Patrimonio Geológico de la IUGS, hay dos lugares geotérmicos emblemáticos: (a) El Parque Nacional de Yellowstone (EUA), pionero en las figuras de conservación a nivel mundial, y (b) El Tatio, Chile, considerado uno de los sitios con mayor diversidad de manifestaciones termales y a mayor altitud del mundo (IUGS, 2022).

La IUGS, además, en su calidad de socio estratégico de la UNESCO en el Programa Internacional de Geociencias y Geoparques (IGGP, por su siglas en inglés), elaboró un manual técnico que establece un sistema estandarizado para evaluar el valor geológico internacional de territorios candidatos a Geoparque Mundial (UNESCO y IUGS, 2023). Este marco metodológico integra un enfoque mixto que combina análisis cualitativos basados en descripciones científicas detalladas con matrices cuantitativas estandarizadas, donde varios criterios

Tabla 1. Lista de propiedades de la lista de Patrimonio Mundial de la UNESCO inscritas bajo el criterio de selección ‘viii’ (el único que hace referencia explícita al valor geológico) que incluyen sitios geotérmicos.

#	Sitio	Tema(s)	País	Año de registro
1	Volcanes y bosques del Monte Pelée	vulcanología	Martinica (Francia)	2023
2	Parque Nacional Vatnajökull	vulcanología	Islandia	2019
3	Monte Etna	vulcanología	Italia	2013
4	Parque Nacional del Teide	vulcanología	España	2007
5	Área de gestión de Pitones	vulcanología; hidrogeología	Santa Lucía	2004
6	Islas Eolias	vulcanología	Italia	2000
7	Islas Heard y McDonald	vulcanología	Australia	1997
8	Parque Nacional Morne Trois Pitons	vulcanología; hidrogeología	Dominica	1997
9	Parques nacionales del lago Turkana	vulcanología; hidrogeología	Kenia	1997
10	Volcanes de Kamchatka	vulcanología; hidrogeología	Rusia	1996
11	Parque Nacional Tongariro	vulcanología	Nueva Zelanda	1990
12	Parque Nacional Hawaii Volcanoes	vulcanología	EUA	1987
13	Parque Nacional Sangay	vulcanología; hidrogeología	Ecuador	1983
14	Parque Nacional Virunga	vulcanología	R.D. del Congo	1979
15	Parque Nacional Yellowstone	vulcanología; hidrogeología	EUA	1978

numéricos requieren justificación descriptiva contextualizada, revisión bibliográfica exhaustiva y comparación con análogos internacionales. Entre sus principales ventajas destacan la transparencia procesal (con criterios y flujos de trabajo de acceso público), el respaldo institucional conjunto de la UNESCO como autoridad en patrimonio global y de la IUGS como decana organización geocientífica mundial, así como su aplicabilidad universal para evaluar diversos contextos geológicos (UNESCO & IUGS, 2023). Los sitios geotérmicos se incluyen en las categorías temáticas de vulcanología (Tema 5) e hidrogeología (Tema 9), dependiendo de su génesis (Tabla 1).

CONEXIONES ENTRE GEOLOGÍA Y CULTURA

Los asentamientos humanos, a lo largo de la historia, se han visto condicionados por diversos factores que trascienden lo meramente utilitario, siendo algunos de estos factores los elementos naturales como los ecológicos y físicos, y elementos culturales como los religioso-espirituales, incluyendo creencias y supersticiones (Diez-Herrero y Martín Duque, 2005). La interacción entre lo físico y lo cultural se manifiesta comúnmente en la toponimia, pues numerosos sitios llevan nombres que reflejan características geológicas o fisiográficas (Diez-Herrero y Martín Duque, 2005). Tal es el caso del topónimo Atotonilco (varias localidades principalmente en Hidalgo y en Jalisco), que significa «lugar de agua caliente» (Suárez Arriaga *et al.*, 1999).

Profundizando en sus significados y valores, Reynard y Giusti (2018) proponen que el patrimonio geológico puede abordarse desde tres enfoques: (i) como un legado de una sociedad, nación o incluso de la humanidad, tal que la identificación de ciertas formaciones geológicas como patrimonio es en sí misma un proceso de valoración cultural; (ii) como un proceso de interacción social, basado en cómo gestionamos el planeta a partir de percepciones moldeadas por valores, tradiciones y simbología; y (iii) como influencia material, considerando que muchos sitios arqueológicos o monumentos históricos dependen de materiales geológicos, como el tezontle y las canteras (*cf.* Lozada Amador *et al.*, 2025).

Por otra parte, la relevancia de aspectos culturales inmateriales —como la tradición oral y la espiritualidad— ha sido reivindicada por el conservacionismo contemporáneo (Verschuuren *et al.*, 2021). Según este enfoque, la inclusión de saberes tradicionales, significados culturales y espirituales se considera esencial para diseñar modelos de gestión de áreas naturales protegidas más inclusivos, equitativos y efectivos.

En el ámbito geológico, la mitología permite tener un acercamiento a grupos sociales, muchas veces marginados, cuyos saberes, aunque basados en la observación secular de la naturaleza, fueron desestimados por la ciencia (Burberry, 2021). En este marco es posible identificar dos tipos de (geo)mitos: (a) las leyendas etiológicas, creadas *a posteriori* para explicar procesos no presenciados, y (b) las fábulas euhemerísticas, que buscan explicar mitos mediante eventos reales presenciados por testigos, como erupciones volcánicas o descubrimientos de fósiles (Vitaliano, 2007). Aunque estos relatos a menudo contienen distorsiones, muchos preservan información valiosa.

En este contexto, se abre un debate filosófico en el seno de la conservación ambiental acerca de si los valores asociados a la naturaleza son intrínsecos, o bien son asignados por los humanos, o si emergen de la relación dinámica entre las comunidades y su entorno (Harmon y Putney, 2003). Esta discusión refuerza la necesidad de abordar la valoración del patrimonio geológico desde una perspectiva multidimensional, integrando aspectos científicos,

ambientales, estéticos, educativos y turísticos, sin olvidar el legado cultural inmaterial de las comunidades que los habitan.

Dimensión cultural de los sitios geotérmicos

En la lógica de los *servicios geosistémicos* de Gray (2011), los sitios geotérmicos proveen servicios culturales y de aprovisionamiento a la sociedad, principalmente por las virtudes terapéuticas y medicinales que se les atribuyen a las aguas termales desde hace milenios. Estos mismos atributos siguen siendo valorados hoy en día, impulsando el turismo de salud y bienestar, uno de los sectores turísticos de mayor crecimiento a nivel mundial (Erfurt-Cooper, 2010).

Históricamente, las manifestaciones geotérmicas influyeron en el desarrollo material y espiritual de los pueblos mesoamericanos (Suárez Arriaga *et al.*, 1999). Una mirada que nos acerca a la dimensión cultural ancestral que subyace en los sitios geotérmicos la brindan mitos y leyendas (*e.g.* Burberry, 2021). Desde la antigüedad y hasta el día de hoy, en muchos contextos culturales, las manifestaciones geotérmicas, en particular los manantiales termales, han sido vistas como sitios sagrados, morada de entidades protectoras —expresión de lo divino en el ámbito terrenal (Erfurt-Cooper, 2010).

Los registros históricos más antiguos que sugieren el aprovechamiento de los sitios geotérmicos datan de aproximadamente 3000 a.C. y corresponden a las civilizaciones del Valle del Indo (Erfurt-Cooper, 2010). Mucho tiempo después, durante la Antigüedad clásica europea (*ca.* siglos VIII a.C. a V d.C.), el aprovechamiento de los sitios geotérmicos fue una práctica generalizada y fomentada por los romanos, que dejaron un vasto legado cultural en forma de complejos de baños y termas que servían como centros sociales y de salud. Destacan entre dichos complejos las termas de Hierápolis, de inicios del s. II a.C., en el suroeste de Anatolia (actual Turquía), incluidas desde 1988 en la Lista de Patrimonio Mundial de la UNESCO (WHL-UNESCO, 2024). Es importante destacar que si bien el criterio 'vii' (valor estético) está explícitamente declarado, el criterio 'viii' (valor geológico) no se encuentra entre los criterios de selección de esta propiedad (Hierápolis - Pamukkale-WHC, 2024), razón por la cual se omite en la Tabla 1.

En América, es probable que los primeros encuentros del ser humano con manifestaciones geotérmicas ocurrieran en Alaska. Conforme estas poblaciones migraron hacia el sur, llegando a la cordillera de las Cascadas, se toparon con una gran cantidad de volcanes activos ricos en manifestaciones geotérmicas (Suárez Arriaga, 2000). En Mesoamérica, se sabe que tanto toltecas (siglos X a XII d.C.) como mexicas (siglos XIV a XVI d.C.) ocuparon numerosos sitios geotérmicos para aprovechar sus cualidades purificadoras por medio de actividades de carácter social y ritual (Caso, 1953).

En el ámbito cultural polinésico, la leyenda de Pele, diosa hawaiana que encarna el poder del fuego y su transformación, tiene implicaciones aún vigentes, en particular, con el aprovechamiento energético de la geotermia. Aunque su historia está más estrechamente vinculada a la actividad volcánica, en la narrativa local se cree que perforar pozos geotérmicos podría despertar a Pele y causar devastación (Lund, 1995). Según la tradición, la tierra pertenece a Pele y, como muestra de respeto hacia la deidad, algunos isleños siguen llevando ofrendas de flores, comida y bebida al borde del cráter Halema'uma'u del Kilauea, volcán que está quiescente desde 2018.

En Asia, en la ciudad de Beppu, Japón, se encuentran pequeños parques y jardines alrededor de manantiales termales, conocidos como *jigoku* (地獄), palabra que en español se traduce como infierno. Aunque las visitas no tienen carácter religioso, a menudo se asemejan a peregrinaciones. Cada *jigoku* alberga numerosos santuarios y templos, donde los visitantes pueden encontrar espacios de recogimiento y oración (Erfurt, 2021). La denominación de infierno en este contexto puede estar relacionada con la creencia budista en la existencia de

diferentes reinos o planos de existencia. Estos incluyen al infierno, que se considera un lugar de sufrimiento, pero también de purificación; en este sentido, los manantiales termales pueden ser vistos como una expresión terrenal de estos conceptos.

En el sur de África, se tienen registros históricos que muestran cómo la comunidad khoisan atribuía propiedades curativas a las aguas termales (Solomon, 2019). De acuerdo con diversas narrativas, elefantes y babuinos desempeñaban un papel importante al actuar como guías hacia estas fuentes termales naturales (Erfurt, 2021), evocación al vínculo continuo entre bio- y geodiversidad.

Valores y significados de los sitios geotérmicos: ejemplos de México

La literatura académica disponible acerca de los aspectos culturales asociados a la geotermia en México es muy escasa. De acuerdo con Suárez Arriaga (2000), en las culturas del México prehispánico los volcanes eran venerados como entidades sagradas y objetos de culto, evidenciando una profunda reverencia hacia las manifestaciones del fuego y el calor de la tierra. En este contexto, la geotermia fue interpretada principalmente desde una perspectiva religiosa, con una concepción dual del bien y el mal. Un ejemplo de ello se ubica en Zinapécuaro, Michoacán, donde el topónimo “Cueva del Diablo” hace referencia a una manifestación termal (F.Hodgson, 1999). Aunque con expresiones simbólicas no siempre explícitas, estas creencias y prácticas espirituales han persistido hasta la actualidad. Por ejemplo, en algunas manifestaciones del sistema geotérmico de Aocolulco, Puebla, se encuentran imágenes religiosas, espejos y cruces elaboradas con materiales naturales de la zona frente a los respiraderos sulfurosos y fuentes de aguas ácidas (Figura 2). La presencia recurrente de objetos mágico-religiosos en esta zona, comprobada durante 10 años de observación intermitente, nos indica una apropiación cultural de ese espacio. La disposición específica de estos elementos —particularmente, espejos orientados hacia los manantiales— refleja una posible apropiación simbólica de los fenómenos geológicos por medio de prácticas rituales (cf. Villasanz, 2011). Aunque no hay estudios en la zona que cuenten con testimonios locales, la coincidencia espacial entre objetos y manifestaciones geotérmicas apunta a un sistema de significados culturales, que es consistente con los patrones de sacralización de la geotermia (cf. Suárez Arriaga, 2000).

Los usos funcionales contemporáneos de los sitios geotérmicos en México han sido documentados en diversas regiones. Un ejemplo significativo es la cocción de alimentos al vapor, práctica que debió surgir con el desarrollo y la difusión de la alfarería, probablemente entre el 800 y el 100 a. C. (Hodgson, 2005). Este método, que consiste en colocar las ollas sobre agua hirviendo, vapor o tierra caliente, sigue vigente en algunas áreas como la zona geotérmica de Ixtlán de los Hervores, Michoacán. En el municipio de Cadereyta, Querétaro, los habitantes de El Chilar relataron a los autores (a través de entrevistas semiestructuradas) el uso del agua termal del sistema geotérmico de Pathé para cocer elotes durante reuniones familiares al aire libre, una tradición que refleja la conexión entre la comunidad y su entorno natural. Cabe resaltar que Pathé fue el primer sitio en todo el continente en producir electricidad, para lo cual operó entre 1959 y 1972 una pequeña planta geotermoelectrónica, con una capacidad instalada de 3.5 MW; años después de su cierre, a partir de 1985, la zona se convirtió en un enorme balneario de aguas termales, que no cuenta con ningún elemento de interpretación que sensibilice e informe al visitante sobre el valor histórico, cultural y geológico del sitio (Canet et al., 2021). Actualmente, con el área encerrada por las instalaciones turísticas y la mayoría de los manantiales termales exhaustos por el bombeo de los pozos del balneario, las antiguas prácticas relatadas por los habitantes de El Chilar se han convertido en un lejano recuerdo.

Las prácticas culinarias ‘geotérmicas’ brindan una experiencia lúdica y sensorial que conecta a las personas directamente con los procesos geológicos, por lo que se ofrecen como atractivos turísticos en diversas partes del mundo, especialmente en destinos volcánicos como Islandia y Canarias.

GEOTURISMO: REVALORIZANDO LOS SITIOS GEOTÉRMICOS

Generalmente, los sitios naturales con elementos del patrimonio geológico no son reconocidos por su geodiversidad o valor geológico en sí, sino que su apreciación y conservación suelen estar vinculadas a su valor estético (paisajístico) o a la biodiversidad que sostienen (Alcalá, 2021; Canet et al., 2024). A pesar de esta situación prevalente, en el caso particular de los sitios geotérmicos, el turismo basado en la apreciación de los fenómenos geológicos ha sido una actividad popular a nivel mundial durante siglos (Erfurt-Cooper, 2011).

La actividad turística en sitios geotérmicos ofrece importantes beneficios para las comunidades locales, al aumentar el flujo de visitantes y generar ingresos que pueden destinarse tanto a la conservación como al desarrollo de infraestructura turística y de interpretación (Németh et al., 2021). Hoy en día, muchos de estos espacios han evolucionado hacia *spas* y *resorts* que promueven el bienestar y la salud (Erfurt-Cooper, 2011). Sin embargo, en el contexto del México contemporáneo, muchos sitios geotérmicos han adoptado una vocación puramente balneológica enfocada al turismo de masas, priorizando el esparcimiento intensivo y a gran escala sobre los usos tradicionales y de salud. Destinos como Tecozautla y el Cardonal en Hidalgo, Los Azufres en Michoacán, y otras localidades como Chignahuapan en Puebla y Cuautla en Morelos, se han convertido en centros turísticos muy populares, conocidos por sus aguas termales ideales para el ocio. Para optimizar su uso recreativo masivo, los sitios y su paisaje son transformados de forma irreparable con equipamientos e infraestructura turística que suelen arrasar las estructuras naturales propias de las manifestaciones geotérmicas. La masificación impacta, además, con ruido y aglomeraciones, alejándose de valores como la tranquilidad que busca el turismo de salud y bienestar.

Un uso intensivo e irrespetuoso de la geodiversidad con fines meramente lúdicos lleva a un desaprovechamiento del potencial que los sitios geotérmicos poseen para lograr un proceso educativo en los visitantes y para forjar un vínculo con el patrimonio geológico, que promueva su valoración. En ocasiones, cuando no existe un aprovechamiento organizado, las manifestaciones termales están contaminadas y descuidadas, como es el caso de San Bartolomé de Los Baños, en Guanajuato (Canet et al., 2019).

El geoturismo, al ser una forma de turismo de nicho, es una alternativa sostenible para desarrollar actividades turísticas en sitios geotérmicos ya que se caracteriza por dirigirse a un grupo reducido de viajeros en comparación con el turismo masivo (Hose, 2004), pero representa un mercado constante y estable (Bunghuez, 2021), con amplio potencial de brindar beneficios a la comunidad y mejorar la experiencia de las personas que viajan. Fomenta la creación de vínculos más profundos de los turistas hacia los sitios visitados, trascendiendo la mera comercialización para ofrecer experiencias significativas de ocio, disfrute y, sobre todo, aprendizaje. De acuerdo con la declaración de Arouca (Global Geoparks Network, 2011), el geoturismo promueve y fortalece la identidad de un territorio, integrando su geología, cultura, patrimonio y el bienestar de sus habitantes, entre otros elementos y derivado de ese concepto surge el turismo geológico que es una modalidad practicada por personas —amateurs o profesionales— con conocimientos en geología. De



Figura 2. Apropiación cultural de manifestaciones geotérmicas en Acoaculco, Puebla (fotografías tomadas por los autores, noviembre de 2024): (A) Respiradero sulfuroso. (B) Imagen religiosa clavada en un árbol frente a un respiradero sulfuroso y espejo redondo clavado en el mismo árbol por encima de la imagen. (C) Cruces elaboradas con madera.

acuerdo con Dowling y Newsome (2018), el turismo geológico se define como una modalidad de turismo de áreas naturales en la que son protagonistas los elementos y paisajes geológicos.

El geoturismo, como alternativa que potencia el binomio educación-turismo, permite vincular los objetivos educativos promovidos en los geoparques mundiales de la UNESCO con el aprovechamiento sostenible del patrimonio geológico. Los geoparques buscan fomentar un mayor aprecio y conservación del patrimonio

geológico, tanto a nivel local como global, a través de un concepto holístico de protección, educación y desarrollo sostenible (IGGP-UNESCO, 2024). El geoturismo incide significativamente en estos objetivos, al integrar experiencias educativas y turísticas que fortalecen la conciencia ambiental y el desarrollo sostenible. En el caso de los geoparques, los sitios geotérmicos, cuando existen, están catalogados como geositios y se ofrecen y gestionan para el geoturismo. Estos 'geositios geotérmicos' se aprovechan no solo para los usos recreativos

tradicionales, sino también como bienes culturales y educativos. Ejemplos sobresalientes de ello los encontramos en numerosos geoparques mundiales de temática volcánica, como Reykjanes (Islandia), la Zona Volcánica de Unzen (Japón), y las Azores (Portugal).

PROTECCIÓN DE SITIOS GEOTÉRMICOS: ENFOQUES Y ALTERNATIVAS

Conservación activa y comunitaria

La conservación activa, concepto acuñado por Noguera Giménez (2002) para el patrimonio arquitectónico, tiene como fundamento un enfoque dinámico y participativo que reconoce el cambio y la transformación como elementos inherentes al patrimonio. En lugar de congelar los monumentos o espacios en un estado fijo, busca preservar sus valores a través de un proceso continuo de adaptación y enriquecimiento, manteniendo una relación estrecha con la comunidad. Este enfoque valora tanto la historia y el contexto de los bienes culturales como su proyección hacia el futuro, entendiendo que la conservación no debe limitarse a la contemplación estática, sino fomentar el uso y la apropiación de estos bienes por parte de la sociedad. Este enfoque coincide en gran medida con el del programa de geoparques mundiales de la UNESCO (IGGP-UNESCO, 2024); de hecho, en la designación de estos y la gestión de sus geositios, la participación de la comunidad local es un requisito (Mc Keever y Narbonne, 2021).

Bajo la óptica de la conservación activa, la preservación de (geo)sitios geotérmicos trasciende la mera protección de los elementos naturales. Su conservación debería integrar iniciativas de educación y sensibilización que mantengan vivo este legado natural, asegurando su accesibilidad y relevancia para generaciones futuras. Las comunidades locales, en colaboración con personas expertas, podrían ser protagonistas en la protección y gestión de su entorno, a través de prácticas que fomenten la interacción respetuosa con la naturaleza (cf. Berkes, 2021). La conservación de estos sitios es vital no solo por su valor científico, sino también porque fortalecen la identidad y el sentido de pertenencia en las comunidades locales, además de inspirar en los visitantes una actitud comprometida con su protección.

Algunos autores mencionan que la conservación del patrimonio geológico, en comparación con la de la biodiversidad, se fundamenta en mayor medida en las iniciativas “de abajo hacia arriba” (referidas en inglés como *bottom-up*) y en los conocimientos de actores locales (Brilha y Reynard, 2018; Németh et al., 2021), una perspectiva ampliamente difundida en designaciones de la UNESCO como geoparques mundiales o reservas de la biosfera (Chmielewski & Krogulec, 2008; UNESCO, 2024). En el campo de la geoconservación hay notables ejemplos de éxito del esquema *bottom-up*, que demuestran la importancia de las comunidades locales y sus líderes para conservar y promover el patrimonio geológico a largo plazo, como el Geoparque Mundial de la UNESCO «Tierra de los Volcanes Extintos», Polonia (Pijet-Migoń & Migoń, 2018), o la Reserva de la Biosfera Monte Hakusan, en Japón (Mammadova et al., 2024). Según este enfoque, la inclusión de saberes tradicionales, significados culturales y valores espirituales se considera esencial para diseñar modelos de gestión de áreas naturales protegidas más inclusivos, equitativos y eficaces. En contraste, las gestiones enfocadas solamente en un esquema *top-down* han demostrado ser ineficientes en algunas reservas de la biosfera (Chmielewski & Krogulec, 2008).

De forma complementaria, otros estudios refieren la importancia de un trabajo en conjunto con las instituciones gubernamentales encargadas de la gestión ambiental, el patrimonio cultural y la protección de áreas naturales (Ferdowsi, 2024). Hay casos en los que

la gestión *top-down* es necesaria para dar una respuesta rápida en la protección de áreas naturales repentinamente amenazadas o dañadas (Gaymer et al., 2014). La efectividad y viabilidad de los enfoques de gestión *top-down* y *bottom-up* —o la combinación de ambos— puede depender del contexto institucional (Gaymer et al., 2014). Los marcos normativos previos pueden tanto facilitar como obstaculizar la implementación de nuevas estrategias de manejo de recursos naturales (Cárcamo et al., 2013), geo y biodiversos.

Marco legal

La legislación debe adaptarse a los contextos locales, teniendo en cuenta las particularidades culturales y naturales de cada región, y alinearse con acuerdos internacionales como la Convención de 1972 de la UNESCO, que subraya las crecientes amenazas que enfrenta el patrimonio cultural y natural, agravadas por los cambios sociales y económicos (Németh et al., 2021). En este sentido, la gestión eficaz del patrimonio geológico necesita una legislación específica, instituciones comprometidas y recursos suficientes para la implementación de medidas efectivas de conservación. Las leyes deben no solo definir los derechos de uso, sino también establecer regulaciones o hasta prohibiciones para evitar daños irreversibles. En muchos países —y México no escapa a esta realidad— la protección del patrimonio geológico es en la práctica muy poco efectiva debido a la falta de recursos económicos aunada a la escasa colaboración entre gobiernos, instituciones académicas y comunidades locales.

México cuenta con un marco jurídico para la protección de su patrimonio natural y cultural, en el que destacan la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la Ley Federal de Protección del Patrimonio Cultural de los Pueblos y Comunidades Indígenas y Afromexicanas, y la Ley Federal de Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas. Estas normativas buscan preservar los recursos naturales y el patrimonio cultural del país; sin embargo, no abordan de manera explícita el patrimonio geológico y son ajenas a sus particularidades.

Por su parte, la Ley de Energía Geotérmica, promulgada en 1992, establece un marco para la explotación responsable de los recursos geotérmicos, promoviendo su uso en la generación de electricidad, así como en aplicaciones industriales y domésticas. No obstante, omite completamente las narrativas culturales e históricas vinculadas a estos lugares, dejando un vacío en el reconocimiento integral de su importancia, social y cultural. Aunado a ello, ni siquiera considera la geodiversidad de estos sitios como algo a proteger.

La explotación de los recursos geotérmicos con fines energéticos renovables, aunque conveniente, puede entrar en conflicto con la conservación de estos sitios. Si no son planificados y gestionados adecuadamente, los proyectos geoenergéticos pueden tener impactos negativos en el medioambiente (Rodríguez Arias, 2016) y en las comunidades locales, afectando sus tradiciones y formas de vida. El conocimiento de los aspectos intangibles, históricos y espirituales, cuyos significados se entrelazan con la geodiversidad, permitiría valorar mejor y gestionar de manera equitativa y sostenible cada sitio geotérmico, previniendo así la pérdida de un patrimonio geológico y cultural único y reduciendo el riesgo de conflictos sociales. El caso de Olkaria, en Kenia, ha sido reconocido a nivel internacional como un caso exitoso del aprovechamiento de la energía geotérmica (Omenda et al., 2025), pero también ilustra cómo la falta de consulta a las comunidades locales puede dar lugar a tensiones y desplazamientos forzados, como ocurrió con la comunidad masái (Soler Crespo, 2024). Además, cuando los sitios geotérmicos ya no pueden ser utilizados con fines comerciales (por agotamiento, por ejemplo), pueden combinarse acciones de carácter educativo y geoturístico que destaquen los valores culturales y funcionales relevantes para las comunidades.

Un marco jurídico específico, que coadyuve con programas como el IGGP u otras iniciativas orientadas a la protección del patrimonio geológico, puede ser clave para la conservación de los sitios geotérmicos. Los sitios geotérmicos permiten a los visitantes aprender sobre la importancia de los recursos geotérmicos y su origen geológico, las energías renovables, y las interacciones históricas de las comunidades con estos lugares. La integración de actividades educativas y geoturísticas en dichos sitios puede transformarlos en centros de aprendizaje y sensibilización, promoviendo su conservación. De esta manera, la protección legal del patrimonio geológico de los sitios geotérmicos tiene el potencial no solo de ser una herramienta de conservación, sino también de dinamizar programas de aprendizaje experiencial y salvaguardar un legado cultural que se ha mantenido vivo a lo largo de generaciones.

Dos estrategias, mutuamente complementarias, se erigen en el camino de lograr un modelo holístico y flexible de conservación de los sitios geotérmicos que a la vez contemple su valor multidimensional y armonice los distintos usos actuales y futuros (Figura 3): (a) desarrollo del geoturismo, de la mano de la comunidad, como una herramienta poderosa para el aprovechamiento sostenible del patrimonio geológico, y (b) creación de un marco legal sólido y claro, el cual, fundamentado en criterios científicos, identifique los elementos naturales y culturales de mayor valor a conservar, y establezca un modelo de gestión adecuado para los usos sostenibles.

REFLEXIONES FINALES

El patrimonio geológico representa una perspectiva innovadora que resalta el valor del entorno natural abiótico (geodiversidad) de los territorios. En el caso de los sitios geotérmicos, esta mirada está moldeada por valores y significados culturales arraigados en su papel como testigos de procesos geológicos ‘vivos’ que nos conectan de forma vivencial con la historia y los procesos de la Tierra. Estos sitios ofrecen una oportunidad valiosa y única para reconocer, valorar y aprender sobre las dinámicas del planeta, desde enfoques no solo científicos sino también culturales, facilitando la comprensión de su evolución y promoviendo una relación respetuosa con el medio ambiente.

Los valores culturales y naturales de las manifestaciones geotérmicas quedan con frecuencia eclipsados por los intereses económicos, principalmente energéticos (geotermia) y turísticos tradicionales (balnearios).

En general, el patrimonio geológico de estas zonas está poco representado en las listas internacionales, a pesar de su potencial al sustentarse en una extraordinaria geodiversidad que sostiene ecosistemas únicos y emana valores culturales intangibles. Un reconocimiento del patrimonio geológico de las zonas geotérmicas permitirá, por una parte, buscar una mejor armonía entre la explotación y la conservación, y por otra, puede detonar usos geoturísticos que promuevan la salvaguarda de valores culturales y la protección de la geodiversidad.

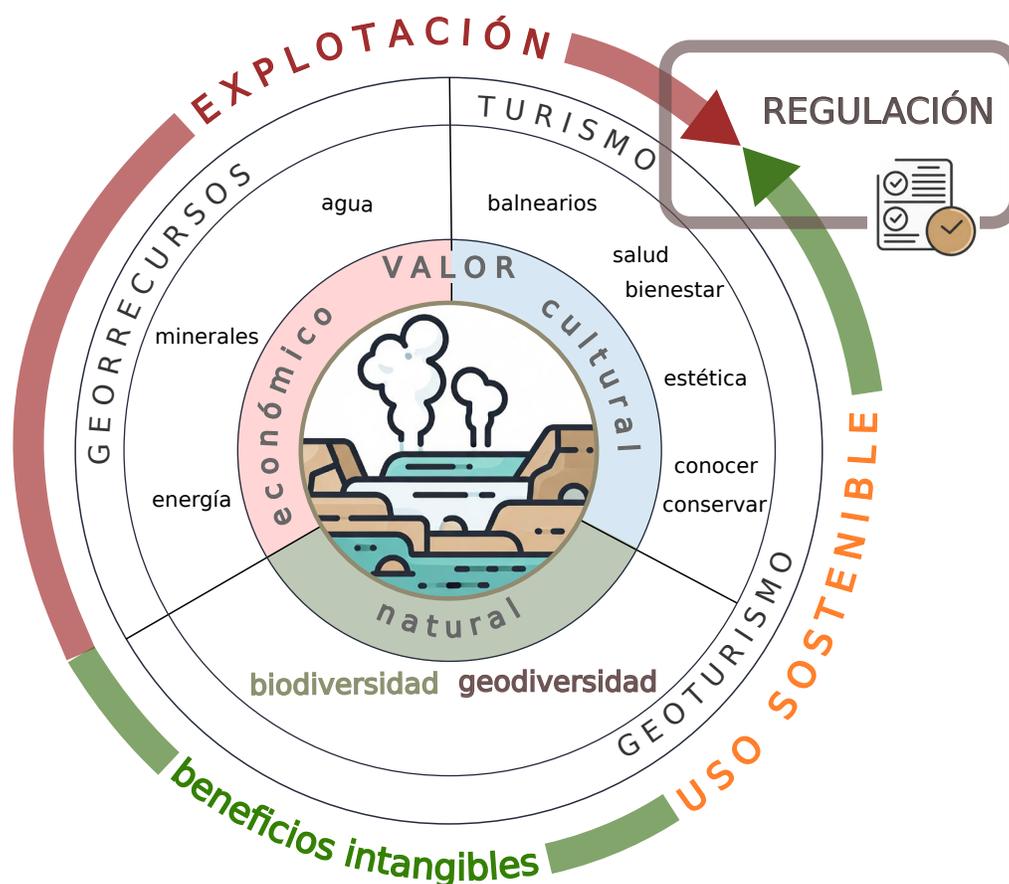


Figura 3. El diagrama muestra la interconexión de los sitios geotérmicos con distintas dimensiones de valor económico, cultural y natural. Además de ser fuentes de energía y minerales, estos espacios poseen un alto valor geoturístico, educativo y patrimonial. Su gestión sostenible requiere un equilibrio entre beneficios intangibles y aprovechamiento, que solo es posible a través de un marco jurídico integral.

Este diagnóstico general señala la necesidad de contar en México con una legislación *ad hoc* que, contemplando conceptos emergentes como geodiversidad y patrimonio geológico, dé un marco de protección general para las manifestaciones geotérmicas, ante la situación actual de transformación irreparable ocasionada por desarrollos poco planeados, tanto turísticos (balnearios) como energéticos (geotermoelectricas). Ante la ausencia de un marco normativo específico y holístico, que contemple no únicamente el valor científico o económico de estos sitios geológicos, sino también sus significados culturales, los esfuerzos de conservación pueden resultar fragmentados y carecer de impacto efectivo.

Agradecimientos. Los autores agradecemos a Melchor Resendiz y Domingo Martínez por el apoyo en la realización de entrevistas en el Chilar, Cadereyta. También agradecemos a las personas revisoras de este manuscrito, cuyas valiosas observaciones contribuyeron significativamente a mejorar la versión final. Extendemos también nuestro agradecimiento a Luigi Solari por su constante motivación durante la redacción de este trabajo, a Luca Ferrari por su labor editorial y a J. Jesús Silva-Corona por su trabajo de edición técnica.

Contribución de los autores. D. Sánchez-Aguirre: Curación de datos, análisis formal, metodología, investigación, redacción – preparación del borrador original. H. González-García: Redacción – preparación del borrador original. C. Canet: Conceptualización, supervisión, visualización, redacción – revisión y edición.

Política de disponibilidad de datos. Los autores confirman que todos los datos que respaldan los hallazgos de este estudio están disponibles en este artículo y pueden consultarse directamente en el sitio web <https://whc.unesco.org/en/syndication>.

Declaración de conflicto de intereses. Los autores declaran que no tienen conocimiento de conflictos de intereses financieros o relaciones personales que pudieran haber influenciado el trabajo que se reporta en este artículo

Financiamiento. Este trabajo no recibió financiamiento externo. Los costos asociados a su realización fueron asumidos por los autores.

REFERENCIAS

- Alcalá, L. (2021). Experiencias sobre geoturismo basadas en I+D (investigación+desarrollo) en Geoparques, turismo sostenible y desarrollo local. En D. Rommens & A. Torres Morales (Coord.), *Memoria de la Reunión Internacional «Geoparques, Turismo Sostenible y Desarrollo Local»* (pp. 37–51). UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380262.locale=es>
- Berkes, F. (2021). *Community-based conservation*. IUCN. <https://iucn.org/news/commission-environmental-economic-and-social-policy/202105/community-based-conservation>
- Brilha, J., & Reynard, E. (2018). Geoheritage. En E. Reynard & J. Brilha (Eds.), *Geoheritage: Assessment, Protection, and Management* (pp. 433–438). Elsevier.
- Bryant, W. C. (1872). *Picturesque America; or, The Land We Live In. A Delineation by Pen and Pencil of the Mountains, Rivers, Lakes, Forests, Water-falls, Shores, Cañons, Valleys, Cities, and Other Picturesque Features of Our Country* (Vol. 1). D. Appleton & Co.
- Bunghez, C. L. (2021). The emerging trend of niche tourism: Impact analysis. *Journal of Marketing Research and Case Studies*, 9, 1–9. <https://doi.org/10.5171/2021.134710>
- Burbery, T. (2021). *Geomorphology: How Common Stories Reflect Earth Events*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003149323>
- Canet, C., Franco, S. I., Morelos-Rodríguez, L., Rajabi, A., & Núñez-Useche, F. (2021). Apunte geológico y revisión histórica de la zona geotérmica de Pathé, Hidalgo. *Geofísica Internacional*, 60, 258–279. <https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.2021.60.3.2130>
- Canet, C., Rodríguez-Díaz, A. A., Bernal, I. D., Pi, T., Sánchez-Córdova, M. M., Núñez-Useche, F., Villanueva-Estrada, R., Molina, G., Reich, M., Peláez, B., Jiménez Salgado, E., González-Partida, E., Sandoval Medina, F., & Carrillo-Sánchez, C. B. (2019). Consideraciones sobre el sistema geotérmico de San Bartolomé de los Baños, Guanajuato (México), desde un análisis de la alteración hidrotermal y las inclusiones fluidas. *Geofísica Internacional*, 58(3), 229–246. <http://revistagi.geofisica.unam.mx/index.php/RGI/article/view/27>
- Canet, C., Sánchez-Aguirre, D., García-Sánchez, L., & Castañeda-Bastida, E. (2024). Geological heritage in UNESCO's World Heritage List: A critical review. *International Journal of Geoheritage and Parks*. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2024.09.001>
- Cárcamo, P., Garay-Flühmann, R., & Gaymer, C. (2013). Opportunities and constraints of the institutional framework for the implementation of ecosystem-based management: The case of the Chilean coast. *Ocean & Coastal Management*, 84, 193–203. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.08.003>
- Caso, A. (1953). *El pueblo del sol*. Fondo de Cultura Económica.
- Cázares Martínez, A. (2018). El bosque de La Primavera y la producción de energía eléctrica. *Carta Económica Regional*, 20, 12–15. <https://doi.org/10.32870/cer.v0i20.7331>
- Chmielewski, T. J., & Krogulec, J. (2008). Creation of a Bottom-Up Nature Conservation Policy in Poland. En J. Keulartz & G. Leistra (Eds.), *Legitimacy In European Nature Conservation Policy: Case Studies In Multilevel Governance* (pp. 137–147). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6510-1_10
- CONANP. (2024). *La Primavera*. Recuperado el 27 de noviembre de 2024, de <https://descubreanp.conanp.gob.mx/es/conanp/ANP?suri=88>
- Díez-Herrero, A., & Martín Duque, J. (2005). *Las raíces del Paisaje. Condicionantes geológicos del territorio de Segovia*. Junta de Castilla y León.
- Dowling, R., & Newsome, D. (2018). Geotourism: Definition, characteristics and international perspectives. En *Handbook of Geotourism*. Edward Elgar Publishing. <https://www.semanticscholar.org/paper/Geotourism%3A-Definition%2C-characteristics-and-Dowling-Newsome/e4ba5e0bd2aa20a35e43566a9b41f7bf1efed547>
- Erfurt-Cooper, P. (2010). The importance of natural geothermal resources in tourism. *Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010*. https://www.researchgate.net/publication/286313945_The_Importance_of_Natural_Geothermal_Resources_in_Tourism
- Erfurt-Cooper, P. (2011). Geotourism in volcanic and geothermal environments: Playing with fire? *Geoheritage*, 3(3), 187–193. <https://doi.org/10.1007/s12371-010-0025-6>
- Erfurt, P. (2021). *The Geoheritage of Hot Springs*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-60463-9>
- F. Hodgson, S. (1999). Heat over time, geothermal stories from Mexico. En R. Cataldi, S. F. Hodgson, & J. W. Lund (Eds.), *Stories from a Heated Earth: Our Geothermal Heritage* (1st edition). Geothermal Resources Council.
- Fenn, H. (1872). *Giant Geyser* [Graphic]. <http://www.wyomingtalesandtrails.com/yellowstonefenn.html>
- Ferdowsi, S. (2024). Key actors of geoheritage conservation in tourism destinations. *Geoheritage*, 17(1), 8. <https://doi.org/10.1007/s12371-024-01047-4>
- Gaymer, C. F., Stadel, A. V., Ban, N. C., Cárcamo, P. F., Ierna Jr, J., & Lieberknecht, L. M. (2014). Merging top-down and bottom-up approaches in marine protected areas planning: Experiences from around the globe. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 24(S2), 128–144. <https://doi.org/10.1002/aqc.2508>
- Global Geopark Network. (2011). *Declaración de Arouca*. Arouca Geopark. <https://aroucageopark.pt/wp-content/uploads/2024/11/Declaracion-de-Arouca.pdf>
- Gray, M. (2011). Other nature: Geodiversity and geosystem services. *Environmental Conservation*, 38(3), 271–274.
- Harmon, D., & Putney, A. D. (2003). *The Full Value of Parks: From Economics to the Intangible*. Rowman and Littlefield.
- Heasler, H. P., Jaworowski, C., & Foley, D. (2009). Geothermal systems and monitoring hydrothermal features. En R. Young & L. Norby (Eds.), *Geological Monitoring* (pp. 105–140). Geological Society of America.

- <https://www.nps.gov/articles/geothermal-systems-and-monitoring-hydrothermal-features.html>
- Hierápolis - Pamukkale-World Heritage Convention (Hierápolis - Pamukkale-WHC). (2024). *Hierápolis - Pamukkale, Turquía*. Recuperado de <https://whc.unesco.org/es/list/485>
- Hiriart Le Bert, G. (2011). *Evaluación de la energía geotérmica en México*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://www.cre.gov.mx/documento/2026.pdf>
- Hodgson, S. (2005). Mexican geothermal history and legends published in English, A compendium. *Memorias Del Congreso Anual de La Asociación Geotérmica Mexicana*.
- Hose, T. A. (2004). Geotourism: Appreciating the deep time of landscapes. En M. Novelli (Ed.), *Niche Tourism*. Routledge.
- Hurwitz, S., Stefánsson, A., Shock, E. L., & Kleine, B. I. (2024). *The geochemistry of continental hydrothermal systems*. USGS. <https://pubs.usgs.gov/publication/70251883>
- IGGP-UNESCO. (2024). *UNESCO Global Geoparks*. UNESCO. <https://www.unesco.org/en/igpp/geoparks/about>
- IUGS. (2022). *The First 100 IUGS Geological Heritage Sites released*. IUGS. <https://www.iugs.org/post/the-first-100-iugs-geological-heritage-sites-released>
- Lozada Amador, E., Canet, C., García, F.O.L., Pastrana, A., Pérez, N.A., Sizzo, I.A., León, L.I.G., Gómez, J.A.M., Castañeda-Bastida, E., Torres, P.U., Peláez, S.D. (2025): Geology, art and mysticism of Tezontle (volcanic scoria) of the Basin of Anáhuac, the newest designated Heritage Stone from Mexico. Episodes -0001;0-:-. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2025/025002>
- Lund, J. (1995). *Historical impacts of geothermal resources on the people of North America*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Historical-impacts-of-geothermal-resources-on-the-Lund/a9e567743871ea2d57b0921978f5707fec686bbf>
- MAB-UNESCO. (2024). *La Primavera—Man and the Biosphere Programme (MAB)*. Recuperado el 27 de noviembre de 2024, de <https://www.unesco.org/en/mab/la-primavera>
- Mammadova, A., Harada, S., Azhar, T., & Phisbien, R. M. (2024). Understanding Community Capacity for Bottom-up Management of Mount Hakusan UNESCO Biosphere Reserve. *European Journal of Sustainable Development*, 13(1), Article 1. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2024.v13n1p1>
- Mc Keever, P. J., & Narbonne, G. M. (2021). *Geological World Heritage: A revised global framework for the application of criterion (viii) of the World Heritage Convention*. IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2021.12.en>
- Montenegro, M. (2010). La patrimonialización como protección contra la mercantilización: Paradojas de las sanciones culturales de lo igual y lo diferente. *Revista Colombiana de Antropología*, 46(1), 115–131. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=105015237005>
- Németh, K., Casadevall, T., Moufti, M., & Martí, J. (2017). Volcanic geoheritage. *Geoheritage*, 9, 251–254. <https://doi.org/10.1007/s12371-017-0257-9>
- Németh, B., Németh, K., Procter, J. N., & Farrelly, T. (2021). Geoheritage conservation: Systematic mapping study for conceptual synthesis. *Geoheritage*, 13(2), 45. <https://doi.org/10.1007/s12371-021-00561-z>
- Noguera Giménez, J. F. (2002). La conservación activa del patrimonio arquitectónico. *Loggia, Arquitectura & Restauración*, 13, 10. <https://doi.org/10.4995/loggia.2002.3569>
- Omenda, P., Ofwona, C., & Mangi, P. (2025). Kenya: The most successful geothermal development in Africa. En R. DiPippo, L. C. A. Gutiérrez-Negrin, & A. Chiasson (Eds.), *Geothermal Power Generation* (2ª ed., pp. 863–891). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-24750-7.00022-1>
- Pijet-Migoñ, E., & Migoñ, P. (2019). Promoting and Interpreting Geoheritage at the Local Level—Bottom-up Approach in the Land of Extinct Volcanoes, Sudetes, SW Poland. *Geoheritage*, 11(4), 1227–1236. <https://doi.org/10.1007/s12371-019-00357-2>
- Reynard, E., & Giusti, C. (2018). The Landscape and the Cultural Value of Geoheritage. En *Geoheritage* (pp. 147–166). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00008-3>
- Rodríguez Arias, E. (2016). Geothermal energy in the framework of international environmental law. En R. DiPippo (Ed.), *Geothermal Power Generation* (pp. 763–786). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100337-4.00026-7>
- Soler Crespo, D. (2024, enero 10). “Apagaron nuestra cultura”: La geotermia, el orgullo renovable de Kenia que divide y amenaza a los masái. *El País*. <https://elpais.com/planeta-futuro/2024-01-08/apagaron-nuestra-cultura-la-geotermia-orgullo-renovable-de-kenia-desplaza-a-una-comunidad-masai.html>
- Solomon, A. (2019). Rain Stories: Interpreting Water Beings in the Folklore of the Southern African Khoisan and their Descendants 2019. *Folkloristika*. https://www.academia.edu/40341094/Rain_Stories_Interpreting_Water_Beings_in_the_Folklore_of_the_Southern_African_Khoisan_and_their_Descendants_2019
- Suárez Arriaga, M. C. (2000). *Interpretación religiosa de la geotermia en el México antiguo* [PDF]. *GEOS*, 20(3), 3-10. Unión Geofísica Mexicana. <https://www.ugm.org.mx/publicaciones/geos/pdf/geos00-3/GEOTER00-3.pdf>
- Suárez Arriaga, M. C., Cataldi, R., & Hodgson, S. F. (1999). Cosmogony and Uses of Geothermal Resources in Mesoamerica. En R. Cataldi, S. F. Hodgson, & J. W. Lund (Eds.), *Stories from a Heated Earth: Our Geothermal Heritage* (1st edition). Geothermal Resources Council.
- Tutua-Nathan, T. (1992). Maori tribal rights to ownership and control: The geothermal resource in New Zealand. *Applied Geography*, 12(2), 192–198. [https://doi.org/10.1016/0143-6228\(92\)90007-A](https://doi.org/10.1016/0143-6228(92)90007-A)
- UNESCO. (2003). *Convención para la Salvaguardia del Patrimonio Cultural Inmaterial*. <https://ich.unesco.org/es/convencion>
- UNESCO, y IUGS. (2023). *Guidelines for the assessment of the international significance of geological heritage in UNESCO Global Geopark applications—UNESCO Digital Library*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386952>
- Verschuuren, B., Mallarach, J.-M., Bernbaum, E., Spoon, J., Brown, S., Borde, R., Brown, J., Calamia, M., Mitchell, N., Infield, M., & Lee, E. (2021). *Cultural and spiritual significance of nature*. IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2021.PAG.32.en>
- Villasanz, B. (2011). Símbolos católicos en la construcción de la fe cristiana (Ensayo). *Fukuoka University Research Promotion Department*, 161–243.
- Vitaliano, D. B. (2007). Geomythology: Geological origins of myths and legends. *Geological Society, London, Special Publications*, 273(1), 1–7. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2007.273.01.01>
- WHC-UNESCO. (1972). *Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000133369_spa
- WHC-UNESCO. (2024a). *The Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention*. <https://whc.unesco.org/en/guidelines/>
- WHL-UNESCO. (2024b). *World Heritage List*. <https://whc.unesco.org/en/list/>