



Universidad Nacional Autónoma de México  
Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra

---

**Valorización del Patrimonio Geológico: Aplicación y Análisis de una  
Metodología en el Geoparque Mundial de la UNESCO Comarca Minera,  
Hidalgo, México**

**TESIS**

Que para optar por el grado de

**Maestro en Ciencias de la Tierra**

**PRESENTA**

**Miguel Ángel Cruz Pérez**

---

**Director de tesis: Dr. Carles Canet Miquel**  
**Posgrado en Ciencias de la Tierra**

Ciudad Universitaria, Cd.Mx. Septiembre 2020



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



---

## AGRADECIMIENTOS

---

Un especial agradecimiento a mi director de tesis, Dr. Carles Canet Miquel, por su amistad y profesionalismo porque desde el inicio apoyó esta tesis, pero también por todas las discusiones, en campo y oficina, que ayudaron a afinar y conducir mi trabajo. También, a mi colega y amiga Erika Salgado Martínez, por su apoyo, amistad y profesionalismo en el geoparque Comarca Minera.

A los miembros del jurado, Dra. Silke Cram Heydrich, Dra. Lucero Morelos Rodríguez, Dr. Luis Carcavilla Urquí, Dr. Gerardo de Jesús Aguirre Díaz, cuyos comentarios y sugerencias ayudaron a mejorar sustancialmente el manuscrito.

Al Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra de la UNAM y a su coordinadora, Dra. Christina Siebe Grabach, por apoyar este nuevo tema así como por su ayuda para presentar avances de esta investigación en congresos académicos. De igual forma, a Araceli Chamán por su atenta y profesional orientación en temas relativos al posgrado.

Al Consejo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Hidalgo (CITNOVA) y a su director, Mtro. José Alonso Huerta Cruz, por su apoyo al geoparque.

Al Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Hidalgo mediante el proyecto 267903 «Investigaciones del patrimonio geológico para fortalecer un proyecto de geoparque de la UNESCO en la Comarca Minera de Hidalgo».

Al coordinador de la investigación científica, Dr. William Henry Lee Alardín, al secretario de desarrollo institucional, Dr. Alberto Ken Oyama Nakawaga y a la directora del Centro de Ciencias de la Atmósfera, Dra. Telma Gloria Castro Romero, por su ayuda al geoparque.

A Alejandro Pastrana y Silvia Domínguez, del Instituto Nacional de Antropología e Historia, por permitir la colaboración en el yacimiento de Las Navajas y por brindar siempre una apertura para el trabajo y la discusión sobre este increíble yacimiento.

A las comunidades de Huasca de Ocampo (Aguacatitla, Santa María Regla y San Sebastián), y Epazoyucan (Nopalillo), por facilitar los accesos e información para llevar a cabo este trabajo. Asimismo, a los colegas, guías y prestadores de servicios Sergio Gómez García, María Elena Santos Rosas, Ricardo Herrera Alvarado, Javier Olmos, Otilio Benítez, Andrés Ramírez (Ejido Xoloxtitla), Jorge Escorcía (Mineral de la Reforma - Epazoyucan), Alfonso Melo, Juan Alvarado, Miguel Yañez, Noe Yañez, Eleodoro Yañez (San Sebastián) y Sergio Mejía Estrada (Aguacatitla) con quienes siempre tuve oportunidad de conversar y discutir aspectos clave e inquietudes que me ayudaron a madurar ideas sobre mi trabajo.

A Johan E. Carlson sobre cuyo código abierto pude realizar miles de modificaciones e iteraciones en  $\LaTeX$  para concluir el documento final.

A Denisse Gorfinkiel, del programa de Geociencias y Geoparques de la UNESCO para América Latina y El Caribe, por su apoyo y visión global de los geoparques, así como a Dorian Rommens, especialista de programas de la oficina de la UNESCO en México.

A Guadalupe Fredén, Per Fredén e hijos Victoria y Mikke Fredén, así como a Anna Bergengren del geoparque Platåbergens, Suecia, por su amistad y por facilitar la logística para visitar sitios que me ayudaron a ilustrar algunos conceptos en la parte introductoria de esta tesis. A Mark Johnson por proveer la ubicación de sitios de interés geológico en esa área del geoparque, también gracias.

A mis amigos César Fernando Aguilar Ramírez, Luis Abel Jiménez Galindo, Joseph Madondo, Denisse de la Fuente y Erik Salazar Flores, por discutir conmigo conceptos y problemáticas del proyecto ya sea en campo o en reuniones. Asimismo, aprecio y agradezco muchas charlas y discusiones con amigos y colegas que en campo, en foros y latitudes diversas compartieron conmigo experiencias y visiones expertas sobre el desarrollo y retos de los geoparques: Mónica Bueno de Frutos, Lucero Morelos Rodríguez, Luis Alcalá, Jane Fullerton, César Goso, Eugenio Bidondo, Cristian Ciobanu, Sarah Gamble, John Calder, Tom Casadevall, Patricia Herrera, Manuel Schilling, Carl Escher, Catalina González, Yves Girault, Rodrigo Fontana y muchos colegas más de la Red GeoLAC. También gracias a mi maestra Marianne Åkerberg.

A mis colegas de LABChico (Dr. Alexis Aguilar Arévalo, Dr. Eric Vázquez Jáuregui, Dr. Juan Carlos D'Olivo, Dra. Estela Garcés, Dr. Adiv González, Dr. Francisco Favela, Dr. Jaime Guerra, Dr. Daniel José Marín, Ing. Mauricio Martínez, Ing. Iván Gustavo Vallejo) por su iniciativa y profesionalismo y en cuyas intensas reuniones y planeación he aprendido muchísimo.

Por último, un profundo agradecimiento a mi familia por su apoyo incondicional y por haberme acompañado en muchas sesiones de campo a los diversos geositos. A mi madre, Martha Pérez Valadez, siempre con su mirada geográfica y de docencia. A mi padre, Miguel Ángel Cruz López por sus sabiduría, risas y buenos consejos. A mi hermano Arturo Cruz Pérez por la música y las pláticas que hicieron mucho más ameno el trabajo y los tiempos difíciles. A mi hermana Denisse Cruz Pérez por recorrer conmigo parajes geológicos nuevos que me sirvieron para discutir muchas ideas y conceptos. A mis sobrinos, Santiago Émile Cruz Delgado por corregirme siempre en campo y a Luis Javier Rioja Delgado por su buena actitud. A su madre Jessica Delgado por su confianza. A mi tía Lucila Pérez Valadez por sus risas y su cariño. A mi abuelo Félix Aduato Cruz Reytez por su sabiduría.

Miguel Cruz  
Ciudad de México  
Agosto de 2020

---

# CONTENIDO

---

AGRADECIMIENTOS	III
ACRÓNIMOS Y SIGLAS	XV
GLOSARIO	XVII
RESUMEN	XIX
ABSTRACT	XXI
OBJETIVOS	1
CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN	3
1.1. Antecedentes: Geodiversidad y patrimonio geológico, conceptos emergentes en México	3
1.2. Valores del patrimonio geológico	7
1.3. Los Geoparques Mundiales de la UNESCO y las redes regionales de geoparques	11
1.4. El Geoparque Mundial de la UNESCO Comarca Minera	14
CAPÍTULO 2 – METODOLOGÍAS DE VALORIZACIÓN DE PATRIMONIO GEOLÓGICO: INTEGRACIÓN DE EJEMPLOS DE EUROPA Y AMÉRICA LATINA	21
2.1. Europa	21
2.2. América Latina	23
2.3. Integración de metodologías y su aplicación	24
2.4. Tipos de valor en los geositios seleccionados	33
CAPÍTULO 3 – DESEMPEÑO DE LA METODOLOGÍA: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	59
3.1. Prismas Basálticos: valoración	60
3.2. Peña del Aire: valoración	65
3.3. Cerro de Las Navajas: valoración	69
CAPÍTULO 4 – CONSIDERACIONES ADICIONALES A LA METODOLOGÍA	77
4.1. Previo a la valoración del patrimonio geológico	77
4.2. Sobre el punto de observación	78
4.3. Designaciones internacionales	78
4.4. Servicios geosistémicos	81
4.5. Resiliencia	86
CONCLUSIONES	89
REFERENCIAS	91
ANEXO	105



# Figuras

1.1. Global Boundary Stratotype and Point (GSSP), designación internacional de la IUGS que establece puntos de referencia globales para la construcción de la Escala del Tiempo Geológico. Secuencias arcillosas con graptolitos ( <i>Tetragraptus approximatus</i> ) que marcan el inicio del Floiense (477.71.4) (Maletz <i>et al.</i> , 1996). Gyllene Spiken, Geoparque aspirante Platåbergens, Hunneberg, Suecia. Fotografía: Miguel Cruz. . . . .	8
1.2. Depósitos glaciares (varvas) del paleo-Báltico (10 Ka <sup>14</sup> C, Johnson <i>et al.</i> , 2010). Localidad tipo en el geoparque aspirante Platåbergens, Suecia. Fotografía: Denisse Cruz. . . . .	9
1.3. Visita de campo al geositio Cerro de Las Navajas, Geoparque Comarca Minera, Hidalgo. Los visitantes escuchan una explicación de campo. Fotografía: Miguel Cruz. . . . .	9
1.4. El patrimonio geológico y su valor didáctico. Un grupo de estudiantes del nivel básico escuchan una explicación de campo sobre las rocas de su comunidad. Rocas volcánicas riolíticas del geositio Peña del Diablo, Omitlán de Juárez, Geoparque Comarca Minera. Fotografía: Erika Salgado. . . . .	10
1.5. Paisaje geológico del Parque Nacional El Chico, Mineral del Chico. Fotografía: Miguel Cruz. . . . .	12
1.6. Cascada de Gulfoss, Islandia, desarrollada sobre rocas volcánicas y siguiendo un sistema de fracturas regional NE-SW. Fotografía: Miguel Cruz. . . . .	13
1.7. Estructura del Programa Internacional de Geociencias y Geoparques de la UNESCO. . . . .	14
1.8. Mapa geoturístico del geoparque Mundial de la UNESCO Comarca Minera, Hidalgo. Tomado de Canet et al. (2017). . . . .	18
1.9. Áreas Naturales Protegidas en el geoparque Comarca Minera, con base en información vectorial de CONANP (2019) y en el Periódico Oficial del Estado de Hidalgo (2002, 2004a,b, 2005a, b). El área del Estado de Hidalgo y del geoparque se muestran con un modelo digital de elevación. 1: Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, con un área de intersección aproximada de 175 km <sup>2</sup> , 2: Parque Nacional El Chico, 3: Bosque Estatal Bosque El Hiloche, 4: Parque Ecológico Cubitos, 5: La Paila. . . . .	19
2.1. Localidad de Prismas Basálticos en el centro turístico del mismo nombre. Gestionado por el ejido de Regla, Huasca de Ocampo. Fotografía: Miguel Cruz. . . . .	35

2.2.	Disyunción columnar en las inmediaciones de la barranca de Aguacatitla, al norte del centro turístico Prismas Basálticos. Se aprecia la estructura superior (entablatura), de aspecto masivo, y la inferior (colonada) que ya describe Tomkeieff (1940) en el primer trabajo formal para la Calzada del Gigante (Giant's Causeway) en Irlanda. Fotografía: Miguel Cruz. . . . .	36
2.3.	Estructuras de abanico en la unidad basáltica de Prismas Basálticos, en las inmediaciones de la localidad de Apipilhuasco, al NW de Atotonilco El Grande, sugieren interacción con un medio acuoso de acuerdo al modelo de De Graff <i>et al.</i> (1989) y en concordancia con el modelo de Arellano-Gil <i>et al.</i> (2005) para el paleolago de Amajac. Fotografía: Miguel Cruz. . . . .	36
2.4.	Alexander von Humboldt (1769–1859). Archivo Histórico del Palacio de Minería. Fotografía: Héctor Pineda. . . . .	38
2.5.	La cascada y los basaltos de Regla (Der wasserfall in der Basaltschlucht von Regla). Johan Moritz Rugendas, 1832. Pablo Diener Ojeda, Rugendas:Imágenes de México. Exposición Museo Nacional de Historia, Castillo de Chapultepec, México, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, INAH, Museo Nacional de Historia, 1994, p. 81. . . . .	39
2.6.	Modelo digital de elevación de la zona de Regla. Se aprecian los polígonos ejidales de Aguacatitla (A1, A2, A3), El Vite (EV1), Regla (R1, R2, R3, R4), San Sebastián (SS1, SS2, SS3) y Palmillas (P1, P2). En rojo se remarca el área de la barranca de Regla, lugar de los Prismas Basálticos. En línea verde punteada se indica el área de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán. . . . .	41
2.7.	Infraestructura logística y condiciones de observación en Prismas Basálticos. Fotografía: Miguel Cruz. . . . .	42
2.8.	Infraestructura logística y servicios turísticos ofrecidos en Prismas Basálticos. Fotografía: Miguel Cruz. . . . .	42
2.9.	Planicie basáltica en las inmediaciones de Peña del Aire, relieve que contrasta con las elevaciones de la Sierra de Pachuca, al sur, y con la incisión de la barranca, al norte. La unidad basáltica como generadora de relieve (planicie) tiene un factor clave en la diversidad geológica del área, así como de base para el desarrollo de vegetación de la reserva de la biosfera Barranca de Metztitlán. En la foto se observa una población local de huizache ( <i>Acacia sp.</i> ). Fotografía: Miguel Cruz. . . . .	43
2.10.	Pared sur de la barranca de Metztitlán, en Peña del Aire. Las paredes de la barranca permiten la observación de las secuencias volcánicas plio-pleistocénicas. También, es posible apreciar procesos activos de erosión como los que generan Peña del Aire, ejemplificado en esta foto como un estadio temprano de desgarramiento de la pared vertical que ya permite distinguir una futura peña en formación. En las paredes verticales del cañón, además, habita el zopilote ( <i>Cathartes aura</i> ), especie característica de la reserva. Fotografía: Miguel Cruz. . . . .	45

2.11. Peña del Aire, en el lindero sur de la barranca de Metztlán, sobreyace a una secuencia piroclástica y a secuencias del Cretácico, mejor apreciadas en la barranca de Aguacatitla, al sur. En último plano, abajo, el sistema fluvial del río Venados (o Tulancingo). Fotografía: Miguel Cruz. . . . .	46
2.12. Modelo digital de elevación de las inmediaciones de Peña del Aire. Se muestran los polígonos ejidales de Aguacatitla (A1, A2, A3), El Vite (EV), El Suchil (ES1, ES2, ES3), Palmillas (P1, P2), San Sebastián (SS1, SS2, SS3, SS4), Regla (R1, R2, R3, R4). El punto PA marca la ubicación de Peña del Aire. . . . .	48
2.13. La práctica minera en Las Navajas registrada en las laderas del volcán queda registrada, por ejemplo, en túneles profundos del periodo mexicana. Fotografía: cortesía de Alejandro Pastrana. . . . .	49
2.14. Obsidiana verde-dorada de Las Navajas, la variedad más preciada del yacimiento. Fotografía: Miguel Cruz. . . . .	50
2.15. Glifos mexicas en alusión a la obsidiana. (A) <i>Itztepec</i> , <i>itz</i> de <i>itztli</i> = instrumento de obsidiana, <i>te</i> de <i>tepetl</i> = montaña. (B) <i>Ytzeyocan</i> , <i>ytz</i> o <i>its</i> de <i>itztli</i> = instrumento de obsidiana, <i>te</i> de <i>tetl</i> = piedra, <i>yo</i> = camino (posiblemente), <i>can</i> = lugar, el lugar donde la obsidiana es tallada o en donde es formada o el camino hacia el lugar donde la obsidiana es tallada y formada (v. Pastrana y Carballo, 2016). Códice Mendoza (1979). . . . .	52
2.16. Capilla o visita Franciscana de mitad del siglo XVI. Esta construcción refleja el valor estratégico del área de Las Navajas y el uso de la obsidiana durante el Virreinato. Fotografía: Erika Salgado. . . . .	53
2.17. Montículos de restos de talla de obsidiana producidos por talladores mexicas y distribuidos en el área, cubiertos generalmente de vegetación y expuestos por procesos de meteorización y actividad antrópica. Fotografía: Miguel Cruz. . . . .	54
2.18. Mapa topográfico de Las Navajas que muestra la secuencia de explotación del yacimiento que abarca los periodos Preclásico (I), Teotihuacan (II), Tolteca (III), Mexica (IV) y Colonial (V). Modificado de Pastrana y Domínguez-Peláez, 2009; Pastrana <i>et al.</i> , 2018b. . . . .	55
2.19. Modelo digital de elevación de Las Navajas mostrando los polígonos de los ejidos de Alfajayucan (A1, A2, A3), El Susto (ES1, ES2, ES3), Nopalillo (N), y San Pedro Huixotitla (SPH). La elipse punteada muestra burdamente el cono erosionado y colapsado, hacia el norte, del volcán. La línea punteada roja es el límite del Geoparque Comarca Minera. . . . .	57
3.1. Para abril de 2020, en el ejido de Aguacatitla se abrió un nuevo acceso hacia la barranca, facilitando la observación de la unidad basáltica con disyunción columnar en su porción norte y proporcionando un área de observación nueva. Fotografía cortesía del Ejido de Aguacatitla. . . . .	65

3.2. Mapa esquemático de la zona de Regla-Aguacatitla. Con mejores condiciones de accesibilidad hacia un punto de observación dentro del ejido de Aguacatitla, se puede potenciar la apreciación de la disyunción columnar de la unidad basáltica hacia el norte de Prismas Basálticos, esto es, ya dentro del área de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán. Se aprecian los polígonos ejidales de Aguacatitla (A1, A2, A3), El Vite (EV1), Regla (R1, R2, R3, R4), San Sebastián (SS1, SS2, SS3) y Palmillas (P1, P2). . . . . 66

3.3. Cadena de producción de obsidiana verde-dorada en el ejido Nopalillo, cuyo polígono ejidal (en verde punteado) se encuentra en la porción SW del volcán de Las Navajas. El yacimiento de obsidiana, de extensión desconocida, aunque inferida visualmente hacia la porción N del cono, principalmente, es compartido también por los ejidos de Alfajayucan (A), El Susto (ES) y San Pedro Huixotitla (SPH), quienes no practican la minería en las dimensiones de Nopalillo. . . . . 73

3.4. Mapa esquemático de la zona de Las Navajas. El área verde, perteneciente al ejido Nopalillo, es la zona con actividad minera. Los demás polígonos ejidales que están dentro de la zona del volcán tienen potencial para albergar obsidiana en el subsuelo. Aunque la cantidad y variedad del recurso es desconocida, el yacimiento tiene probablemente obsidiana del orden de millones de toneladas. De acuerdo con la Ley Minera Mexicana (2014), la obsidiana no es un bien denunciante. Los signos de interrogación, en verde, indican la presencia de obsidiana en el subsuelo. Un marco inapropiado de gestión pone en riesgo de degradación el yacimiento y trae consigo problemas de geoconservación. Los límites del geoparque se muestran en marrón punteado. A: Alfajayucan, ES: El Susto, N: Nopalillo, SPH: San Pedro Huixotitla. . . . . 75

4.1.	Esquema conceptual sobre un área de patrimonio geológico cuya extensión no bien delimitada es compartida por dos áreas ejidales A y B. El “mejor” punto de observación A1 se ubica dentro del área expuesta del patrimonio geológico, cuenta con mejores condiciones de accesibilidad e infraestructura turística ( <i>i.e.</i> , valoración turística, científica y didáctica más alta). En cambio, el punto de observación A2 , fuera del área (aparente) identificable para el patrimonio geológico, está en desventaja desde el punto de la valoración científica, didáctica y turística que, además, puede reflejarse en condiciones distintas de accesibilidad e infraestructura, aunque en cambio, puede ofrecer un punto de observación paisajístico, con una panorámica amplia del área patrimonial (un mirador) si se crean las condiciones para ello ( <i>e.g.</i> , un camino de acceso nuevo, mejoramiento de la visibilidad con un mirador, señalética de acceso, etc.). Una estrategia de interpretación e integración entre A1 y A2 puede ayudar a redistribuir el valor entre ambos puntos de observación y crear un balance aceptable para beneficio de los ejidos A y B. Esta condición debe ser prevista por el/la evaluador/a del patrimonio y exige de él/ella una postura geotética y en colaboración con la comunidad. . . . .	79
4.2.	Servicios geosistémicos identificados para los tres geositios. (1) Prismas Basálticos. (2) Peña del Aire. (3) Cerro de Las Navajas. Modificado de Gray (2011). . . . .	83
4.3.	Panorámica desde Peña del Aire que permite la observación del sistema fluvial del río Venados (o Tulancingo) el cual contribuye al ciclo hidrológico de la región, los sedimentos del sistema son aportados también por la erosión de las paredes del cañón. Los depósitos del lindero del río permiten estimar la crecida máxima del río en tiempos de lluvia. La vegetación de la reserva crece y se desarrolla en el sistema del cañón. En los linderos del río se cosecha nuez, aguacate, chirimoya, naranja, papaya, durazno, limón y verduras diversas. Fotografía: Miguel Cruz. . . . .	84
4.4.	Servicios geosistémicos en Las Navajas. En la cantera se obtiene aprovisionamiento para construcción. La sección también permite la observación de la estratigrafía de Las Navajas para fines de investigación y didácticos (servicios de conocimiento). La cubierta boscosa en la porción superior se desarrolla gracias a los procesos edáficos del lugar (servicios de soporte). Fotografía: Erika Salgado. . . . .	85
4.5.	Obtención y extracción rudimentaria de obsidiana en Las Navajas, principal actividad económica del ejido. La actividad minera, pese al marco normativo comprensivo en el sitio, contribuye al conocimiento científico del lugar al extraer la obsidiana del subsuelo. Fotografía: cortesía de Alejandro Pastrana. . . . .	87



# Tablas

2.1. Comparativa general entre metodologías cualitativas y cuantitativas en los estudios de la geodiversidad. Fuente: Elaboración propia con base en Brilha <i>et al.</i> (2018). . . . .	22
2.2. Rangos numéricos de <i>Rda</i> y recomendaciones de conservación. . . . .	31
2.3. Resumen informativo de Prismas Basálticos. . . . .	40
2.4. Resumen informativo de Peña del Aire. . . . .	47
2.5. Resumen informativo de Cerro de Las Navajas. . . . .	56
3.1. Valores científico, didáctico, turístico y riesgo de degradación por causas antrópicas de los geositios calculados con base en la metodología del IGME-SGC. . . . .	76
4.1. Valoración de Prismas Basálticos. . . . .	106
4.2. Valoración de Peña del Aire. . . . .	107
4.3. Valoración del Cerro de Las Navajas. . . . .	108



---

## ACRÓNIMOS Y SIGLAS

---

<b>CMPF</b>	Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas
<b>CONABIO</b>	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
<b>CONALMEX</b>	Consejo Nacional de Cooperación con la UNESCO
<b>CONANP</b>	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
<b>CRED</b>	Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. Centro de Investigación sobre la Epidemiología de los Desastres
<b>DPIPWE</b>	Department of Primary Industries, Water and Environment, Tasmania
<b>FVTM</b>	Faja Volcánica Transmexicana
<b>GeoLAC</b>	Red de Geoparques de América Latina y El Caribe
<b>GGN</b>	Global Geoparks Network. Red Mundial de Geoparques
<b>GHSR</b>	Global Heritage Stone Resource
<b>GMC</b>	Geoparque Comarca Minera
<b>GSSP</b>	Global Boundary Stratotype Section Point
<b>HSS</b>	Heritage Stone Subcommission. Subcomisión de Rocas Patrimoniales de la IUGS.
<b>IGCP</b>	International Geoscience Program. Programa Internacional de Ciencias de la Tierra.
<b>IGGP</b>	International Geoscience and Geoparks Program. Programa Internacional de Ciencias de la Tierra y Geoparques de la UNESCO.
<b>IGME</b>	Instituto Geológico y Minero de España
<b>INAH</b>	Instituto Nacional de Antropología e Historia
<b>IPBES</b>	Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas
<b>IUCN</b>	International Union for the Conservation of Nature. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
<b>IUGS</b>	International Union of Geological Sciences. Union Internacional de Ciencias Geológicas
<b>MAB</b>	Man and Biosphere Program. Programa El Hombre y la Biosfera de la UNESCO
<b>ONU</b>	Organización de las Naciones Unidas
<b>SEMARNAT</b>	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
<b>SGC</b>	Servicio Geológico Colombiano
<b>SGM</b>	Servicio Geológico Mexicano
<b>SMO</b>	Sierra Madre Oriental
<b>UGGp</b>	Unesco Global Geoparks. Geoparques Mundiales de la UNESCO
<b>UNESCO</b>	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
<b>UNISDR</b>	United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres



---

## GLOSARIO

---

El siguiente glosario se ofrece como un apartado de consulta sobre términos en torno a la temática de esta tesis. Existe amplio consenso sobre algunos términos en tanto otros son tema de debate y su definición no es definitiva.

**Geoconservación.** Conjunto de medidas y acciones encaminadas a la conservación de los valores de los elementos geológicos (*cf.* Carcavilla *et al.*, 2007; Henriques *et al.*, 2011; Prosser, 2011; Brilha, 2015).

**Geodiversidad.** Diversidad geológica. Variedad de características, elementos y procesos geológicos presentes en un lugar y cómo éstos ilustran la evolución geológica del mismo (*cf.* Gray, 2004; Carcavilla *et al.*, 2007; SGC, 2018a).

**Geoética.** Investigación y reflexión de los valores que fundamentan comportamientos y prácticas, cualesquiera sean las actividades humanas en su interacción con el sistema Tierra. La geoética trata con las implicaciones éticas, sociales y culturales del conocimiento geocientífico, la educación, investigación, la práctica y la comunicación, proveyendo un punto de intersección para las Ciencias de la Tierra, la sociología, la filosofía y la economía. Representa una oportunidad para los geocientíficos de volverse más conscientes de su rol social y sus responsabilidades al conducir sus actividades. Es una herramienta para influir en la sensibilización de la sociedad al respecto de los problemas relacionados con los georrecursos y el medio ambiente (Di Capua y Peppoloni, 2019).

**Geoparque.** Territorio de cooperación internacional por medio del cual zonas del patrimonio geológico de valor internacional, aplicando un enfoque de abajo arriba a la conservación de ese patrimonio, se respaldan unas a otras para promover, junto con las comunidades locales, la conciencia de dicho patrimonio y adoptar un enfoque sostenible del desarrollo de la zona (UNESCO, 2015).

**Geopatrimonio.** El conocimiento, comunicación y protección de los valores de la Tierra para la sociedad. También, es la apreciación y evaluación de las características geológicas en relación a la humanidad (van Wyk de Vries, 2019, IGCP-692; van Wyk de Vries y Vereb, 2019).

**Geositio.** Aquel elemento de la geodiversidad que yace en su lugar original sin haber sido removido por acción humana y que posee un alto valor científico (*cf.* Wimbledon, 2011; Brilha, 2016; SGC, 2018a). Se discute ampliamente en el Capítulo 2 de este trabajo.

**Geoturismo.** Conjunto de acciones encaminadas a promover el uso turístico y recreativo de los recursos geológicos con objeto de promocionar social y económicamente un lugar

o región (v. Carcavilla *et al.*, 2007; Sadry, 2020).

**Patrimonio geológico.** Aquellos rasgos de la geodiversidad, y por ello no renovables, que son representativos de procesos geológicos que moldean la Tierra, que dan cuenta del surgimiento y evolución de la vida y que poseen un alto valor científico (v. Cendrero, 1996; Carcavilla *et al.*, 2007; Crofts y Gordon, 2015; Reynard y Brilha, 2018; SGC, 2018a).

**Resiliencia.** Es la capacidad de los sistemas, individuos y comunidades de propiciar una respuesta eficiente para hacer frente a situaciones adversas (v. GGN, 2020).

**Servicios ambientales.** Condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales, y las especies que los conforman, sostienen y satisfacen la vida humana. Mantienen la biodiversidad y la producción de los bienes como el alimento, la biomasa, combustibles, fibras naturales, productos farmacéuticos, industriales y sus precursores. Son el soporte de las funciones vitales y confieren beneficios estéticos y culturales (v. Daily, 1997).

**Servicios de los geosistemas o servicios de la geodiversidad.** *Geosystem services.* Bienes y servicios asociados con la geodiversidad (v. Gray, 2008, 2011). Término no acuñado de forma definitiva en español.

---

## RESUMEN

---

En los marcos conceptuales actuales —aquellos con participación clave por parte de organismos internacionales (*e.g.*, UNESCO, IUCN)— se hace una clara distinción entre el patrimonio cultural y el patrimonio natural. Con la introducción y crecimiento de la ciencia de la geoconservación e iniciativas de gestión y desarrollo como los Geoparques Mundiales de la UNESCO es posible enfocar los estudios de aquellos elementos de la geología (geodiversidad) cuyo valor excepcional o internacional (patrimonio geológico) hacen necesario una valorización que busque un balance apropiado y apoye la geoconservación. Similarmente a los servicios ambientales reconocidos e incorporados en las políticas medioambientales, los servicios de los geosistemas o servicios de la geodiversidad son capaces de sustentar procesos naturales y antrópicos; en países emergentes o territorios en vías de desarrollo, sin embargo, una agenda de gestión basada en estos servicios generalmente está carente. En términos de valor (*e.g.*, científico, cultural), los elementos de la geodiversidad pueden vincular disciplinas fuera del campo de acción común de las Ciencias de la Tierra. Con este enfoque, se presenta aquí tres estudios de caso: 1) Peña del Aire; 2) Prismas Basálticos; 3) Cerro de Las Navajas. Los tres son geositios del Geoparque Mundial de la UNESCO Comarca Minera de Hidalgo, México.

Prismas Basálticos es un geositio ubicado en Huasca de Ocampo. Esta gestionado por un ejido que cuenta con una estructura organizacional bien definida. El lugar cuenta con un alto valor científico derivado de un vulcanismo efusivo de edad Plioceno-Pleistoceno que desarrolló columnas de aproximadamente 40 m de altura. También, el lugar presenta un alto valor cultural (histórico) por las descripciones y exploraciones que a inicios del siglo XIX realizó Alexander von Humboldt; éstas se encuentran en el marco del debate plutonista-neptunista de las ciencias geológicas. Con nuevos accesos y miradores practicados más al norte, fuera del ejido, se puede potenciar la visibilidad de la unidad con disyunción columnar, lo que tiene efectos en la puesta en valor (turístico, didáctico), pero también económico del lugar.

Peña del Aire es un geositio ubicado en el municipio de Huasca de Ocampo, y también está gestionado por un ejido. El área cuenta con dos designaciones UNESCO, una derivada del programa El Hombre y la Biosfera y la otra por parte del Programa de Geoparques Mundiales. El lugar presenta un valor paisajístico y estético particular, así como un alto valor científico y didáctico por la estratigrafía volcánica plio-pleistocénica que se observa en las paredes del cañón. Constituye, para la región, la unión de las provincias geológicas de la Sierra Madre Oriental (Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas) desarrollado desde el Cretácico Superior y la Faja Volcánica Transmexicana (Paleógeno). La Peña del Aire como rasgo geológico se encuentra fuera del polígono ejidal mas no representa una

desventaja para los valores del patrimonio geológico por las características y condiciones de observación que proporcionan los miradores del área.

Cerro de Las Navajas es un geosítio ubicado en el municipio de Epazoyucan, al sureste del área del geoparque. Constituye la expresión más oriental de vulcanismo peralcalino para el contexto de la Faja Volcánica Transmexicana. El rasgo geológico más particular es la obsidiana verde-dorada, muy apreciada por su valor estético. En conjunto, estas particularidades son únicas para el contexto geológico nacional e internacional. La obsidiana se produjo como parte de un vulcanismo explosivo de tipo pliniano durante el Plioceno-Pleistoceno. Se reconocen dos etapas del vulcanismo asociadas con eventos de pre y poscolapso; ambas produjeron variedades de obsidiana. Los flujos reiolíticos fueron disgregados y sepultados por procesos de remoción y gravedad en la etapa de poscolapso del sector norte del edificio volcánico. Tales características determinaron el modo de explotación prehispánica que se practicó de forma secuencial desde el Preclásico (etapas de explotación Preclásica, Teotihuacana, Tolteca, Triple Alianza y Colonial). En consecuencia, el Cerro de Las Navajas constituye un registro de las etapas de explotación de las culturas centrales de Mesoamérica y la transición a la Colonia. La obsidiana fue uno de los materiales primordiales para la vida doméstica, tecnológica y mágico-religiosa de éstas. Para las Ciencias de la Tierra, esta obsidiana posee un valor científico por sus características y por su marco geológico. Su valor cultural vincula la historia, la arqueología y el patrimonio intangible. Por ello, el manejo patrimonial de la obsidiana del Cerro de Las Navajas es difícil de abordar. Retos actuales incluyen el entendimiento y delimitación del yacimiento y el manejo del área del volcán por cuatro ejidos.

Comparativamente, los tres geosítios muestran características particulares. Peña del Aire y Prismas Basálticos cuentan con un alto valor científico, y un relevante valor histórico para el último. Por otro lado, el Cerro de Las Navajas ejemplifica un vínculo de valores muy estrecho (geoarqueológico) e histórico. Sin embargo, la actividad minera no regulada en el lugar pone en riesgo de degradación al yacimiento. Por las características del mismo, la minería también ayuda a incrementar su conocimiento. Relacionado con la situación de la minería de ópalo en términos de explotación rudimentaria y local, la legislación no es aparentemente la solución para la gestión patrimonial que necesita el área. Este escenario requiere de un acercamiento patrimonial y exhaustivo sobre los diferentes valores de la obsidiana para que demande a las autoridades de una regulación adecuada, respetuosa de los usos y costumbres de la localidad. En conjunto, se proporcionan en este trabajo los elementos para apoyar la candidatura y designación honorífica al yacimiento (*e.g.*, Global Heritage Stone Resource).

Las características ejidales de los tres geosítios son un reto para la gestión y balance del patrimonio geológico al respecto de la infraestructura y de colaboración participativa local y con la aplicación de la geoética. Programas institucionales futuros deberán actuar en sintonía y tomar experiencias y acciones que otros organismos han hecho con ejemplos de UNESCO, IUGS, IUCN, y en países como Colombia, Uruguay, Chile, Perú y España.

**Palabras clave:** institucionalización, geoética, resiliencia, patrimonialización, geoconservación, geopatrimonio.

---

## ABSTRACT

---

*Current conceptual frameworks in international institutions (e.g., UNESCO, IUCN) mark a clear difference between cultural and natural heritage. Upon geoconservation science emergence and development initiatives as UNESCO Global Geoparks it is possible to focus on those geologic features (geodiversity) of outstanding or international value (geological heritage) so that valuing them is in agreement with diverse interests. Just as ecosystem services are incorporated in environmental regulations, geosystem services which are capable of supporting natural processes and anthropic activities, generally lack representation or attention in environmental policies in developing territories. When dealing about value (e.g., scientific, cultural), some geodiversity features can link disciplines outside the common role of geosciences in order to support development. With this in mind, three case studies are here presented, which are geosites of the Comarca Minera UNESCO Global Geopark, Mexico: 1) Prismas Basálticos; 2) Peña del Aire; 3) Cerro de Las Navajas.*

*Prismas Basálticos is located in Huasca de Ocampo municipality. It is managed by a legally Mexican State-recognized communal organization (ejido) which undertakes maintenance, entrance fees, logistics and related infrastructure. The geosite has high scientific value due to effusive Plio-Pleistocene volcanism generating columnar jointing whose columns can reach 40 m height. Also, it accounts for high cultural value (historical) because it is the locality where Alexander von Humboldt, renowned XIX century Prussian explorer and naturalist, described these rocks under the Neptunist theory. In the surroundings, to the north, new viewpoints to the basaltic unit, exhibiting also columnar jointing, offer the opportunity to study and assess scientific value, coupling didactic and touristic value assessments as well.*

*Peña del Aire is located also in Huasca de Ocampo municipality. It is also managed by one ejido and possess two UNESCO designations, one given by the Man and Biosphere Program and the other given by the International Geoscience and Geoparks Program. The geosite has high aesthetic-touristic value since it offers several viewpoints to the regional canyon named Barranca de Metztitlán. Also, it has high scientific and didactic values due to the volcanic stratigraphy and the junction of the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Sierra Madre Oriental provinces, responsible for having a key role in making up continental Mexico since the Upper Cretaceous to the present. The fact that the key geologic feature (the Peña del Aire rock) is outside the management polygonal area of the ejido does not represent a disadvantage to any of the values due to viewpoint locations along the canyon rim.*

*The Cerro de Las Navajas is a geosite located in Epazoyucan municipality, to the southeast of the geopark. It constitutes the easternmost peralkaline volcanic expression of*

*the Trans-Mexican Volcanic Belt. The main geologic feature is the green-golden obsidian, highly valued for its aesthetic value making it unique among other obsidians in the world. The obsidian was produced during Plinian-style eruption of the Las Navajas stratovolcano during the Pliocene-Pleistocene. Pre and post-collapse volcanism responsible for generating volcanic glass and lava flows, later disrupted by volcanic edifice collapse, were covered and extends in a not-well constrained 100-m thick volcanic-related gravity and pyroclastic deposit. These features determined Precolumbian mining (Preclassic, Teotihuacan, Toltec, Aztec). As a consequence, the Cerro de Las Navajas is an unreplaceable area registering obsidian mining for the key central cultural rulers of Mesoamerica. Obsidian was one main natural and highly praised material supporting and providing domestic, technological and magic-religious activities. For geosciences, this obsidian possess high scientific value due to its color and geological framework. Its cultural value is linked to history, archaeology and intangible heritage. Because of this the management of the obsidian of the Cerro de Las Navajas is difficult to assess. Current challenges involve the unconstrained delimitation of the deposit and the management of the volcano area by four ejidos.*

*Comparatively, these three geosites exhibit unique features. Peña del Aire and Prismas Basálticos have high scientific value, with relevant historic value for the latter. On the other hand, the Cerro de Las Navajas exemplifies the case where a high scientific value (gearqueological) adds to a high historic value. Nevertheless, non-regulated mining activity threatens the area while, at the same time, provides the obsidian to increase the extent of the deposit. Related to opal mining in respect to locally and manually exploited, however, a mining State declared policy seems not to be the solution to the proper management of the area. Such scenario requires then an exhaustive heritage handling assessing the multidimensional value of the obsidian so that authorities support a coherent solution and respecting usages and local values of nowadays inhabitants. This is in agreement with the nomination of the Cerro de Las Navajas obsidian as Global Heritage Stone Resource, whose candidacy can be structured following the work here presented.*

*The special features of ejidos, also, represent challenges in terms of balancing geological heritage values, with special regard to infrastructure, local involvement and geoethics. Institutional future programs undertaking such must then act accordingly and put in perspective the experience of other international institutions and actions as done by UNESCO, IUGS, IUCN, and as countries like Colombia, Uruguay, Chile, Peru and Spain.*

**keywords:** *institutionalization, geoethics, resilience, patrimonialization, geconservation, geotourism, geoheritage.*

---

# OBJETIVOS

---

## Objetivo General

Evaluar el patrimonio geológico del geoparque Mundial de la UNESCO Comarca Minera, mediante la aplicación y análisis de la metodología del Servicio Geológico Colombiano, adaptada del Servicio Geológico-Minero de España, con el fin de contribuir a las labores de gestión del geoparque y a la mejora de la gestión del patrimonio que incida en una revalidación exitosa para el geoparque.

## Particulares

- Aplicar los conceptos de patrimonio geológico y geodiversidad para establecer un marco formal en el ámbito de las Ciencias de la Tierra (y del posgrado), con ejemplo en tres geositos de la Comarca Minera, que muestre la relevancia y el alcance interdisciplinar de abordar estas temáticas emergentes en las geociencias y en las instituciones, como ya ha ocurrido en algunos países de América Latina.
- Brindar un panorama comparativo de las metodologías que giran en torno al patrimonio geológico (en Europa y América Latina), sus diferencias, sus atributos y sus limitantes con miras a referir su adopción en nuevos territorios lo que llevará a estudiar su aplicación en el patrimonio en el geoparque Comarca Minera, considerando que es un geoparque ya establecido y reconocido por la UNESCO. No es el objetivo de este trabajo elaborar una metodología.
- Discutir la valoración científica, didáctica, turística y riesgo de degradación de tres geositos de Comarca Minera que sirva para delinear su estado actual y para apoyar estrategias de mejora y gestión de los recursos geológicos en el área de estudio.
- Elaborar una serie de consideraciones (resiliencia, servicios geosistémicos) tomando como base el marco del patrimonio geológico y su valoración para aplicar el concepto de geopatrimonio y su importancia en el trabajo de gestión del Geoparque Comarca Minera. En alcance a esto, aportar elementos para la nominación de la obsidiana verde-dorada del Cerro de Las Navajas como Global Heritage Stone Resource enmarcada en la temática de la geoconservación y minería.



---

# CAPÍTULO 1

---

## Introducción

### 1.1. Antecedentes: Geodiversidad y patrimonio geológico, conceptos emergentes en México

Los geoparques son proyectos que conjugan colaboradores de la academia, sociedad civil, prestadores de servicios, organizaciones comunales, gobierno, iniciativa privada, agencias científicas, organismos internacionales, entre muchas otros. Son también iniciativas innovadoras y como ejemplo es la creciente adopción de ellos en territorios y latitudes diversas. La prospectiva de crecimiento del IGGP se anticipa favorable, con especial énfasis para América Latina, África y los Estados Árabes (UNESCO, 2020). En años recientes los geoparques se han vuelto especialmente llamativos en México y han surgido grupos de trabajo para liderar proyectos en áreas diversas del país. Este nuevo escenario que plantea valorizar la geología en un contexto nuevo requiere, sin embargo, aclarar aspectos que hasta hace pocos años eran prácticamente desconocidos en México y cuyas menciones se limitaban a un contexto académico restringido. Sirva este trabajo como modesto intento de contribuir, matizar y referir el carácter teórico y práctico con ejemplos en la Comarca Minera y las complejidades y retos que nacen a partir de la gestión del patrimonio geológico.

Pero antes de abordar los conceptos de geodiversidad y patrimonio geológico se ofrece como punto de partida un contexto actual que puede aplicarse en cualquier geoparque. Partamos del hecho de que un pilar conceptual de los geoparques es su búsqueda y fomento del desarrollo local tomando como base aquellos rasgos geológicos de carácter sobresaliente. Con miras a esto, hay que tener una línea de salida y ésta es la geología que hay en su territorio. Mas no es tarea sencilla marcar un camino hacia el entendimiento de la geología de un área. Al recaer en una activa participación social, un geoparque es también un territorio de apropiación y divulgación de esa geología y es ahí en donde inicia uno de sus más grandes retos.

Interiorizar el tiempo geológico entre una comunidad o comunicarlo no es tarea sencilla. Muchos procesos geológicos escapan a la vista o percepción humanas ya sea porque

muchos ocurren en el subsuelo (la formación de muchos yacimientos minerales) o porque toman una cantidad grande de tiempo que rebasa la escala de observación humana (la formación o erosión de una montaña, por ejemplo). Ese carácter de los geoparques como impulsores de una «consciencia geológica» es un atributo especial que imprime su distintivo en estos proyectos.

Pero previo a su utilización o apropiación, aquellos recursos geológicos más conspicuos de un territorio deben ser identificados y catalogados. Extensa y reciente bibliografía sobre estas etapas en revistas especializadas y su discusión en foros académicos denotan el creciente interés entre una comunidad de geólogos que puede identificarse dentro de una corriente geoconservacionista. Al margen de ello, muchos términos nuevos anteponen «geo» conformando el vocabulario comúnmente utilizado en la práctica (*e.g.*, georruta, geoproducto, georrecurso, geoeducación) y aunque en muchos casos son adaptaciones forzadas del inglés a conceptos o palabras preexistentes su uso no deja de parecer un exceso. En tanto algunos de estos términos nuevos tienen una clara justificación otros, en cambio, son utilizados con fines de mercadotecnia. En sentido amplio, los nuevos conceptos y términos centrales, como la geodiversidad, son el resultado de un desfase institucional y epistémico derivado de la adopción y reconocimiento del concepto de biodiversidad frente a la geodiversidad. A continuación un breve esbozo sobre esto.

Los conceptos de geodiversidad y patrimonio geológico son actualmente términos con amplio reconocimiento en ámbitos académicos (*e.g.* Gray, 2004; Carcavilla *et al.*, 2007; Brilha *et al.*, 2018) y empresariales (*e.g.*, Prosser, 2018), así como gubernamentales, de organismos internacionales, organizaciones no gubernamentales y asociaciones internacionales sin fines de lucro (*e.g.*, DPIPWE, 2013; UNESCO, 2015; GGN, 2016; Crofts y Gordon, 2015; IUGS, 2018; ProGEO, 2019; IGME, 2020). El acuñamiento de tales conceptos está enmarcado en una iniciativa global de conservación del medio natural que puede atribuirse a la época de la posguerra (*e.g.*, Cumbres de Estocolmo y Río, 1972 y 1992, respectivamente) dando como resultado una agenda conservacionista del medio natural, con énfasis en la biota y ecosistemas, vigente al día de hoy. Además, estos términos se utilizan cada vez más en el marco sobre medio ambiente, gestión de recursos naturales, desarrollo sostenible y gestión de áreas protegidas. Con todo, pese a los importantes avances, aún existe un desconocimiento general sobre los alcances y la importancia de la geodiversidad, especialmente en América Latina.

Las ideas sobre la variedad de elementos o rasgos de la geología (geodiversidad) fueron gestándose en Europa desde la Edad Media derivadas de los valores atribuidos al medio natural, producto de los lazos o vínculos entre la sociedad medieval y su entorno. La imagen de la Tierra adquirida por las exploraciones a través del mar ayudaron a elaborar una cartografía de las tierras emergidas y descubiertas, y se elaboraron mapas viales y nuevas representaciones (Strano *et al.*, 2016). Como idea práctica, la diversidad geológica ya era aplicada en Europa desde el siglo XVII con fines de cuidar y resguardar ciertas características geológicas o geomorfológicas particulares (*e.g.*, la cueva Baumannshöhle, en el Macizo del Harz, Alemania) (Grube, 1994) —el acceso controlado a un sitio geológico, por ejemplo, es ya una medida de geoconservación—. Hacia el siglo XIX, por ejemplo, países como Dinamarca, Suiza y Bélgica tomarían medidas similares (Erikstad, 2008).

Ya en la primera mitad del siglo XX, en el Reino Unido, Huxley (1947) apunta sobre la importancia de la diversidad de fenómenos geológicos como elementos para la formación de recursos humanos (*i.e.*, geólogos). Necesariamente esto lleva a considerar las ideas que sobre el medio “geo” natural existían en la América Precolombina. En Mesoamérica, por ejemplo, los aztecas veneraron las montañas, a quienes vincularon con sus dioses (*e.g.*, el Cerro del Tepeyac, en la Cuenca de México, se asoció con la diosa Tonantzin-Cihuacóatl, a quien se le rendían ofrendas en el lugar; el Cerro de Las Navajas, en el actual estado de Hidalgo, México, se vinculó con Tezcatlipoca y la obsidiana). Numerosos glifos y cartografía indígena y mestiza se asocia con las montañas o cuerpos de agua, en un claro vínculo con la naturaleza y el medio abiótico a través de la cosmogonía (*i.e.*, León Portilla y Aguilera, 2016; Pastrana y Carballo, 2016).

Sería hasta los inicios de la década de 1990 que los paralelismos referidos entre lo “bio” y lo “geo” aparecen por primera vez en las fuentes especializadas (*e.g.*, Kiernan, 1990; Sharples, 1993; Wiedenbein, 1993). También, las primeras conferencias que hablan sobre el tema lo ubican en un contexto regional e internacional, como la Conferencia Internacional sobre Protección del Patrimonio Geológico, en Digne, Francia, en 1991. Estos referentes se dan contemporáneamente cuando, en 1992, con la Convención de la Diversidad Biológica (*i.e.*, biodiversidad), celebrada en la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro, se hace un llamado global sobre el manejo sostenible de la biodiversidad. Como antecedente a esta preocupación global sobre el medio ambiente y el planeta mismo, la imagen que transmitiera el *Apollo 8* en 1968 sobre nuestro pequeño mundo <sup>1</sup> inspiró ideas en torno a movimientos ambientales y de preocupación sobre el planeta Tierra (*cf.* Robin y Steffen, 2007); en 1987, el reporte *Our Common Future* elaborado por la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU tendría gran influencia en las políticas ambientales globales durante las décadas siguientes (Brundtland, 1987). Además, se introduciría por primera vez el concepto de «desarrollo sostenible», que sería adoptado en políticas y normativas a nivel global (*e.g.*, la Cumbre de Río; los programas de UNESCO; la Agenda 2030; las políticas de la IUCN, etc.) y que vendría a sumar los esfuerzos ya comenzados en 1970, cuando UNESCO implementó el programa El Hombre y la Biosfera (MAB, por sus siglas en inglés).

Pero para reconocerse globalmente la componente “geo” de la diversidad natural pasarían varias décadas, tiempo en el cual los marcos legales de protección y conservación de la biodiversidad contarían con un avance significativo y cuyos acuerdos internacionales estarían ya suscritos por estados miembros de las Naciones Unidas y otros organismos internacionales. La adopción del término “geodiversidad” se da prácticamente de forma contemporánea en la década de 1990 en Australia y su adopción en proyectos medioambientales fue bien recibida, como queda registrado en la implementación de medidas conservacionistas en las políticas de los gobiernos de Tasmania y Australia (*i.e.*, Kiernan, 1997). La particular aportación sobre los valores en torno a la geodiversidad sería algo innovador e incluso necesario para resaltar el papel de la geología en los procesos medioambientales. La utilización de los recursos geológicos llevada a cabo por la minería, la industria del petróleo, la geotermia y la extracción de agua subterránea practicadas

---

<sup>1</sup>La imagen clásica transmitida por el *Apollo 8* sobre el planeta Tierra es conocida como *Blue Marble*.

en el día a día de la vida tecnológica actual es provechosa pero también cuestionada por la degradación ambiental que conlleva. La obtención de materias primas a partir del aprovechamiento de los recursos geológicos comenzó a tomar otro tinte desde la adopción de los valores y servicios asociados a la geodiversidad. Son pues los valores y los servicios que dan un vuelco a la visión común sobre el medio geológico, lo cual algunos han optado por asociarlo con un paradigma sobre la gestión y concepción del medio natural (Gray, 2008).

Para 1972, durante la Conferencia General de la UNESCO, se adoptó la Convención para la protección del patrimonio mundial, cultural y natural (UNESCO, 1972) en donde se definen de forma definitiva estos patrimonios. La Convención, reconoce que el patrimonio natural son (i) los monumentos naturales constituidos por formaciones físicas y biológicas o por grupos de esas formaciones que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista estético o científico, (ii) las formaciones geológicas y fisiográficas y las zonas estrictamente delimitadas que constituyan el hábitat de especies animal y vegetal amenazadas, que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista estético o científico y (iii) los lugares naturales o las zonas naturales estrictamente delimitadas, que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista de la ciencia, de la conservación o de la belleza natural.

Por otro lado, la Convención (UNESCO, 1972) reconoce que el patrimonio cultural son (i) los monumentos, refiriéndose a las obras arquitectónicas, de escultura o de pintura monumentales, elementos o estructuras de carácter arqueológico, inscripciones, cavernas y grupos de elementos, que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista de la historia, del arte o de la ciencia, (ii) los conjuntos, que abarcan grupos de construcciones, aisladas o reunidas, cuya arquitectura, unidad e integración en el paisaje les dé un valor universal excepcional desde el punto de la historia, del arte o de la ciencia y (iii) los lugares, entendidos como aquellas obras del hombre u obras conjuntas del hombre y la naturaleza así como las zonas incluidos los lugares arqueológicos que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista histórico, estético, etnológico o antropológico.

En principio, al tener un valor de carácter universal excepcional, los patrimonios naturales y culturales fueron conferidos con un carácter de patrimonio mundial. El lector advertirá que en la definición del patrimonio natural la mención del valor se refiere a uno científico o estético, con una especial mención a la conservación. Partiendo de ahí, estos valores son incorporados al concepto de patrimonio geológico, y que retoman iniciativas futuras (Declaración de la Memoria de la Tierra en Digne, 1991), que se puede definir como aquellos rasgos de la geodiversidad (minerales, rocas, suelos, relieves, fósiles), y por tanto no renovables, que son ejemplos representativos de procesos geológicos que moldean la Tierra y su relieve, que son fuentes de conocimiento para conocer la historia de la Tierra, de la evolución de la vida y que poseen un alto valor científico, cultural, estético, recreativo y/o paisajístico (v. Cendrero, 1996; Carcavilla et al., 2007; Crofts y Gordon, 2015, Reynard y Brilha, 2018, y referencias ahí citadas). El patrimonio geológico lo constituyen lugares concretos, así como especímenes exhibidos en museos (*e.g.*, fósiles, minerales). Desde el punto de vista institucional, la IUCN (Crofts y Gordon, 2015)

prefieren el uso, en inglés, de *geoheritage*, en tanto la UNESCO refiere expresamente al patrimonio geológico (*geological heritage*) que, vinculado con otros valores del patrimonio cultural o inmaterial conforman el geopatrimonio. Proyectos en curso del IGCP dan cuenta del carácter aplicado del geopatrimonio para la resiliencia en áreas naturales protegidas, sitios de patrimonio mundial y en los geoparques (Proyecto 692 - Geoheritage for Geohazard Resilience). También, de la definición de patrimonio natural es notorio un carácter asociativo de los rasgos físicos (abioticos) con las formaciones biológicas y con hábitats de especies. Aunque se reconoce la componente «geo» del medio natural, es claro que había muchos matices necesarios de mención. Al margen de esto, el criterio viii del Patrimonio Mundial es el único criterio que menciona expresamente a procesos geológicos representativos clave para ser considerados en la evaluación.

Los conceptos de geodiversidad y el patrimonio geológico son novedosos y necesarios en el estudio y gestión de los recursos naturales, especialmente para México, cuyo carácter teórico y aplicado se da de manera constante y con mayor presencia a partir de la designación de los geoparques, de lo que se hablará más adelante con mayor detalle. La siguiente sección, partiendo de las definiciones del patrimonio geológico, permitirá contextualizar los tipos de valor que servirán de hilo conductor para referir las características del Programa Internacional de Ciencias de la Tierra y Geoparques de la UNESCO y de las redes regionales.

## 1.2. Valores del patrimonio geológico

De la definición de patrimonio natural y a partir de la cual se asocia el patrimonio geológico, se detalla a continuación tres valores que son el enfoque de este estudio. Otros valores de la geodiversidad y del patrimonio geológico (arqueológico, histórico, espiritual, inspiración artística, económico, funcional) pueden agruparse dentro de uno o varios de estos tres, así como a su relación con servicios geosistémicos provistos por la geodiversidad. Para profundizar en otros tipos de valor el lector es referido a Gray (2004). La pertinencia de estudiar estos valores y ponerlos en práctica en los trabajos del patrimonio geológico cobran especial interés por los beneficios educativos, de conocimiento y económicos que traen consigo. Es entonces un reto armonizar e integrar los valores del patrimonio geológico en la práctica de la geoconservación y en el desarrollo de los geoparques.

### 1.2.1. Tipos de valor

#### Científico

Las rocas, como parte del medio natural, constituyen un objeto de estudio a partir del cual se genera conocimiento ya sea del origen de la Tierra y los planetas, de la evolución de la vida, de los cambios climáticos, de procesos geodinámicos, por mencionar algunos. También, los rasgos geológicos ilustran procesos globales únicos y representativos y que pueden ser reconocidos como localidades de referencia mundial para la comunidad científica (Figura 1.1). Su estudio también ayuda a entender fenómenos naturales

como los sismos o las erupciones volcánicas. La generación de conocimiento, por lo tanto, contribuye al avance científico, a replantear o proponer nuevas teorías y para actualizar modelos conceptuales (Figura 1.2). Este rol que nosotros atribuimos al medio geológico para contribuir al conocimiento y que también tiene fines prácticos, tecnológicos (científico y aplicado) constituye el valor científico.

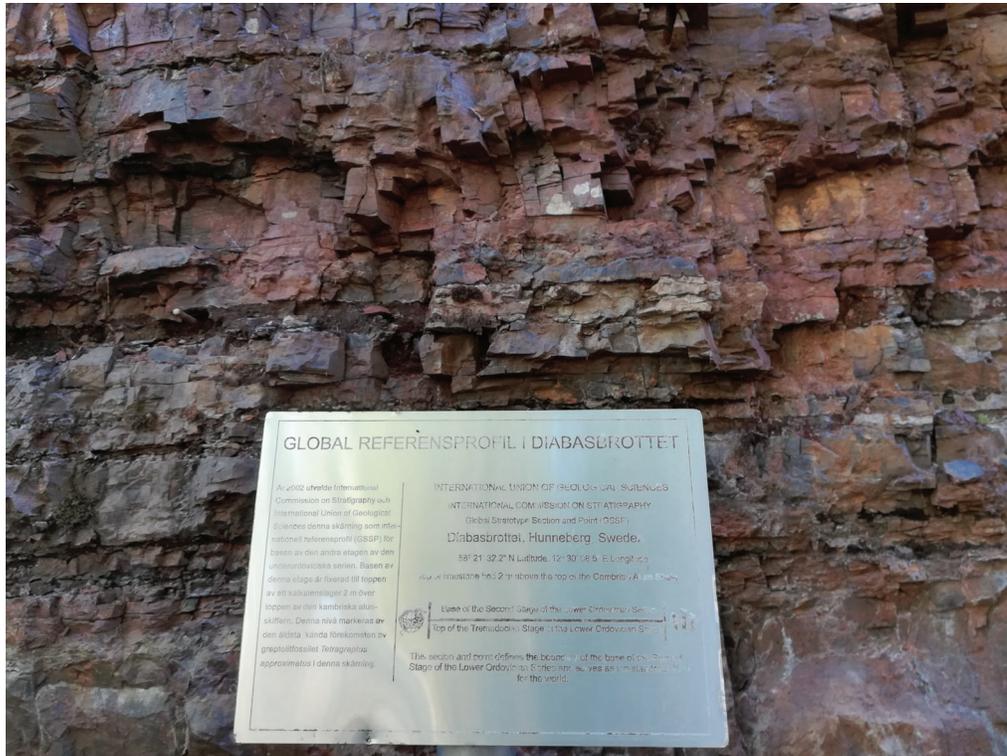


Figura 1.1: Global Boundary Stratotype and Point (GSSP), designación internacional de la IUGS que establece puntos de referencia globales para la construcción de la Escala del Tiempo Geológico. Secuencias arcillosas con graptolitos (*Tetragraptus approximatus*) que marcan el inicio del Floiense (477.71.4) (Maletz *et al.*, 1996). Gyllene Spiken, Geoparque aspirante Platåbergens, Hunneberg, Suecia. Fotografía: Miguel Cruz.

## Didáctico

Muchos lugares, aun sin tener algún afloramiento de roca, pueden servir para ilustrar procesos geológicos, por ejemplo, los rasgos geomorfológicos de un sistema montañoso, los cañones y barrancos presentes en una región, los sistemas fluviales, etc. Cuando son expuestas a la observación, las rocas de un lugar pueden brindar información útil para ejemplificar un rasgo o un fenómeno geológico particular. Aun a nivel macroscópico, la textura, color, mineralogía visible a simple vista de una roca da la posibilidad de servir



Figura 1.2: Depósitos glaciares (varvas) del paleo-Báltico ( $10 \text{ Ka } ^{14}\text{C}$ , Johnson *et al.*, 2010). Localidad tipo en el geoparque aspirante Platåbergs, Suecia. Fotografía: Denisse Cruz.

de punto de partida para abordar temas de clase o explicaciones de campo. (Figura 1.3).



Figura 1.3: Visita de campo al geosítio Cerro de Las Navajas, Geoparque Comarca Minera, Hidalgo. Los visitantes escuchan una explicación de campo. Fotografía: Miguel Cruz.

En los niveles básicos de educación, por ejemplo, un afloramiento de rocas puede ilustrar una secuencia de eventos temporales sucesivos que permitan interiorizar el “tiempo geológico” (Figura 1.4). La forma cónica de una elevación apunta, a primera vista, a un volcán, y es quizá una primera asociación que viene a la mente cuando se habla de una erupción y de un volcán. Existen entonces rasgos geológicos que permiten el aprendizaje e ilustración de procesos naturales asociados a la dinámica terrestre y ahí recae el valor didáctico.



Figura 1.4: El patrimonio geológico y su valor didáctico. Un grupo de estudiantes del nivel básico escuchan una explicación de campo sobre las rocas de su comunidad. Rocas volcánicas riolíticas del geositio Peña del Diablo, Omitlán de Juárez, Geoparque Comarca Minera. Fotografía: Erika Salgado.

### Turístico

La particular belleza de algunas panorámicas naturales (Figura 1.5) son debidas muchas veces a procesos geológicos. El valor estético, muy asociado al valor turístico guarda una estrecha relación. Ejemplos hay muchos, tales como las Barrancas del Cobre, en Chihuahua, el Gran Cañón de Colorado, los fiordos noruegos, las cataratas Victoria en Zimbabue, por mencionar algunos. La variabilidad de panorámicas naturales (*i.e.*, paisajes geológicos) puede evocar la creatividad y la inspiración artísticas del observador, con exponentes como José María Velasco (1840-1912), Johan Christian Dahl (1778-1857), Aimé Bonpland (1773-1858), entre otros. Asimismo, la posibilidad de llevar a cabo actividades recreativas como excursiones, práctica de deportes, recorridos guiados por expertos o guías confiere al patrimonio geológico de un valor turístico. Las métricas que pueden generarse a partir del turismo en áreas de interés geológico señalan una importante contribución económica. El Servicio de Parques Nacionales de Estados Unidos, por ejemplo, indica que para 2015 hubo una derrama de aproximadamente 17 mil millones de dólares hecha por visitantes sobre diversas actividades entre las que se encuentran viajes sencillos de un día, hospedajes, campamentos, entre otros. De acuerdo con el reporte, en 2015 el

Parque Nacional del Gran Cañón generó 8897 empleos (US National Park Service, 2016, NPS/NRSS/EQD/NRR—2016/1200). Así entonces, el motor económico que se asocia a este valor es muy importante si consideramos que es a partir del valor turístico (y estético) que se puede potenciar una derrama económica en el área o lugar del patrimonio geológico. Estadísticas y métricas, como se estudia formalmente en proyectos de otras latitudes sobre el impacto turístico, conteo de visitantes y perfiles, derrama económica asociada a geositios y lugares de interés geológico son una oportunidad para formalizar la práctica turística desde la gestión y agencias gubernamentales y debería ser incluida como una herramienta para la implementación de mejoras y desarrollo de ideas prácticas en torno al patrimonio geológico.

### **Intrínseco**

La esencia de este valor recae en que el patrimonio geológico tiene valor por sí mismo, independiente de su utilidad para el ser humano (Figura 1.6). Necesariamente la atribución del valor intrínseco al patrimonio geológico implica una construcción cultural (como en los otros valores también), tal que valores y principios éticos sopesan la relevancia de un rasgo geológico. Existe un punto de especial diferencia entre posturas de la comunidad geoconservacionista sobre este valor pues recae en que mientras muchos valores de la geodiversidad y del patrimonio geológico tienen un carácter funcional —proveen conocimiento, son recursos naturales, por ejemplo— la idea de conferirle valor a un rasgo geológico únicamente por lo que representa, fuera de cualquier uso o utilidad que pudiera tener al ser humano es una postura ética sin sustento. Uno de los puntos sensibles con el reconocimiento de este valor es el lugar del observador, quien desde una posición no antropizada debe considerar el papel y conferir valor a un rasgo de la geodiversidad. La inclusión de este valor en este trabajo es pues relevante por la discusión que lo envuelve y que denota la creciente y reciente discusión en la geoconservación (v. Gray, 2004 y referencias ahí citadas).

## **1.3. Los Geoparques Mundiales de la UNESCO y las redes regionales de geoparques**

En 2015 la UNESCO formalizó el IGGP dando consecución a una iniciativa que ya tenía conocimiento de UNESCO al menos desde 1999 (UNESCO, 1999, 156 EX/11 Rev). Con estos antecedentes, la colaboración y trabajo continuado desde la década de 1990 tuvo su resultado en la Red Europea de Geoparques y su agenda (Zouros, 2004), quienes conjuntamente dieron lugar al consenso y adopción de los geoparques como territorios bien delimitados que poseen patrimonio geológico de relevancia internacional, que cuenta con alianzas locales y estratégicas, que promueven la geoconservación, y que cuentan con una estructura de gestión bien establecida (Zouros, 2004; UNESCO, 2015).

El IGGP es en realidad un programa general que consiste en dos pilares: (1) el Programa Internacional de Geociencias (IGCP), y (2) los Geoparques Mundiales de la UNESCO (UGGp). En otras palabras, IGGP=IGCP+UGGp.

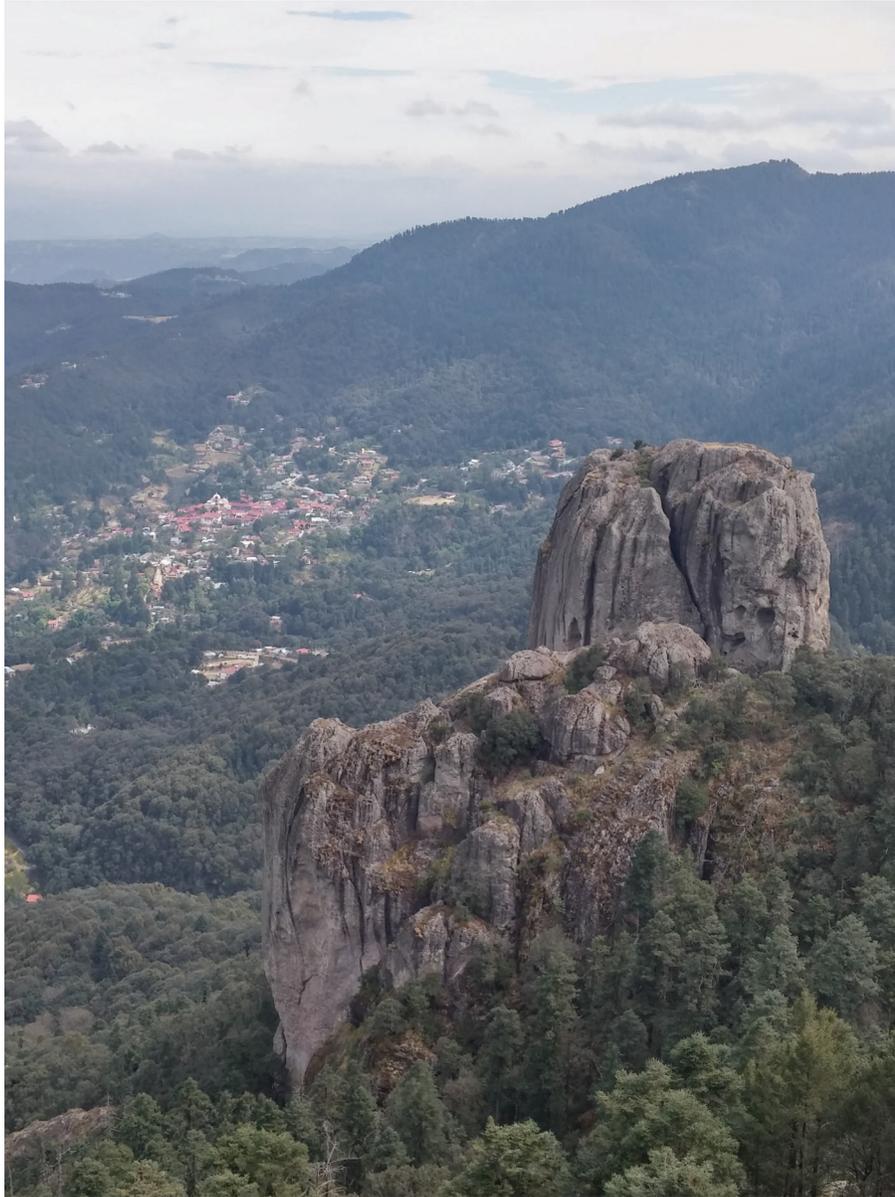


Figura 1.5: Paisaje geológico del Parque Nacional El Chico, Mineral del Chico. Fotografía: Miguel Cruz.

El IGCP, desde 1972, junto con la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS), promueve proyectos colaborativos con énfasis en buscar beneficios para la sociedad y en la generación de competencias e intercambio de conocimiento. Para ello el IGCP trabaja con cinco líneas específicas de proyectos —cuya duración promedio es de cinco años—, que van de: recursos terrestres, cambio climático, riesgos geológicos, hidrogeología y geodinámica. Con la aprobación del UGGp por los Estados Miembros de la ONU en 2015, el renovado



Figura 1.6: Cascada de Gullfoss, Islandia, desarrollada sobre rocas volcánicas y siguiendo un sistema de fracturas regional NE-SW. Fotografía: Miguel Cruz.

IGGP se sirve hoy en día de dos uniones cooperativas con la IUGS y con la Red Mundial de Geoparques (GGN). Los respectivos Consejos del programa coordinan sus agendas a través de un Secretariado UNESCO. La estructura orgánica del IGGP se muestra en la Figura 1.7.

La formalización del programa fue un proceso complejo en donde convergieron políticas, visiones y apreciaciones diversas en torno al patrimonio por parte de organizaciones y grupos de expertos (*cf.* Du y Girault, 2018). El consenso sobre aspectos del patrimonio geológico y su gestión es, desde la perspectiva institucional, una convergencia de valores universales (*e.g.*, el patrimonio geológico entendido como de relevancia internacional [científica]), y locales, pues al involucrar y valorar los vínculos con elementos culturales, históricos o bióticos es indiscutible llegar a la conclusión que los valores locales son clave en el proceso de patrimonialización. Lecciones desde el patrimonio cultural pueden considerarse pertinentes para el patrimonio geológico (*cf.* Willems, 2011), pues de un discurso de unidad nacional se pasa a otro de respeto a la diversidad cultural, de la importancia nacional a los distintivos locales y valores conmemorativos, de expertos a facilitadores y profesionistas con habilidades múltiples. En sintonía con la diversidad patrimonial que puede existir en los geoparques, el UGGp reconoce en su evaluación más reciente el liderazgo de expertos para llevar a cabo el desarrollo exitoso del programa

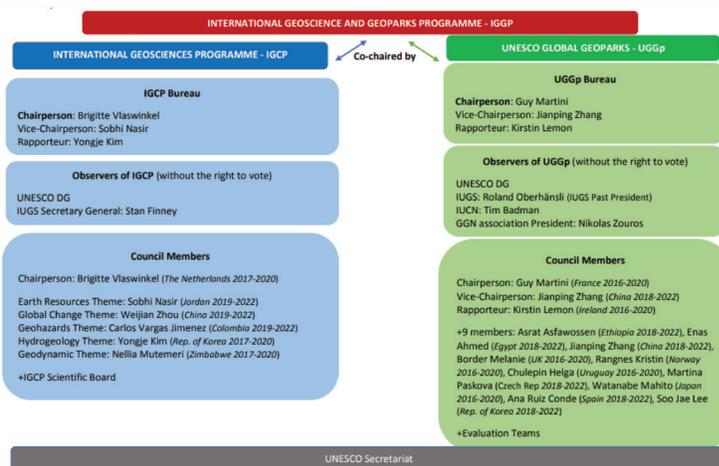


Figura 1.7: Estructura del Programa Internacional de Geociencias y Geoparques de la UNESCO.

(UNESCO, 2020, 209 EX/9). Con la expectativa de una mayor participación por parte de las agencias gubernamentales de Estados Miembros en los geoparques y en el desarrollo de políticas —cuyo tarea ya tiene delineada el IGGP (UNESCO, 2020, 209EX/9) para dar seguimiento en el futuro próximo— se espera que América Latina comience un proceso de institucionalización del patrimonio geológico con una agenda de Estado, como ya se ha hecho en Colombia, Uruguay, Chile y Perú que, prospectivamente, para el caso mexicano, incluya agencias como la CONANP, CONABIO, SEMARNAT, CONALMEX, SGM, INAH, entre otras.

## 1.4. El Geoparque Mundial de la UNESCO Comarca Minera

### 1.4.1. Marco geológico

La región de la Comarca Minera (también GCM) es nombrada así debido a la actividad minera practicada, con interés en los metales preciosos, desde la época de la Colonia (hacia mitad del siglo XVI). Fisiográficamente, está comprendida entre la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), predominantemente (con un 90 % cubriendo su superficie), y la Sierra Madre Oriental (SMO), ocupando el área restante (Figura 1.8) Las rocas sedimentarias asociadas a la SMO son las más antiguas del geoparque y afloran en las partes bajas de los cañones de Aguacatitla y Metztitlán, así como en algunas elevaciones (pliegues) en la porción NW. Estas rocas son secuencias del Cretácico Inferior y Supe-

rior correlacionables con las formaciones El Doctor y Soyatal (Carrillo-Martínez, 1981; Mendoza-Rosales, 1990) que registran la evolución transgresiva de la margen occidental del Golfo de México evolucionando a facies de cuenca marina profunda (Wilson *et al.*, 1955; Mendoza-Rosales, 1990).

La evolución paleogeográfica asociada a una deformación de la cobertura sedimentaria generó un acortamiento de estas secuencias para formar el Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas (CMPF) durante varios periodos de deformación en el centro y oriente de México (*cf.* Fitz-Díaz *et al.*, 2011, 2014), en el marco tectónico de convergencia entre las placas de Farallón y de Norteamérica. Estructuras de deformación que registran la tectónica cretácico-paleógena del área están ejemplificadas como pliegues asimétricos y fallas inversas buzando hacia el NE (Morán-Zenteno, 1994; Eguiluz *et al.*, 2000; Salvador-Flores, 2001; Fitz-Díaz *et al.*, 2011), resultando en la topografía elevada de la SMO.

La subducción en el occidente de México durante el Oligoceno-Mioceno formó un enorme volumen de rocas volcánicas (Geyne *et al.*, 1963), que localmente son rocas intermedias-ácidas (andesitas, dacitas y riolitas) del Grupo Pachuca (Oligoceno) y riolitas de las formaciones Tezoantla y Cerezo (Mioceno), que en conjunto conforman un relieve de domos y peñascos a lo largo de la Sierra de Pachuca. De acuerdo con Aguirre y Labarthe-Hernández (2003) y Ferrari *et al.* (2005) este vulcanismo es una de las manifestaciones más surorientales de la Sierra Madre Occidental, provincia magmática que es conocida por albergar numerosos yacimientos minerales de relevancia mundial en el centro de México (*e.g.*, Guanajuato, Fresnillo).

Una de las particularidades de la subducción en el occidente de México es el cambio en la geometría de la placa de Cocos —relicto de la de Farallón—, que desde el Plioceno subduce de forma subhorizontal por debajo de la de Norteamérica. Como resultado de este arreglo tectonomagmático complejo tenemos la FVTM, la cual se interpreta como un arco volcánico individualizado de la Sierra Madre Occidental (Ferrari *et al.*, 1999; Gómez-Tuena *et al.*, 2005). Diversos geositos (volcánicos) del geoparque tienen su origen en el vulcanismo de la FVTM durante este tiempo (*e.g.*, Cerro de San Cristóbal, Prismas Basálticos, Las Navajas, Cubitos, y el GUAJOLOTE) (SGM, 2007; Sánchez-Rojas y Osorio-Pérez, 2008).

La intensa actividad hidrotermal generada por el vulcanismo queda registrada en el distrito minero de Pachuca-Real del Monte, un complejo epitermal de baja sulfuración de edad miocénica, desarrollado en vetas (Geyne *et al.*, 1963; Dreier, 2005), con Ag en sulfuros como argentita y acantita, pero también en sulfosales como polibasita, miargirita, proustita y stephanita, así como plata nativa (Geyne *et al.*, 1963; McKee *et al.*, 1992; Camprubí y Albinson, 2007). De manera particular, el yacimiento de Pachuca-Real del Monte, ha sido utilizado para la definición de modelos conceptuales, con impacto directo en la exploración minera. La intensa explotación de plata que tuvo lugar en el yacimiento generó extensas obras subterráneas (patrimonio industrial-minero), mayormente abandonadas en la actualidad. Hoy en día este patrimonio industrial-minero es usado actualmente en proyectos de intervención para apoyar el desarrollo de las comunidades locales, por ejemplo, a través de la investigación, educación y el turismo en el marco del geoparque (Cruz-Pérez *et al.*, 2018b; Cruz-Pérez *et al.*, 2019a).

Los siguientes rasgos patrimoniales en la Comarca Minera son considerados de relevancia internacional (Canet *et al.*, 2017; Poch-Serra y Canet, 2018; Cruz-Pérez *et al.*, 2019b; Morelos-Rodríguez, 2018; Pastrana *et al.*, 2018b; Morelos-Rodríguez *et al.*, 2019):

- El sistema epitermal (Au-Ag) de Pachuca-Real del Monte, cuya producción histórica de plata representa el 6% de la plata producida globalmente durante los últimos 500 años.
- La localidad tipo —en el Cerro San Cristóbal de Pachuca— de la tridimita y la cristobalita, descubiertos hacia fines del siglo XIX por el mineralogista prusiano Gerhard vom Rath.
- Los basaltos con disyunción columnar de Santa María Regla, en Huasca de Ocampo, descritos por primera vez por Alexander von Humboldt en 1803.
- La obsidiana verde-dorada del Cerro de Las Navajas, producida por la evolución del estratovolcán del mismo nombre, y que registra una secuencia geoarqueológica de explotación desde el Preclásico (*ca.* 250 a.C.)

### 1.4.2. Áreas Naturales Protegidas

El geoparque se traslapa con diversas áreas protegidas de carácter internacional, federal y estatal. Se describen brevemente a continuación.

#### Parque Nacional El Chico

Es una de las áreas naturales protegidas más antiguas de Norteamérica —como referencia, Yellowstone, en Wyoming, Estados Unidos, fue declarado en 1872 (US National Archives, 2019)—. Durante el Segundo Imperio Mexicano (1863-1867), ya se tenía relación sobre el estado preocupante de los bosques del área y se hablaba de los Bosques Vedados de Mineral del Chico. La declaratoria como Bosque Nacional vendría en 1898, bajo el mandato del presidente Porfirio Díaz. Desde 1982 es un parque nacional, bajo la gestión de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Alberga en su totalidad al poblado de Mineral del Chico, localidad minera histórica que constituye la porción norte del distrito minero de Pachuca-Real del Monte. La vegetación característica del parque es de oyamel (*Abies religiosa*), encino (*Quercus spp.*), pino (*Pinus spp.*), cedro (*Cupressus spp.*) y tascate o tlaxcal (*Juniperus monticola*) (CONANP, 2005). Alberga una diversidad notable de aves, anfibios y reptiles.

#### Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán

Es una reserva de la biosfera reconocida por UNESCO desde el 2000, y por tanto adscrita al programa MAB. El geoparque y la reserva comparten área a lo largo del cañón de Metztitlán o de Alcholoaya, específicamente el área del cañón que corre dentro de los municipios de Huasca de Ocampo y Atotonilco El Grande. De acuerdo a la zonificación de la reserva, el área comprendida dentro de los municipios antes mencionados

que corresponden a ella son de “aprovechamiento sustentable de los recursos naturales” y de “aprovechamiento sustentable de agroecosistemas”. De acuerdo con el programa de manejo de la reserva (CONANP, 2003), las zonas de aprovechamiento son áreas de amortiguamiento que buscan dar continuidad y mantener las actividades productivas del área. Las áreas de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, por ejemplo, son aquellas en donde se puede fomentar la actividad turística, la educación ambiental, el aprovechamiento de fauna silvestre, pero garantizando su reproducción y mantenimiento de poblaciones. Las áreas de aprovechamiento sustentable de agroecosistemas están destinadas al desarrollo agrícola con la implementación de sistemas de riego, observando que sea minimizado el proceso de erosión de suelos. Los geositos que se ubican dentro de la reserva son un punto mirador sobre el río Venados (Atotonilco El Grande), con nombre homónimo a la reserva, la barranca de Aguacatitla y Peña del Aire, ambos en Huasca de Ocampo. La gestión ejidal de Aguacatitla y Peña del Aire es un reto en términos de integración de prácticas del geoparque y la reserva. Asimismo, implica que aquellos ejidos dentro del área de traslape posean doble designación al ubicarse dentro de la reserva y dentro del geoparque, cuya denominación por parte de UNESCO se atribuye al programa MAB y al IGGP. La vegetación característica de la reserva puede ser consultada de forma detallada en el programa de manejo.

#### **Otras áreas protegidas de carácter local**

En el geoparque existen también áreas protegidas de carácter diverso y de gestión y observancia más local. Éstas pueden ser áreas protegidas en carácter de Parque Ecológico (Cubitos, que es un geosito ubicado en la colindancia entre Pachuca y Mineral de la Reforma y con una extensión de 904 mil m<sup>2</sup>), Parque Estatal (Bosque El Hiloche, ubicado en Mineral del Monte, con una extensión de 1 millón de m<sup>2</sup>), Zona de Preservación Ecológica (Lagunilla, La Paila-El Susto-Matías Rodríguez, con el volcán La Paila también como geosito, ubicadas en Singuilucan, con una extensión de 280 mil m<sup>2</sup> y 363 mil m<sup>2</sup>, respectivamente), las cuales tienen una zonificación variable incluyendo zonas núcleo de uso intensivo, de uso restringido, zonas de amortiguamiento de uso público, zonas de recuperación o zonas de amortiguamiento de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (Periódico Oficial del Estado de Hidalgo, 2002, 2004a, b, 2005a,b). Se muestra en la Figura 1.9 un mapa de las áreas naturales protegidas con su distribución en el área del geoparque.



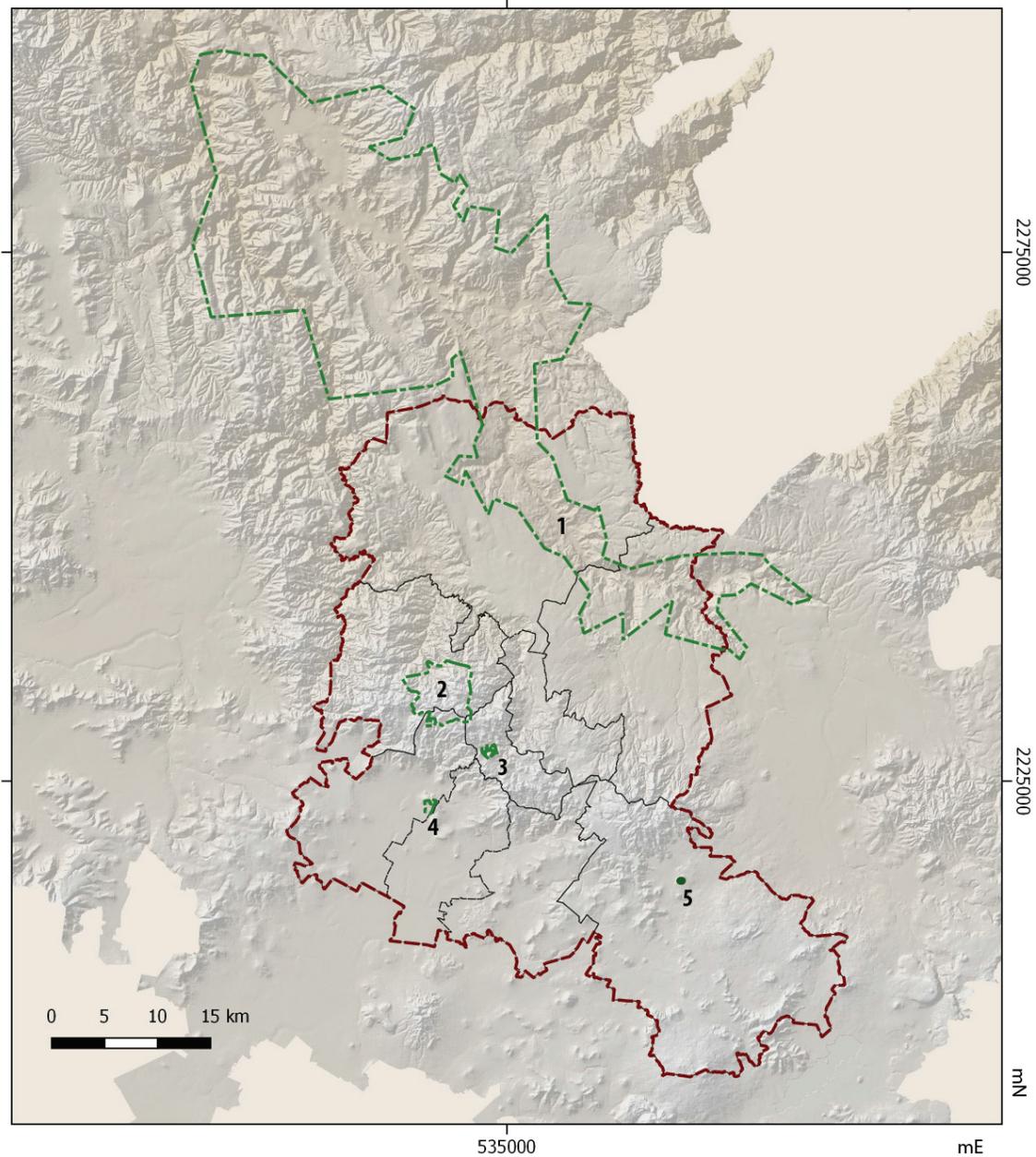


Figura 1.9: Áreas Naturales Protegidas en el geoparque Comarca Minera, con base en información vectorial de CONANP (2019) y en el Periódico Oficial del Estado de Hidalgo (2002, 2004a,b, 2005a, b). El área del Estado de Hidalgo y del geoparque se muestran con un modelo digital de elevación. 1: Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, con un área de intersección aproximada de 175 km<sup>2</sup>, 2: Parque Nacional El Chico, 3: Bosque Estatal Bosque El Hiloche, 4: Parque Ecológico Cubitos, 5: La Paila.



---

## CAPÍTULO 2

---

# Metodologías de valorización de patrimonio geológico: integración de ejemplos de Europa y América Latina

Los estudios sobre el patrimonio geológico se estructuran en etapas conocidas como catalogación, valoración, conservación, divulgación/utilización (Carcavilla *et al.*, 2007). En este capítulo se describe brevemente cada una de ellas. Con estos elementos, se tendrán bases para estudiar las metodologías disponibles para la valorización del patrimonio geológico del GCM.

### 2.1. Europa

Desde la década de 1990, cuando se introdujo el concepto de geodiversidad y patrimonio geológico en los ámbitos académicos y en contextos regionales e internacionales (v. International declaration of the rights of the memory of the Earth, 1991) surgieron numerosas aportaciones para el estudio de aquellos rasgos asociados con un alto valor de ciertos elementos geológicos así como acercamientos sobre el rol de la geodiversidad en los procesos naturales que conforman el planeta. Una gran variedad de métodos han sido aplicados bajo un enfoque cualitativo (*e.g.*, Silva, 2007; Panizza, 2009; Gray, 2011, 2012; Gray *et al.*, 2013; Gordon y Barron, 2013; Bradbury, 2014; Hjort *et al.*, 2015) y cuantitativo (*e.g.*, Villalobos-Megía *et al.*, 2004; Carcavilla *et al.*, 2007; Serrano y Flaño, 2007; Benito-Calvo *et al.*, 2009; Hjort y Luoto, 2010; Ondicol, 2012; García-Cortés y Carcavilla Urquí, 2013; Melelli, 2014; Forte *et al.*, 2018), y en diferentes escalas de estudio y con enfoque científico o fines didácticos (v. Forte, 2014). Véase la Tabla 1 que muestra un comparativo entre ambos acercamientos metodológicos.

Tabla 2.1: Comparativa general entre metodologías cualitativas y cuantitativas en los estudios de la geodiversidad. Fuente: Elaboración propia con base en Brilha *et al.* (2018).

Cualitativos	Cuantitativos
Recomendable para un primer inventario o evaluación de un área.	Existen distintas metodologías basadas en la asignación de un puntaje. No existe consenso sobre una metodología en particular entre la comunidad geocientífica.
Requiere de un avanzado conocimiento del medio natural del área. Esto significa que puede ser subjetivo, aunque puede asistir críticamente en la interpretación de un análisis cuantitativo.	Reduce la subjetividad en la valorización. Genera un listado basado en prioridades que asiste en la gestión de la geodiversidad.
Asiste en la integración de otros valores asociados al patrimonio geológico ( <i>e.g.</i> , educativo, turístico, cultural).	No recomendable para áreas pequeñas debido a la carencia de un marco comparativo entre sitios. Recomendable para plantear sistemáticamente un inventario-evaluación regional o nacional.
Consiste en la descripción de los elementos de la geodiversidad de un área y en la explicación de sus valores.	A pesar de estas metodologías, la interpretación de los resultados depende en gran medida de los expertos que han trabajado en el área.

Estos horizontes metodológicos comparten una subjetividad sobre el objeto de estudio, pues conllevan la asignación de una valoración baja o mínima y una valoración alta o máxima, siendo los extremos establecidos mediante alguna convención o regla predeterminada, es pues el carácter subjetivo algo inherente al método. Por un lado, la asignación de una valoración sobre un rasgo de la geodiversidad (*e.g.*, bueno, malo, deficiente, deteriorado, bien conservado) es un ejemplo del aspecto cualitativo presente en diversas disciplinas o ramas de la geología. Mientras que el trabajo o enfoque cuantitativo disminuye la apreciación relativa del objeto, con ejemplos en diversos estudios geológicos (*e.g.*, porcentaje de acortamiento de secuencias sedimentarias, permeabilidad de una unidad, porosidad de alguna roca en particular, resistividad). En consecuencia, debe entenderse que ambos enfoques (cualitativo y cuantitativo) son en realidad complementarios. Además, esto apunta a que la información derivada de las palabras tiene su reflejo en algún numeral, y viceversa. La elección de uno u otro enfoque dependerá pues de los criterios y alcances del estudio.

Si bien el objeto de las metodologías es incidir en una gestión apropiada de los elementos del patrimonio geológico en contextos diversos (*e.g.*, ordenamiento territorial, áreas naturales protegidas, política ambiental), también son utilizadas para sustentar y apoyar el trabajo de iniciativas con enfoque en sostenibilidad y de impacto social, con acerca-

mientos desde los servicios ambientales, vinculando los procesos geológicos con bienes proporcionados al ambiente y al ser humano referidos como servicios geosistémicos. Es así que el creciente número de publicaciones y trabajos especializados en torno al estudio cualitativo o cuantitativo —pero sobre todo conceptual— del patrimonio geológico busca valorizarlo y complementar conceptos y estrategias, por ejemplo, sobre el capital natural y los servicios ambientales y geosistémicos. La subvaloración que tiene la geodiversidad en la gestión de los recursos naturales (y su conservación), a pesar de los beneficios que proporciona a la sociedad, indica necesariamente una carencia que es pertinente atender, especialmente en la toma de decisiones y que es también lo que las metodologías de estudio buscan saldar, así como lo que especialistas diversos subrayan como prioritario (v.Gray, 2018; Brilha *et al.*, 2018).

## 2.2. América Latina

Comparativamente, los estudios sobre geodiversidad —y geoconservación— en América Latina son muy recientes y responden, en gran medida, al proceso de institucionalización de programas sobre el tema, así como también a grupos de trabajo, especialistas y estudiantes que, teniendo una cooperación con iniciativas en la región europea y con América Latina, aplican metodologías con un enfoque comparativo y en escalas diversas (*cf.* Sánchez-Cortés, 2010; Pereira *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2015; Manosso, 2016; Forte *et al.*, 2018). Son pocos los países que, al día de hoy, incluyen estudios de patrimonio geológico en sus programas educativos, aunque comienza a gestarse mayor presencia de ellos en México, Colombia, Perú, Chile, Bolivia, Ecuador y Brasil. También, el creciente número de congresos y simposios sobre patrimonio geológico, organizados en América Latina, el financiamiento de proyectos, así como la creación de redes regionales son un reflejo de la puesta en marcha de discusiones y estudios sobre el tema pero, sobre todo, denotan la naciente disciplina del patrimonio geológico y la geoconservación como ciencia (*i.e.*, Henriques *et al.*, 2011) y la necesidad de su inclusión en temas de sostenibilidad (Crofts, 2018) que refuerzan una serie de retos y oportunidades identificados, por lo menos, desde hace ya casi una década (*e.g.*, Prosser *et al.*, 2011). Palacio (2016) ofrece una síntesis del estado del patrimonio geológico y la geoconservación en América Latina a la que habría que agregar el rol de la designación de nuevos Geoparques Mundiales de la UNESCO (UNESCO, 2017a), la fundación de la Red de Geoparques de América Latina y El Caribe y su agenda (UNESCO, 2017b; Salgado *et al.*, 2018), así como las acciones de oficinas de representación de la UNESCO en México (UNESCO, 2019a, b), la colaboración con agencias estatales como en Colombia, o bien iniciativas regionales (Servicio Geológico Colombiano, 2018b, 2019) como motores que promueven el patrimonio geológico y la geoconservación en la región.

Como nuevas tareas de agencias estatales, el acercamiento al carácter patrimonial de la geología ha fomentado la inclusión de estudios y programas sobre la materia, principalmente a través de los servicios geológicos (*e.g.*, Servicio Geológico de Colombia, Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile e Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico de Perú) con énfasis en la generación de inventarios. Destaca la iniciativa de Colombia, que

ha trabajado en líneas de geoconservación desde la década de 1990. Este avance consecutivo ha escalado en políticas públicas que han dotado al organismo de atribuciones con fines de identificación, protección y conservación del patrimonio geológico (*i.e.*, Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2018, Decreto 1353), así como en la formación de su personal que ha adaptado las metodologías preexistentes para la tarea del inventario nacional (*e.g.*, Vargas-Anaya, 2018). Para ello, el Servicio Geológico Colombiano decidió basarse en la metodología del Instituto Geológico y Minero de España (Carcavilla *et al.*, 2007; García-Cortés *et al.*, 2013), incorporando parámetros adicionales de valoración (*e.g.*, patrimonio inmaterial asociado al simbolismo, peregrinaciones, otras tradiciones culturales, etcétera). Comparativamente, en el caso de México, no se cuenta con algún marco normativo pese al número creciente de iniciativas de decreto o a la atención que han fomentado los geoparques en el país, especialmente desde el poder legislativo (v., Senado de la República, 2017, 2019).

Este escenario, de carácter previsor para la formulación de iniciativas de alcance nacional y orgánico, con futuras nuevas atribuciones asignadas probablemente a agencias gubernamentales (por ejemplo, el Servicio Geológico Mexicano, SEMARNAT, CONABIO, y otras instituciones dependientes como CONANP), demanda el análisis de metodologías de patrimonio geológico, anticipando la inclusión de la geodiversidad en políticas ambientales y de ordenamiento territorial. Tomando entonces como ejemplo los antecedentes de Colombia, la integración de una metodología podría sentar las bases para una adaptación exitosa de los marcos metodológicos sobre la geodiversidad en la reglamentación mexicana, lo cual no está exento de retos.

## 2.3. Integración de metodologías y su aplicación

Para preparar la aplicación, sin embargo, es prudente anotar y aclarar cuestiones clave. En primer lugar, las consideraciones previas que a continuación se abordan se ofrecen como un matiz de conceptos y aclaraciones desde el punto de vista teórico y práctico. En seguida, se elabora una descripción de la metodología, refiriendo los términos y ecuaciones involucradas en los cálculos de los valores científico, didáctico y turístico y riesgo de degradación. Después, se refiere brevemente la obtención de datos y procesamiento espacial de los mismos. Por último, este apartado proporciona información de los tres geositios (Prismas Basálticos, Peña del Aire, Cerro de Las Navajas) en términos de sus valores científico, didáctico y turístico, así como de su estructura de gestión. Con este panorama inicial y aplicado el estudio continúa en el Capítulo 3 con la discusión de los resultados.

### 2.3.1. Consideraciones previas

Es necesario, antes de aplicar la metodología del Servicio Geológico Colombiano adaptada del IGME, comentar algunas consideraciones de carácter conceptual y práctico en formato de cuestionario que abarca terminología, la cuestión metodológica y selección de

geositios de la Comarca Minera para su estudio.

*I. ¿Cuál es el uso del término «geositio» en el Geoparque Mundial UNESCO Comarca Minera y cuál es su diferencia con el término «lugares de interés geológico»?*

En principio, el término «geositio» se define en la literatura especializada como aquel elemento de la geodiversidad que yace en su lugar original sin haber sido removido por acción humana y que posee un alto valor científico (Wimbleton, 2011; Brilha, 2016). Comarca Minera utiliza el término «geositio» para denominar lugares con importancia geológica, histórica, cultural o biótica (*e.g.*, Convento de Epazoyucan, Reloj Monumental, Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán, Hacienda La Purísima), vinculados con la geología. El uso entonces de uno u otro término en la literatura y en proyectos no parece del todo homogéneo en sentido académico y práctico; esto no es fortuito. Como parte del proceso de institucionalización del UGGp, Du y Girault (2018) mencionan la problemática al respecto de la incorporación del patrimonio geológico y de su denominación formal, lo que puede trasladarse al caso de la terminología específica sobre el tema. El proyecto quizá más ambicioso que contemporáneamente acompañó la institucionalización del programa de geoparques fue el Global Geosites, impulsado por la IUGS, para inventariar aquellos lugares con características geológicas sobresalientes y de alto valor científico (*e.g.*, Yellowstone y Gran Cañón en Estados Unidos, Parque Nacional de Galápagos en Ecuador).

El término geositio fue utilizado desde su inicio por la importancia científica que guarda una localidad de algún elemento geológico particular. Sin embargo, con la puesta en marcha de la visión más amplia de los geoparques, Zouros (2004) y Mc Keever y Zouros (2005) resaltan el acercamiento holístico del medio con «sitios» de importancia no sólo geológica, sino arqueológica, ecológica, cultural e histórica, esto es, en un sentido que coincide con el uso del término «geopatrimonio» (*geoheritage*) y en un sentido exhaustivo sobre la gestión de la naturaleza (Brilha *et al.*, 2018). En la práctica metodológica, también, varios geoparques incorporan a su lista «geositios» con valores no exclusivamente geológicos (*e.g.*, Bohemian Paradise en República Checa, Reykjanes en Islandia, Tumbler Ridge en Canadá, Adamello Brenta en Italia y Qeshm en Irán). Así entonces, podemos reconocer a grandes rasgos dos acepciones del término «geositio». Por un lado para designar aquel elemento geológico de alto valor científico, y por el otro, para designar lugares de interés geológico, arqueológico, histórico, ecológico o cultural que guardan una relación con el medio geológico o la geodiversidad.

Dada esta circunstancia cabría preguntar el porqué de tal dicotomía, a la que Berliner y Bartolotto (2013) atribuyen a la conjunción de agentes institucionales y expertos tan diversos la que, lejos de dar una decisión uniforme y consensual, convinieron en un acercamiento vasto de valores al respecto del manejo de la naturaleza y que, coincidentemente apuntan Du y Girault (2018) también al proceso complejo de valores (naturales) asignados para el UGGp. De manera particular, tomando el ejemplo de Colombia, donde existe un proceso de formalización y atribuciones legales que recaen sobre agencias estatales, se hace la distinción entre «geotopo» y «geositio». El primero hace referencia a un “segmento o porción espacial claramente delimitada de la geoesfera, definida en vir-

tud de los valores patrimoniales geológicos o paleontológicos existentes en sus elementos integrantes o en el conjunto de los mismos”, en tanto que «geositio» es para el Estado Colombiano un “tipo especial de geotopo de interés global, donde los bienes de interés geológico y paleontológico, individualmente o en conjunto, son relevantes desde el punto de vista patrimonial geológico y paleontológico de la Nación. Los geositios constituyen por excelencia los geotopos de interés científico mundial que permiten el estudio multidisciplinario de eventos y procesos geológicos propios de la historia del planeta o de la vida; o que constituyen los registros que permiten la correlación mundial de los mismos.” (Ministerio de Minas y Energía 2018, Decreto 1353).

En el sentido práctico, algunos geoparques con vasta presencia y pioneros en tales temas (*e.g.*, Maestrazgo, España), pero también proyectos recientes (*e.g.*, Biobío, Chile) prefieren utilizar «lugar de interés geológico», así como también grupos de expertos (*i.e.*, Carcavilla *et al.*, 2007) prefieren su uso sobre «geositio». Cabe notar que frente a una temática emergente como el patrimonio geológico la terminología muchas veces se adapta desde otras lenguas que originalmente son en las que se comunicó el concepto. Al margen de esto, el término *sustainable* se convierte en el anglicismo «sustentable». Aunque en realidad el término oficial en español es «sostenible» (Real Academia Española) que es también el que incorpora la UNESCO. Tal es el caso de «geositio», que es un anglicismo de *geosite*. En proyectos de habla portuguesa se utiliza *geossítio* (*e.g.*, Araripe y Seridó en Brasil). Así entonces, tal situación se puede asignar a una cuestión semántica dado el carácter emergente en varios territorios latinoamericanos pero, también como sugieren González-Tejada *et al.* (2017), al proceso y situación ambivalente por el que atravesó y que aún permea el ámbito institucional que enmarca a proyectos e iniciativas dentro del patrimonio geológico.

Derivado del proceso de candidatura de la Comarca Minera, se optó por utilizar «geositio» en el sentido totalizador (*e.g.*, Panizza y Piacente, 2003; Zouros, 2004; Mc Keever y Zouros, 2005). El resultado fue la designación de 31 geositios divididos en geológicos, biota-ecosistemas e histórico-culturales (Canet *et al.*, 2017). La diferencia con «lugar de interés geológico» radica en el exclusivo valor científico geológico del lugar en cuestión, en tanto «geositio» es utilizado aquí en un sentido integrador. La discusión sobre su uso, alcances y homogeneidad en proyectos y grupos de trabajo puede ser un tema para su análisis en redes regionales (*e.g.*, GeoLAC), pero no es el tema central de este trabajo.

## II. ¿Por qué razón un geoparque ya establecido requeriría una valorización de su patrimonio geológico?

La puesta en valor del patrimonio de un geoparque es un proceso recurrente pues viene de la mano de la investigación activa que se realiza en su territorio, pero también de la apropiación social sobre los elementos geológicos. Los resultados de la investigación geológica, y de toda investigación asociada pueden ayudar a reinterpretar la geodiversidad del área. Incluso, con el avance científico es posible asignar o incrementar valores a algunos elementos. También, los procesos antrópicos y naturales y que tienen efecto en los procesos de degradación de la geodiversidad hacen necesario una re-valorización.

Asimismo, en función de la escala de trabajo se deduce que una valorización recurrente siempre consumirá más recursos y tiempo. Un inventario nacional, por ejemplo, debería tener una metodología concreta, con miras a aplicarse a las realidades del territorio, pero también debería considerar, en principio, una re-valorización en un tiempo futuro.

*III. ¿Un trabajo de (re)valorización requeriría de una metodología nueva? Y si no, ¿por qué elegir una preexistente?*

En general, una limitante en el trabajo es la comparación. Derivado del alto número de metodologías existentes, resalta el hecho de que los resultados entre un territorio y otro, y también entre metodologías, no son del todo coherentes. En términos concretos no existe una metodología de inventario que sea válida para todos los objetivos, lugares y escalas. La aplicación de una metodología preexistente es beneficiosa para este estudio por la homogeneidad de la valoración (científica, didáctica, turística) que ha sido aplicada con anterioridad en otros territorios previa su adaptación.

*IV. ¿Se deberían analizar todos los geositos del geoparque?*

En principio el análisis de los geositos del GCM se realizó a los geositos más emblemáticos. Esto obedeció a una cuestión de tiempo para este trabajo, así como de ejecución y de recursos. Existen, sin embargo, ventajas de trabajar con una muestra pequeña.

El GCM se compone de una red de 31 geositos que a su vez están divididos en geositos de interés geológico, biota-ecosistemas, e histórico-culturales (Canet *et al.*, 2017). Si bien la división de los geositos obedece a una catalogación del geopatrimonio derivada de la candidatura de Comarca Minera de 2015, esto no significa que todos los geositos sean exclusivamente de una categoría o de otra; es decir, una categoría no es excluyente de algún componente geológico.

### 2.3.2. Estructura de la metodología

La metodología puede aplicarse a patrimonio geológico mueble, es decir aquel que ha sido removido de su localidad original y que se encuentra en colecciones personales y de museo, galerías de exhibición, centros de investigación, etc. También, puede aplicarse para patrimonio inmueble, que se refiere al patrimonio geológico que yace en su lugar original sin haber sido removido por acción humana, por ejemplo, un afloramiento. Este trabajo está dirigido a elementos del patrimonio geológico inmueble.

A grandes rasgos, las metodologías contempladas de Carcavilla *et al.* (2007) y SGC (2018a), están organizadas de forma tal que es posible abarcar tres aspectos fundamentales del patrimonio geológico:

**(1) Catalogación.** Los parámetros aquí usados se enfocan en datos de identificación, localización, tipo de superficie (boscosa, montañosa, urbana, agrícola, etc.), marco o provincia geológica y tipo de interés científico (estratigráfico, edafológico, geomorfológico, tectónico-estructural, hidrogeológico, etc.). Su objetivo es brindar un conjunto de datos de identificación que sirvan de partida para consideraciones posteriores como la organiza-

ción del inventario, asignación del lugar a un marco geológico específico o también para consideraciones futuras respecto al uso turístico y accesibilidad.

**(2) Potencialidad de uso (científico, turístico, didáctico).** Los parámetros se enfocan en brindar información sobre el tipo de interés no geológico (*e.g.*, arquitectónico, arqueológico, etnológico, didáctico, divulgativo, estético, artístico, turístico, recreativo), así como de infraestructura existente que facilite la accesibilidad, o las condiciones de observación. Cabe notar que también el tipo de superficie, evaluado en la catalogación, tiene un impacto directo en el uso turístico, recreativo o didáctico. Si un rasgo geológico particular, por ejemplo, está en un terreno montañoso o escarpado, su uso turístico o didáctico (*i.e.*, condiciones de observación) se verá reducido debido a la ponderación en el cálculo del valor, como se especifica más adelante con las fórmulas.

**(3) Necesidad de protección/riesgo de degradación.** Los parámetros se enfocan en la valorización de población circundante, proximidad a zonas recreativas, susceptibilidad de degradación (natural y antrópica), estatus de propiedad y condiciones legales de protección existentes. Estos parámetros se enfocan en evaluar los marcos de conservación existentes y amenazas potenciales al patrimonio geológico.

La aplicación de la metodología es directa tomando como base un conocimiento previo del lugar a evaluar; es decir, la ficha de valoración debe ser llenada, por sugerencia del SGC, por un experto. Se procede a la asignación de un puntaje numérico (escalado del 0 al 4, para algunos parámetros; del 1 al 4, para otros. Ver relación de fórmulas abajo y los valores predeterminados de valoración que pueden tomar los parámetros individuales) enfocados en el valor científico ( $V_c$ ), valor didáctico ( $V_d$ ) y valor turístico ( $V_t$ ). Para el cálculo de los valores, retomando lo propuesto por García-Cortés y Carcavilla-Urquí (2013), Vargas-Anaya (2018) y el SGC (2018a) se hace uso de las siguientes fórmulas:

$$V_c = \frac{30R + 15(K + A) + 10(T + C + O + D)}{40} \quad (1)$$

$$V_d = \frac{20Cd + 15(I + Ac) + 10D + 5(R + T + C + O + A + Dp + B + E)}{40} \quad (2)$$

$$V_t = \frac{15B + 10(Cdv + Ac + F + Sb) + 5(I + O + Dp + Es + E + Ut + NH + Ptr + Z)}{40} \quad (3)$$

En donde:

<i>A</i>	Rareza	[0,1,2,4]
<i>Ac</i>	Accesibilidad	[0,1,2,4]
<i>B</i>	Belleza o espectacularidad	[0,1,2,4]
<i>C</i>	Estado de conservación	[0,1,2,4]
<i>Cd</i>	Contenido/uso didáctico	[0,1,2,4]
<i>Cdv</i>	Contenido/uso divulgativo	[0,1,2,4]
<i>D</i>	Diversidad geológica	[0,1,2,4]
<i>Dp</i>	Densidad de población	[1,2,4]
<i>E</i>	Tamaño	[0,1,2,4]
<i>Es</i>	Entorno socioeconómico	[0,1,2,4]
<i>F</i>	Fragilidad	[0,1,2,4]
<i>I</i>	Infraestructura logística	[0,1,2,4]
<i>K</i>	Grado de conocimiento científico	[0,1,2,4]
<i>NH</i>	Asociación con elementos naturales o culturales	[0,1,2,4]
<i>O</i>	Condiciones de observación	[0,1,2,4]
<i>P<sub>tr</sub></i>	Potencialidad para realizar actividades turísticas y recreativas	[0,1,2,4]
<i>R</i>	Representatividad	[0,1,2,4]
<i>S</i>	Simbolismo	[0,1,2,4]
<i>T</i>	Carácter de localidad tipo	[0,1,2,4]
<i>Ut</i>	Uso tradicional	[0,1,2,4]
<i>Z</i>	Cercanía a zonas recreativas	[0,1,2,4]

La ponderación de los parámetros, como se observa en las fórmulas, tiene el objeto de asignar mayor peso a parámetros clave como por ejemplo, representatividad (*R*) para el valor científico, contenido/uso didáctico (*Cd*) para el valor didáctico, y belleza (*B*) para el valor turístico. Un cálculo de un geosítio hipotético con puntaje “máximo” (*i.e.*, aquel cuyos parámetros de valoración son máximos de acuerdo a la metodología) genera un máximo de 10 para los valores científico, didáctico y turístico.

Por otro lado, el cálculo de la susceptibilidad de degradación natural (*S<sub>dn</sub>*) está dado por:

$$S_{dn} = E \cdot V_n = E \cdot F \cdot A_n \quad (4)$$

En donde:

<i>A<sub>n</sub></i>	Amenazas naturales	[1,5,10,20]
<i>E</i>	Tamaño del rasgo	[10/400, 6/400, 3/400, 1/400]
<i>F</i>	Fragilidad	[20,10,5,1]
<i>V<sub>n</sub></i>	Vulnerabilidad natural	[Expresado en términos de <i>E</i> , <i>F</i> y <i>A<sub>n</sub></i> ]

Respecto a la susceptibilidad de degradación antrópica (*S<sub>da</sub>*), se obtiene de la relación entre el tamaño (*E*) y la vulnerabilidad antrópica (*V<sub>a</sub>*), el cálculo está dado por:

$$Sda = E \cdot Va \quad (5)$$

En donde la vulnerabilidad antrópica ( $Va$ ) es la suma ponderada de parámetros adicionales mediante la relación:

$$Va = 25(MH + Ex) + 15Urb + 10Ac + 5(P + Pf + Ts + Dp + Z) \quad (6)$$

En donde:

$Ac$	Accesibilidad	[0,1,2,4]
$Dp$	Densidad de población	[1,2,4]
$Ex$	Vulnerabilidad al expolio	[0,1,2,4]
$MH$	Interés para la explotación minera o la captación de agua	[0,1,2,4]
$P$	Régimen de protección del lugar	[1,2,4]
$Pf$	Protección física o indirecta	[0,1,2,4]
$Ts$	Titularidad del suelo y régimen de acceso	[1,2,4]
$Urb$	Proximidad a infraestructuras	[0,1,2,4]
$Z$	Cercanía a zonas recreativas	[0,1,2,4]

Una vez calculada la vulnerabilidad antrópica se puede calcular el riesgo de degradación del rasgo por amenazas antrópicas ( $Rda$ ):

$$Rda = \frac{1}{10} \cdot ([Vc, Vd, Vt]) \cdot Sda \quad (7)$$

Al sustituir el puntaje del valor científico, didáctico o turístico en la ecuación (7), puede obtenerse una serie de cantidades de  $Rda$ , donde la máxima cantidad  $Rda$  indica el riesgo de degradación.

Como se aprecia en las ecuaciones, el riesgo de degradación y la vulnerabilidad están relacionados. Para el patrimonio geológico, Carcavilla et al. (2007) define la vulnerabilidad como la susceptibilidad de un recurso geológico a ser degradado por causas antrópicas, ya sea por el uso o titularidad del suelo, por infraestructuras asentadas en el terreno, por el interés a la explotación, entre otros. Por otro lado, el riesgo de degradación ( $Rda$ ) es la probabilidad de que un determinado rasgo geológico sea degradado (aludiendo al tipo de valor que sea utilizado en su cálculo).

Para ayudar la interpretación de los datos, la escala de cantidades siguiente se ofrece en el método y la Tabla 2.2 muestra también indicaciones a partir de los valores obtenidos:

Muy alto valor	$V \geq 6,6$
Valor alto	$3.3 \leq V < 6.5$
Valor medio	$1.3 < V < 3.3$

Tabla 2.2: Rangos numéricos de  $Rda$  y recomendaciones de conservación.

Necesidad/prioridad de protección	$Rda$
Alta (medidas de geoconservación urgentes)	$>6.66$
Media (medidas de geoconservación a corto plazo)	$3.33 \leq Rda \leq 6,66$
Baja (medidas de geoconservación a medio o largo plazo)	$1 \leq Rda \leq 3,33$
Nula (medidas de geoconservación innecesarias)	$< 1$

### 2.3.3. Procedimiento y criterios a utilizar para selección de geositios para aplicar el método

De los 31 geositios que componen el GCM, 21 son de interés geológico. La variabilidad de características geológicas, geomorfológicas, de gestión y cuidado, hacen de estos geositios muy diversos entre sí. De los 21 geositios se consideraron como emblemáticos: (1) Prismas Basálticos, (2) Peña del Aire y (3) Cerro de Las Navajas. La elección estos para este trabajo tomó como base los siguientes criterios a los que se argumenta su aportación para el cumplimiento de los objetivos de este trabajo:

*Representatividad organizacional:* los geositios elegidos para evaluar la metodología son representativos del área de estudio desde el punto de vista de gestión. Toda vez que los tres son gestionados por organizaciones ejidales. La organización de los ejidos tiene un enfoque hacia la oferta turística, principalmente, pues llevan a cabo esta práctica, por lo menos, desde 2015, con mayor desarrollo turístico unos que otros. A partir de ello, los geositios tienen un nivel de visibilidad variable, es decir, uno es más conocido por la población y los visitantes que otro y, en consecuencia, la entrada económica de los geositios es también variable. Asimismo, cada uno cuenta con una infraestructura diferente lo que lleva a generar condiciones de accesibilidad y de observación distintas.

Desde el punto de vista práctico, un geositio cuenta con un marco organizacional participativo que involucra a la comunidad local en la gestión (v. UNESCO, 2017). Si bien el gobierno local puede encargarse de la gestión de algunos geositios (*e.g.*, aquellos dentro de las áreas naturales protegidas o construcciones históricas bajo manejo actual del gobierno), la alternancia política es un factor determinante en el cambio de gestión de los sitios y, en detrimento, puede perjudicar o entorpecer la gestión de los geositios del geoparque a menos que, dadas las alianzas formadas, exista un intercesor (*i.e.*, organización gestada desde la sociedad civil) que vele por el cuidado de acciones. Este criterio, además, ayuda a elegir aquellos sitios manejados por la comunidad a través, por ejemplo, de un ejido, lo que tiene especial relevancia para aportar elementos relativos a la resiliencia pues un geositio gestionado por un ejido es la primer área vulnerable en términos de riesgos geológicos, servicios geosistémicos asociados a su entorno geológico y visibilidad lo que lleva a demanda turística, accesibilidad para llevar a cabo actividades de campo y excursiones con fines didácticos, entre otros.

*Grado de conocimiento de los geositios:* cada geositio cuenta con un grado de conocimiento alto derivado de su contexto geológico en el que se enmarca, recogido en investigaciones publicadas en revistas indexadas o de carácter histórico, así como de reportes técnicos u otras publicaciones. Por el contrario, el hecho de que no haya un grado alto de conocimiento de la geología de un lugar, significa que en términos de investigación no se cuenta con las bases suficientes para abordar la metodología por lo siguiente: (1) se desconoce el contexto geológico al que pertenece o su edad; (2) no se tiene una idea del papel del rasgo geológico en cuestión y, en consecuencia, podría ser una característica de un proceso asociado que sea más representativo o cuente con mayor valor científico que el primero. Claro está que el conocimiento completo del proceso geológico es un estado que difícilmente puede alcanzarse puesto que al tener un valor científico, significa que es un referente a partir del cual pueden practicarse investigaciones, poner a prueba hipótesis de trabajo, abordar líneas de investigación de frontera, elaborar correlaciones con otros procesos o elementos geológicos de otras áreas. El grado de conocimiento alto no significa que se tenga un conocimiento completo de un geositio, sino que se cuenta con un conjunto de investigaciones científicas (*e.g.*, de carácter geológico, arqueológico, histórico) que abarcan un acercamiento multidisciplinar sobre el fenómeno de estudio; este marco de alto grado de conocimiento puede evitar omitir información valiosa para consideraciones posteriores a la aplicación de la metodología (importancia histórica, simbolismo, usos y costumbres relacionadas al rasgo). Así entonces, este criterio contribuye al cumplimiento de los objetivos de este trabajo al enfocarse en el valor científico de los geositios, y ayuda a reconocer su vínculo con los servicios geosistémicos, otros tipos de interés, como los culturales o históricos que ayuden a establecer una definición de geopatrimonio en la Comarca Minera.

*Tipo de valor:* tomando en cuenta el tipo de valor (científico, histórico, arqueológico, económico), se seleccionaron los geositios que tuvieran un alto valor científico, pero también otros derivados de características distintas (*e.g.*, interés cultural, como se mencionó anteriormente en grado de conocimiento). Extendiendo el detalle del criterio anterior, el tipo de valor como criterio de selección de geositios contribuyó a reconocer el vínculo que puede establecerse entre el patrimonio geológico y valores diferentes del científico para marcar contrastes que puedan ayudar a la conservación de algún tipo de valor sobre el patrimonio geológico, lo cual es un tema de interés en las discusiones de geoconservación y minería.

*Figura de protección asociada o riesgo de degradación:* es decir, aquellos geositios que cuentan con una figura legal de protección. Partiendo del hecho de que el estatus legal que tiene el GCM es nulo, se tomaron en consideración aquellos geositios que tienen grados de protección distintos. También, se tomaron en cuenta aquellos geositios que registran un alto riesgo de degradación derivado de agentes ambientales como la erosión o factores antrópicos. Este criterio tiene un enfoque hacia la geoconservación y hacia los servicios geosistémicos, lo que contribuye a los objetivos de este trabajo. También, las

diferencias entre las figuras de protección entre geositios es un referente en temas de los valores de la geodiversidad y su rol en la resiliencia, pues la reglamentación de las áreas naturales protegidas, por ejemplo, reconocen una zonación en donde se toma el rol de las comunidades en la conservación, generalmente de la biodiversidad, pero también sobre aprovechamiento de los recursos naturales, muchos de ellos sobre los recursos geológicos de sus áreas, siguiendo las pautas que para ello establece la ley.

Estos criterios de selección ayudaron a elegir geositios con una conjunción de valores científicos, didácticos y turísticos sobre el patrimonio geológico y permitieron poner en un marco comparativo geositios con retos de geoconservación, involucramiento de la comunidad y resiliencia. Acercamientos didácticos y publicaciones científicas sobre estos lugares pueden consultarse en Cruz-Pérez *et al.* (2018a), Cruz-Pérez *et al.* (2019), García-Vallès *et al.* (2019), Alcalá *et al.* (2019) y Morelos-Rodríguez *et al.* (2019).

Con base en lo anterior, la aplicación del método se llevó a cabo como sigue:

- Se realizaron visitas de campo a los geositios para toma de datos espaciales y un registro fotográfico.
- Se modificó la cartografía de Canet (*et al.*, 2017) para la integración de nuevos datos vectoriales abiertos del Registro Agrario Nacional, específicamente para datos geográficos perimetrales de los núcleos agrarios certificados para el Estado de Hidalgo, en su actualización para diciembre de 2019 (RAN, 2019). Este apartado se realizó en QGIS Lyon versión 2.12.0.
- Se elaboró una tabla de valoración para los tres geositios seleccionados en donde se llevó a cabo el cálculo de los parámetros que establece el método del IGME-SGC (v. Anexo). El cálculo de los parámetros se basa en las ecuaciones en este capítulo (2.3.2. Estructura de la metodología). También, en el Anexo de este trabajo se ofrece una serie de comentarios sobre cada parámetro para cada geositio estudiado. Datos sobre el rezago social, que permitieron una valoración del parámetro «entorno socioeconómico» se basaron en la valoración de CONEVAL (2015). Con esto se obtuvo una valoración sobre una escala de 10 para los valores científico, didáctico y turístico de cada geositio. La valoración máxima de cada uno fue utilizada para el cálculo del riesgo de degradación antrópica, de acuerdo a las ecuaciones del método del IGME-SGC.
- Se elaboró una tabla resumen para cada geositio que condensa información geográfica (ubicación, coordenadas), del tipo de valor sobre el patrimonio geológico, así como comentarios generales sobre el geositio.

## 2.4. Tipos de valor en los geositios seleccionados

A continuación se elabora una descripción de los valores científico, didáctico y turístico sobre los Prismas Basálticos, Peña del Aire y Cerro de Las Navajas que dan un recuento del grado de conocimiento geológico (científico) de éstos, del vínculo del patrimonio

geológico con otros valores, y de las figuras de protección asociadas, cuando aplica. Un apartado sobre el tipo de gestión y manejo de estos geositios se ofrece al final de cada apartado. Este abordaje, permite justificar la valoración de cada parámetro en el método del IGME-SGC y permitirá más adelante en este trabajo discutir los resultados bajo un enfoque integral.

## Prismas Basálticos

### *Geología - valor científico*

La unidad geológica que incluye a los basaltos columnares pertenece a los eventos eruptivos pliocénicos del área (2.5 Ma) y son los más recientes de la región (Sánchez-Rojas y Osorio-Pérez, 2008). Los basaltos columnares son mejor apreciados en el municipio de Huasca de Ocampo, que corresponde con la zona norte-central de la FVTM y cuya expresión en el relieve es una meseta basáltica en el área de Huasca de Ocampo y Atotonilco El Grande. A esta expresión geomorfológica contrasta el relieve accidentado de la Sierra de Pachuca al sur (Canet *et al.*, 2017). Dado el carácter eruptivo basáltico del área y a la asociación espacio-temporal que guarda con el vulcanismo riolítico del Cerro de Las Navajas el vulcanismo es de tipo bimodal (Martínez-Serrano, 2018). No se tiene una estimación del espesor de la unidad basáltica, pero en las barrancas de Alcholoaya y de Regla se aprecia que tiene, al menos, 40 metros de espesor. El proceso de disyunción columnar es más apreciable (*i.e.*, mejores condiciones de observación) en el centro turístico Prismas Basálticos (Figura 2.1). A esto hay que agregar que hacia el norte también es posible ver el proceso de disyunción, por ejemplo, en las inmediaciones de la barranca de Aguacatitla (Figura 2.2) y de Peña del Aire, a 3 y 15 km del geositio, respectivamente.

La disyunción es el factor más notable de estas rocas y es resultado de un proceso físico derivado de la pérdida de calor y solidificación de un cuerpo de lava (contracción térmica). Como proceso geológico, la disyunción columnar no es exclusiva de cuerpos basálticos y existen ejemplos de esto en otras rocas y modos de emplazamiento (*e.g.*, las rocas riolíticas de High Island, Hong Kong; de composición intermedia como en Devils Tower, Estados Unidos) y en rocas sedimentarias) (v. Blackstone, 1963; Spletstoeser y Jirsa, 1985; Wright *et al.* 2011;). El proceso físico inherente a la disyunción se puede abordar conjuntamente desde el punto de vista termodinámico (pérdida de calor mediante enfriamiento y respuesta térmica del cuerpo de lava) y mecánico (solidificación; formación y propagación de fracturas). Así, un cuerpo de lava, extruido a la superficie —tomando el ejemplo de un cuerpo basáltico que tiene baja viscosidad ( $10 - 10^3$  Pa·s), bajo contenido de volátiles, y que se desplaza por la superficie del terreno sobre un relieve preexistente— tiene dos frentes de enfriamiento y solidificación, uno superior y otro inferior. Ambos frentes se pueden enfriar y solidificar a tasas distintas. Derrames basálticos, por ejemplo, los extruidos del volcán Xitle en la Ciudad de México, no exhiben formación de disyunción columnar, al menos, en las dimensiones macroscópicas a las observadas en Huasca de Ocampo. El modelo de DeGraff y Aydin (1987) y DeGraff *et al.* (1989), no obstante, permite comentar algunas cuestiones sobre el caso de los prismas basálticos, enlazar algunos puntos y anotar otras cuestiones.



Figura 2.1: Localidad de Prismas Basálticos en el centro turístico del mismo nombre. Gestionado por el ejido de Regla, Huasca de Ocampo. Fotografía: Miguel Cruz.

Un derrame de lava no se enfría de manera homogénea, puesto que los bordes tienen mayor área de exposición al ambiente. Este escenario permite la creación de una costra en la parte superficial del derrame y en los bordes y que es posible apreciar en flujos activos (*e.g.*, Kilauea, en Hawaii). De esta forma, en tanto la costra del derrame va engrosando, el interior del derrame continúa más caliente y líquido. El agrietamiento, sin embargo, va tomando cierta regularidad y forma poco a poco un patrón más regular (secciones poligonales). La pronunciación de las grietas regulares y su penetración al interior del derrame está en función de cómo se enfría la lava; DeGraff *et al.* (1989) apuntan al papel del agua (líquida o hielo; Tuffen *et al.*, 2001) como un factor externo clave para la contracción térmica y el avance en profundidad de estas juntas o grietas a lo que habría que agregar la presencia de una asociación sedimento-lava (*i.e.*, peperitas) para corroborar la interacción entre estos procesos.

El enfriamiento puede darse en un régimen conductivo, o convectivo y ambos procesos pueden ocurrir a tasas distintas en ambos frentes del flujo de lava (superior e inferior). Así, la disyunción avanza de superficies en enfriamiento hacia el interior del derrame por lo que las columnas pueden formarse tanto desde la superficie hacia abajo como desde la base hacia el interior. En la superficie, las juntas o grietas, no obstante, una vez formadas en un patrón regular en la superficie, no avanzan de forma continua verticalmente hacia abajo sino más bien a través de “saltos” o “disparos” desarrollados ortogonalmente al máximo gradiente (Budkewitsch y Robin, 1994), dejando tras de sí estrías de contracción en la sección poligonal y en las caras de cada columna. Este fenómeno es observable



Figura 2.2: Disyunción columnar en las inmediaciones de la barranca de Aguacatitla, al norte del centro turístico Prismas Basálticos. Se aprecia la estructura superior (entablatura), de aspecto masivo, y la inferior (colonada) que ya describe Tomkeieff (1940) en el primer trabajo formal para la Calzada del Gigante (Giant's Causeway) en Irlanda. Fotografía: Miguel Cruz.



Figura 2.3: Estructuras de abanico en la unidad basáltica de Prismas Basálticos, en las inmediaciones de la localidad de Apipilhuasco, al NW de Atotonilco El Grande, sugieren interacción con un medio acuoso de acuerdo al modelo de De Graff *et al.* (1989) y en concordancia con el modelo de Arellano-Gil *et al.* (2005) para el paleolago de Amajac. Fotografía: Miguel Cruz.

como secciones ortogonales a las caras de las columnas espaciadas entre sí a distancias regulares. El encuentro de los frentes de solidificación superior e inferior, y de las columnas asociadas, de acuerdo con DeGraff *et al.* (1989), permite establecer el escenario particular

sobre la disyunción y sobre el régimen convectivo o conductivo que dominó el proceso de enfriamiento.

Con este modelo conceptual y teórico que describe la disyunción se puede comentar que el derrame que formó los prismas basálticos de Huasca de Ocampo tuvo dos frentes de enfriamiento principales, uno superior y otro inferior y cada uno bajo regímenes de enfriamiento y contracción térmica no necesariamente iguales, pues el frente superior estuvo sometido a condiciones ambientales, muy probablemente agua, como lo indican las secuencias lacustres de Amajac (v. Arellano-Gil *et al.*, 2005) y la formación de abanicos en los flujos de lava en secciones adyacentes o cercanas (hacia la localidad de Los Reyes, en Atotonilco el Grande (Figura 2.3), o en la porción adyacente a la hacienda de Santa María Regla). Y es que el efecto del agua, al entrar en contacto con la lava, modifica las isotermas de forma que las fracturas siguen formándose ortogonales al gradiente (DeGraff *et al.*, 1989), modificado por la entrada (quizá constante) de agua líquida como, por ejemplo, en un lago. Así, en conjunto con la evidencia estratigráfica del paleo-lago de Amajac y la morfología en abanico de secciones basálticas adyacentes sugieren que el contexto de formación de los prismas basálticos de Huasca de Ocampo estuvo influenciado por un lago. La disyunción columnar como evidencia de la presencia de agua ha sido usada como criterio geológico en exploración planetaria (*cf.* Milazzo *et al.*, 2009). A esta conceptualización sobre la disyunción columnar existen contribuciones más recientes con base en trabajos experimentales de Lamur *et al.* (2018) que asocian la disyunción con un estado sólido en regímenes de temperatura altos. A pesar de la cantidad de descripciones y trabajos experimentales realizados sobre el tema, el dilema de la formación de las columnas tiene muchas interrogantes pero ello no desmerece el valor científico del geositio. En conjunto, la confluencia de ideas y debates sobre la disyunción columnar, con aplicaciones en los Prismas Basálticos y Aguacatitla, muestran una relatoría sobre el desarrollo del conocimiento científico y son ejemplo de un proceso activo que sobre el medio geológico mantiene en constante debate e intercambio de ideas la comunidad de las Ciencias de la Tierra.

### ***Otros valores asociados***

El lugar cuenta con un importante trasfondo histórico, particularmente, del siglo XIX, tiempo en que fue visitado y descrito por Alexander von Humboldt (1769–1859) y Aimé Bonpland (1773–1858) (Figura 2.4). El siglo XIX marca un importante periodo para las ciencias en México, pues describe el proceso de la institucionalización de las ciencias (Escamilla-González y Morelos-Rodríguez, 2017). Las nascentes ciencias geológicas habían llegado a un debate al respecto del origen del basalto: la pugna plutonista vs. neptunista. Por un lado, la escuela de pensamiento fundada por Abraham G. Werner (1749–1817) defendía un origen acuoso para el basalto, argumentando que a partir de un océano primigenio había tomado lugar una precipitación de componentes dando origen al basalto, que era observado en las porciones superiores del relieve; las relaciones estratigráficas de “capas” de basalto en la superficie, argüían, era producto de una erosión profunda. También, en un sentido pro-evangelista, la teoría del origen volcánico (ígneo) fue refutada desde sus inicios (*e.g.*, en County Antrim, Irlanda, por el académico William Richardson

quien vivió a finales del siglo XIX). Del lado plutonista, la escuela de pensamiento fundada por James Hutton (1726–1797), defendía un origen ígneo para el basalto, argumentando que la falta de rasgos topográficos cónicos en los parajes con rocas basálticas se debían a la erosión, un problema aún no resuelto en aquel entonces. Es curioso notar, sin embargo, que la noción del “tiempo profundo” limitaba la aceptación de niveles de erosión vastos en el relieve de forma que todo rasgo morfológico (*i.e.*, cónico) hubiera sido borrado. Así entonces, derivado de amplias discusiones hechas a través de observaciones de campo, mineralógicas, experimentales, en la década de 1820 ya era aceptado entre la comunidad de geólogos que el basalto era indiscutiblemente de origen ígneo. Se refiere al lector a la obra de Young (2003) para un amplio estudio histórico acerca de este debate.



Figura 2.4: Alexander von Humboldt (1769–1859). Archivo Histórico del Palacio de Minería. Fotografía: Héctor Pineda.

Es así que para el tiempo de las exploraciones de Humboldt en México, 1803 concretamente para sus exploraciones en el actual estado de Hidalgo, el debate referido continuaba. Humboldt era graduado de la Escuela de Minas de Freiberg, fundada por Werner; por tanto había sido formado bajo la teoría neptunista. Bajo estos hechos, es posible vincular las descripciones que sobre los basaltos de Santa María Regla hizo Humboldt bajo una visión neptunista y asignar un valor histórico al sitio, pues el estudio y descripción sistemática por parte de Humboldt constituye el marco de las nacientes ciencias geológicas en uno de sus puntos más clave.

El valor cultural del sitio también es referido, por ejemplo, en la obra de Johann Moritz Rugendas (1802–1858), quien pintó la obra “La cascada y los prismas basálticos de Santa María Regla” hacia 1832 (Figura 2.5) así como Las Monjas de Atotonilco. Junto a Rugendas se encontraba también François Mathurin Adalbert quien también capturó el sitio en su pintura titulada “Retrato de Rugendas en los prismas basálticos de la hacienda Santa María Regla”.



Figura 2.5: La cascada y los basaltos de Regla (Der wasserfall in der Basaltschlucht von Regla). Johan Moritz Rugendas, 1832. Pablo Diener Ojeda, Rugendas:Imágenes de México. Exposición Museo Nacional de Historia, Castillo de Chapultepec, México, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, INAH, Museo Nacional de Historia, 1994, p. 81.

### *Gestión y manejo*

Este geositio cuenta con una organización ejidal (Ejido de Santa María Regla) para su gestión y manejo (Figura 2.6). Cuenta con un nivel organizacional dividido en comisiones encargadas de los servicios de alimentos, hospedaje, limpieza, seguridad, accesos y otros servicios recreativos (Figura 2.7). El área no tiene ningún estatus legal de conservación por los valores geológicos aunque colinda con la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán y de hecho se ubica en su zona de influencia. El ejido de Regla cuenta ante el Registro Agrario Nacional con tres polígonos que colindan con la barranca de Regla desde donde se pueden observar los Prismas Basálticos y en donde hay infraestructura para recibir visitantes (acceso, estacionamiento, servicios de hospedaje, restaurantes, etc.).

La infraestructura, que permite un amplio número de visitantes al sitio, y las condiciones naturales permiten identificar dos factores de degradación de los prismas: uno antrópico y otro natural: (1) por un lado, la Presa San Antonio, que colinda al sur, y que drena el agua hacia el norte sobre la Barranca de Regla. La humedad favorece el desarrollo de plantas, la meteorización y acentúa el fracturamiento en las columnas, lo que contribuye a la erosión. La acción biogénica genera desarrollo de raíces y la apertura de fracturas sobre las discontinuidades originales entre columnas basálticas; y (2) degradación de tipo antrópico generada por la afluencia turística estimada en 500 mil visitantes al año —es el geositio con más visitantes en el geoparque— según datos del ejido (Figura 2.8). La Tabla 2 resume las particularidades de Prismas Basálticos para los fines de este trabajo.

Tabla 2.3: Resumen informativo de Prismas Basálticos.

Característica	Detalle
<b>Ubicación</b>	Huasca de Ocampo, Hidalgo, México
<b>Coordenadas</b>	20°14'04.2" N 98°33'43.8" W
<b>Superficie</b>	33.63 Ha
<b>Elevación</b>	2045 msnm
<b>Tipo de gestión</b>	Ejidal, Santa María Regla
<b>Breve descripción</b>	Unidad basáltica plio-pleistocénica con disyunción columnar. La disyunción es observable en la barranca de Regla, así como en las inmediaciones de Aguacatitla, en donde existen condiciones de observación limitadas debido a la accesibilidad y a la infraestructura logística. Lugar emblemático para el municipio de Huasca de Ocampo y para el estado de Hidalgo.
<b>Valor científico - geológico</b>	Volcánico, estratigráfico, geomorfológico. Valor = <b>8.375</b>
<b>Interés no geológico</b>	Histórico
<b>Valor didáctico</b>	Ejemplo único en el dominio geológico —y en México— para explicar aspectos relacionados con la disyunción columnar, así como su relación con el desarrollo de las ciencias geológicas. Valor = <b>9.5</b>
<b>Valor turístico</b>	Excelentes condiciones de observación en la barranca y en las inmediaciones de ella. Valor = <b>8.625</b>
<b>Tipo de protección</b>	Ejidal
<b>Amenazas al patrimonio geológico</b>	Naturales: intemperismo biológico, erosión. Antrópicas: infraestructuras cercanas.
<b>Comentario</b>	El Registro Agrario Nacional no muestra información sobre el estatus de la barranca de Regla que, como se observa en la Figura 2.7, se encuentra entre los polígonos ejidales de Regla R1 y R3. La disyunción columnar continúa fuera del ejido de Regla, quien gestiona el sitio, y también puede observarse en las inmediaciones de la barranca de Aguacatitla, ya dentro de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán.

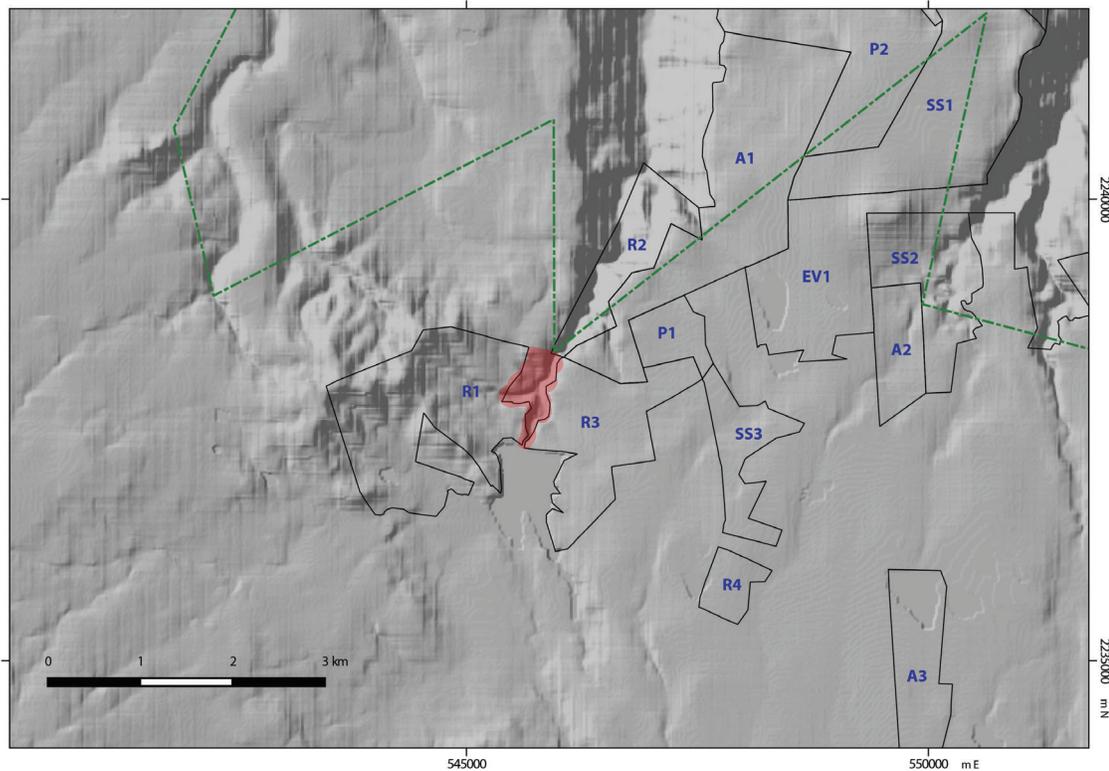


Figura 2.6: Modelo digital de elevación de la zona de Regla. Se aprecian los polígonos ejidales de Aguacatitla (A1, A2, A3), El Vite (EV1), Regla (R1, R2, R3, R4), San Sebastián (SS1, SS2, SS3) y Palmillas (P1, P2). En rojo se remarca el área de la barranca de Regla, lugar de los Prismas Basálticos. En línea verde punteada se indica el área de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán.

## Peña del Aire

### *Geología - valor científico*

El lugar se ubica en los bordes de una meseta volcánica (Figura 2.9) que se extiende en la zona norte del GCM (municipios de Huasca de Ocampo y Atotonilco El Grande), constituida por una secuencia extrusiva de edad Plioceno-Pleistoceno (Canet *et al.*, 2017). La continuidad de la secuencia hacia el sur permite indicar que es la misma unidad de Prismas Basálticos, aunque en Peña del Aire no existe disyunción columnar. El borde de la planicie termina abruptamente por una incisión producto de la barranca de Metztitlán. La barranca sigue una orientación de fallas NW-SE y expone en sus paredes la secuencia volcanoestratigráfica (Figura 2.10). En la parte baja, hacia el río Venados, se exponen secuencias sedimentarias marinas del Cretácico, deformadas durante la conformación del CMPF (Fitz-Díaz y Hernández-Vergara, 2018). Es entonces la confluencia de secuencias del CMPF y de la FVTM un rasgo clave para el valor científico del lugar. La orogenia, por un lado, que produjo el CMPF o Sierra Madre Oriental, es un proceso indispensable



Figura 2.7: Infraestructura logística y condiciones de observación en Prismas Basálticos. Fotografía: Miguel Cruz.



Figura 2.8: Infraestructura logística y servicios turísticos ofrecidos en Prismas Basálticos. Fotografía: Miguel Cruz.

para la conformación continental de México y es un punto de referencia para el estudio de tectónica y deformación de coberturas sedimentarias, por ejemplo, para la comprensión del origen y evolución de la cordillera norteamericana en su porción sur (Hildebrand, 2013). El rompecabezas que supone el origen y la historia de la deformación del CMPF tiene no pocos retos abordados, por ejemplo, en la datación de illita intraformacional mediante Ar-Ar (Fitz-Díaz y van der Pluijm, 2013) que ayuda a establecer los tiempos o pulsos de la deformación a lo largo de la provincia.

La expresión local del CMPF en la porción norte del geoparque, expuesta en las partes bajas de la barranca de Metztlán, corresponde a uno de los pulsos de la deformación del cinturón. Fitz-Díaz *et al.*, (2018) reportan varios episodios de deformación, posteriores al cierre de la cuenca de Arperos, para la parte central del CMPF, que van de 93-80 Ma, 75-64 Ma y 55-43 Ma.



Figura 2.9: Planicie basáltica en las inmediaciones de Peña del Aire, relieve que contrasta con las elevaciones de la Sierra de Pachuca, al sur, y con la incisión de la barranca, al norte. La unidad basáltica como generadora de relieve (planicie) tiene un factor clave en la diversidad geológica del área, así como de base para el desarrollo de vegetación de la reserva de la biosfera Barranca de Metztlán. En la foto se observa una población local de huizache (*Acacia sp.*). Fotografía: Miguel Cruz.

La creación de relieve que supuso la elevación y deformación de secuencias marinas para alcanzar elevaciones, por encima del nivel del mar, de 3 mil metros cuando menos, tuvo un papel clave para la generación de petróleo en el Golfo de México al aportar sedimentos que depositados en el fondo marino actuarían como rocas trampa una vez llevado a cabo el proceso diagenético (*e.g.*, la erosión de las secuencias clásticas promovió la generación de trampas petroleras en la cuenca de Burgos o en el sistema de Chicontepec). Asimismo, la elevación topográfica repercute en la disminución de la temperatura de las masas de aire y en la precipitación pluvial (*i.e.*, efectos sobre el clima), pero también, el fraccionamiento isotópico de H y O en agua meteórica da pie para la estimación de paleoaltimetrías (v. Aguilar-Ramírez *et al.*, 2017), con ejemplos de dicho cálculo en los Andes, en la Sierra Nevada (California, E.U.A.), en los Alpes y en los Himalayas (Mulch y Chamberlain, 2007), por mencionar algunos.

Sobreyace de forma discordante a las secuencias del CMPF, en el sitio, una secuencia piroclástica que contiene fragmentos de obsidiana verde y ceniza (Sánchez-Rojas y Osorio-Pérez, 2008), seguida de una unidad de basalto que se correlaciona con los Prismas Basálticos. El contacto concordante y la edad entre el vulcanismo de 2.5 Ma y los eventos eruptivos del Cerro de Las Navajas apoya la idea de un vulcanismo contemporáneo y de

composición básica, por un lado, y silícica, por el otro (Martínez-Serrano, 2018). La ausencia de disyunción columnar en la unidad basáltica expuesta en Peña del Aire no se ha explicado, pero su ausencia es congruente con la cartografía de Arellano-Gil *et al.* (2005), quienes reportan el paleolago de Amajac hacia el sur, en las inmediaciones de las pendientes norte de la Sierra de Pachuca en tiempos de máxima inundación. Por otro lado, la misma unidad basáltica exhibe un fuerte patrón en abanico, como los reportados en colonadas y relacionadas con disyunción, frente a la presencia de agua. Una cartografía y un trabajo estratigráfico detallado de las inmediaciones de Apipilhuasco, camino a la comunidad de Los Reyes, al NE de Atotonilco el Grande, así como de la sección infrayacente de la unidad basáltica permitirán arrojar más luz a estas interrogantes.

El rasgo geológico que da nombre al sitio es la Peña del Aire (Figura 2.11), un cuerpo fragmentado de basalto que ha sido afectado por la erosión generando un peñasco irregular sobre la margen sur de la barranca. La particular disposición del peñasco, en activa erosión, es un ejemplo de los procesos geológicos que han moldeado, en parte, la barranca. Es posible apreciar pequeñas peñas similares en proceso de formación en las paredes verticales de la barranca.

### ***Otros valores asociados***

Peña del Aire se ubica dentro de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, decretada en 2000 por el programa MAB de UNESCO, que también cuenta con designación de sitio Ramsar (Laguna de Metztitlán, hacia el NW, fuera de los límites del GCM). El nombramiento como Reserva de la Biosfera es derivado de la biodiversidad de especies de flora y fauna que en ella se encuentran. De la ficha catalográfica CONANP (2019) se desprende que las especies representativas corresponden a mezquite (*Prosopis laevigata*), nopal (*Opuntia sp.*), cactus viejito (*Cephalocereus senilis*), acacia (*Acacia sp.*), colubrina (*Colubrina ehrenbergii*), hinchador (*Pseudosmodium andrieuxii*) y cactus candelabro pitayo (*Isolatocereus dumortieri*). Respecto a la fauna, la reserva cuenta con especies de zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), zorrillo listado del sur (*Mephitis macroura*), cacomixtle (*Bassariscus astutus*), cernícalo (*Falco sparverius*), pedrete corona negra (*Nycticorax nycticorax*), zopilote (*Cathartes aura*), coyote (*Canis latrans*), aguililla cola roja (*Buteo jamaicensis*), garza blanca (*Ardea alba*) y la especie microendémica carpa veracruzana (*Dionda ipni*). Similarmente, la designación como sitio Ramsar a la laguna se atribuye por su relevancia como humedal de importancia mundial. No obstante, es necesario notar que la designación Ramsar se encuentra fuera del área del geoparque, en el municipio de Metztitlán.

### ***Gestión y manejo***

Este geosítio cuenta con una organización ejidal (Ejido de San Sebastián). El ejido cuenta ante el Registro Agrario Nacional con tres polígonos para uso de asentamientos humanos y para la organización del “Centro Ecoturístico Mirador Peña del Aire”, el cual es un polígono que bordea las barrancas cercanas y de Metztitlán (Figura 2.12). A través del ejido la gente local se organiza en tareas asociadas al acceso de visitantes, alimen-



Figura 2.10: Pared sur de la barranca de Metztlán, en Peña del Aire. Las paredes de la barranca permiten la observación de las secuencias volcánicas plio-pleistocénicas. También, es posible apreciar procesos activos de erosión como los que generan Peña del Aire, ejemplificado en esta foto como un estadio temprano de desgarre de la pared vertical que ya permite distinguir una futura peña en formación. En las paredes verticales del cañón, además, habita el zopilote (*Cathartes aura*), especie característica de la reserva. Fotografía: Miguel Cruz.

tos, seguridad y otros servicios recreativos. Algunos locales cuentan con certificación de guardaparque por parte de la reserva. El ejido de San Sebastián, junto con el ejido de Aguacatitla, son los primeros ejemplos en México que cuentan con dos certificaciones UNESCO, una otorgada por el programa MAB y la otra por el IGGP.

No se tiene un dato del número de visitantes anuales. La infraestructura logística con que cuenta el área está compuesta por una serie rudimentaria de miradores que rodean los cañones colindantes. La señalización aún es precaria pero cuenta con participación activa de la comunidad, quien da mantenimiento a los accesos, a la señalética y mejora la visibilidad del lugar en apego a sus recursos. La Peña del Aire, curiosamente, se encuentra fuera del polígono del ejido, pero debido a las condiciones de observación esto no supone



Figura 2.11: Peña del Aire, en el lindero sur de la barranca de Metztlán, sobreyace a una secuencia piroclástica y a secuencias del Cretácico, mejor apreciadas en la barranca de Aguacatitla, al sur. En último plano, abajo, el sistema fluvial del río Venados (o Tulancingo). Fotografía: Miguel Cruz.

un problema para el visitante. Sí representa, en estricto sentido, una limitante para la observación directa de la estratigrafía local, pues se requiere de un acercamiento a la peña con objeto de realizar observaciones. En la práctica, sin embargo, el descenso por un sendero cercano permite el acceso a la base de la peña para observar las secuencias infrayacentes. La Tabla 2.3 muestra un resumen de este geosítio.

### **Cerro de Las Navajas**

#### ***Geología - valor científico***

El geosítio del Cerro de Las Navajas (o simplemente Las Navajas para efectos de este estudio), se ubica en el municipio de Epazoyucan, hacia el extremo oriental de la Sierra de Pachuca. Normalmente recibe también el nombre de Sierra de Las Navajas en algunos

Tabla 2.4: Resumen informativo de Peña del Aire.

Característica	Detalle
Ubicación	Huasca de Ocampo, Hidalgo, México
Coordenadas	20°16'42.1" N 98°31'06.7" W
Superficie	3.05 km <sup>2</sup>
Elevación	2030 msnm
Tipo de gestión	Ejidal, San Sebastián
Breve descripción	Unidad basáltica plio-pleistocénica (misma que en Prismas Basálticos) que conforma las paredes de la barranca de Metztlán. El rasgo erosivo Peña del Aire es el más icónico del lugar y refleja procesos activos de erosión que pueden observarse en otros puntos de la barranca en menor escala.
Valor científico - geológico	Volcánico, estratigráfico, geomorfológico, paleogeográfico. Valor = <b>5.75</b>
Interés no geológico	Cielo oscuro, biota, ecosistemas, cultural (patrimonio intangible).
Valor didáctico	Las condiciones de observación ilustran estratigrafía volcánica, procesos erosivos, dinámica fluvial, geomorfología y paleogeografía. Valor = <b>8.125</b>
Valor turístico	Excelentes condiciones de observación de aspectos ecológicos y geológicos. Alto valor estético (paisajístico). Paisaje cultural. Valor = <b>7.25</b>
Tipo de protección	Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán
Amenazas al patrimonio geológico	Naturales: intemperismo biológico, erosión. Antrópicas: iluminación e infraestructuras cercanas (mínimas).
Comentario	El polígono ejidal de San Sebastián (SS1) no incluye la Peña del Aire, pero esto constituye un ejemplo del traslado del valor por medio del punto de observación, por ejemplo, en los bordes de la barranca, dentro del polígono ejidal. Similarmente ocurre lo mismo con el ejido de Aguacatitla, desde donde se pueden observar otras localidades de disyunción columnar, al norte de Prismas Basálticos.

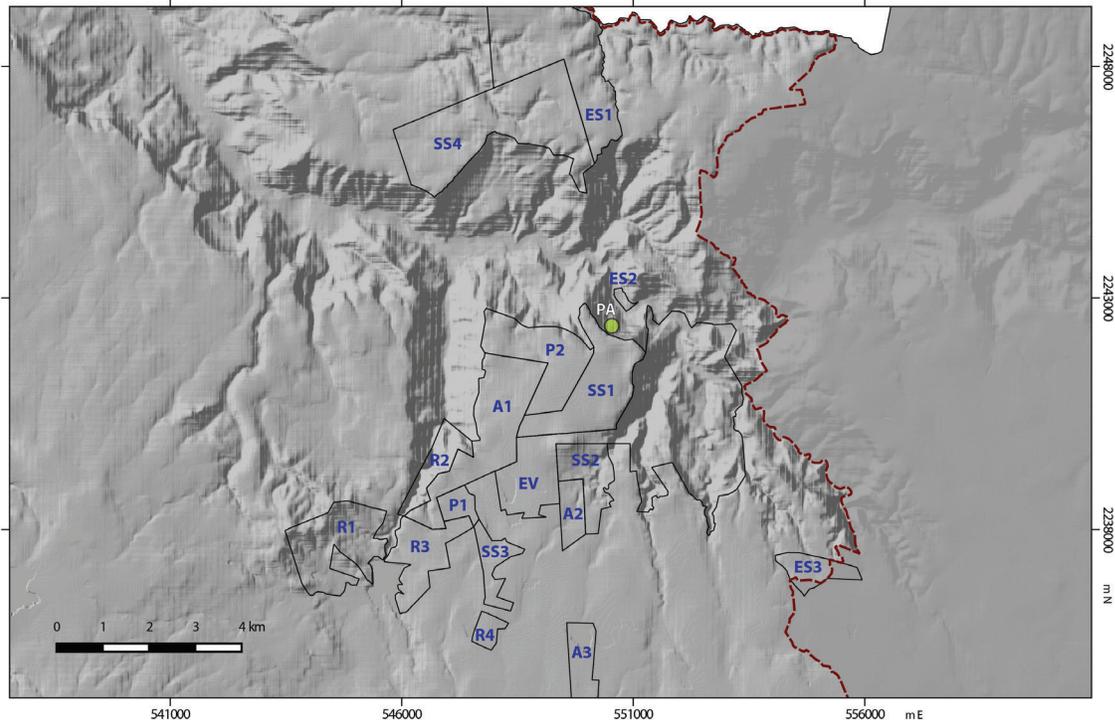


Figura 2.12: Modelo digital de elevación de las inmediaciones de Peña del Aire. Se muestran los polígonos ejidales de Aguacatitla (A1, A2, A3), El Vite (EV), El Suchil (ES1, ES2, ES3), Palmillas (P1, P2), San Sebastián (SS1, SS2, SS3, SS4), Regla (R1, R2, R3, R4). El punto PA marca la ubicación de Peña del Aire.

trabajos académicos. El Cerro de Las Navajas es un estratovolcán de edad Plioceno tardío de 12 km (en la base) y aproximadamente 1000 m de altura, la cima tiene una elevación de 3212 m sobre el nivel del mar. Su ubicación en el GCM, hacia la parte centro-sur, destaca por su morfología erosionada. Representa una de las expresiones más orientales de vulcanismo peralcalino plio-pleistocénico de la FVTM (Cantagrel y Robin, 1979; Nelson y Lighthart, 1997; Martínez-Serrano, 2018). La historia eruptiva del Cerro de Las Navajas consiste en: (1) flujos riolíticos y domos, flujos piroclásticos de edad 2.4-2.6 Ma (Nelson y Lighthart, 1997), asociados a un escenario de precolapso del sector norte del volcán y (2) vulcanismo explosivo que generó depósitos piroclásticos y de avalancha, dirigidos hacia el norte, asociados con un escenario poscolapso.

Contemporáneamente al vulcanismo de Las Navajas existe uno de tipo monogenético, hacia el norte, representado por los derrames de Prismas Basálticos y Peña del Aire. Martínez-Serrano (2018) atribuye esto a un vulcanismo de tipo bimodal. Por otro lado, al sur, una expresión de vulcanismo monogenético reciente es el Campo Volcánico de Apan, de edad Cuaternario (García-Palomo *et al.*, 2002, 2018) y con estudios actuales de exploración geotérmica.

En el Cerro de Las Navajas, el rasgo más conspicuo del sitio es la obsidiana, la cual

se generó en flujos riolíticos durante los escenarios pre y poscolapso. Una vez extruídos y solidificados fueron fracturados y transportados por procesos de remoción en masa, de manera que la obsidiana se encuentra dispersa en fragmentos (con bloques de hasta 3 m de diámetro), que incluso pueden llegar a presentarse hasta 20 km al norte (*e.g.*, fragmentos milimétricos debajo de la Peña del Aire, en Huasca de Ocampo). Por lo tanto, la obsidiana se encuentra típicamente como capas discontinuas, mezcladas con bloques de pómez y riolita. La capa con mayor volumetría se extiende de forma kilométrica y tiene un espesor aproximado de 100 m. Esta peculiaridad hizo necesario, en tiempos prehispánicos, que para extraer la obsidiana se practicaran tiros y excavaciones (minería subterránea) (Figura 2.13), que pueden verse como tiros de hasta 70 m de profundidad.



Figura 2.13: La práctica minera en Las Navajas registrada en las laderas del volcán queda registrada, por ejemplo, en túneles profundos del periodo mexica. Fotografía: cortesía de Alejandro Pastrana.

En el sitio existen variedades de obsidianas que van del negro al verde (gris oscuro bandeado, ámbar oscuro y negro con fenocristales, negro gradando a gris, café oscuro con motas negras, rosada con rayas negras/grises, Donato *et al.*, 2018), pero la variedad más preciada es la verde-dorada (Figura 2.14), la cual es poseedora de significado geográfico, histórico y cultural (Cobean *et al.*, 1991), misma que ha sido objeto de estudios arqueológicos desde hace 40 años. La composición química de las diferentes variedades de obsidiana ha sido objeto de numerosas investigaciones enfocadas en abordar: la procedencia de objetos arqueológicos y la geoquímica y petrogénesis (Vogt *et al.*, 1982; Mosheim

y Althaus, 1988; Pastrana, 1998; Glascock *et al.*, 1988; Glaskcock, 1999; Ponomarenko, 2004; Bellot-Gurlet *et al.*, 2005; Argote-Espino *et al.*, 2010; Donato *et al.*, 2018). Estudios microscópicos apuntan a microvesículas orientadas como las responsables del efecto dorado en la obsidiana, en tanto la coloración verde se atribuye a alto contenido de hierro (Donato *et al.*, 2018).



Figura 2.14: Obsidiana verde-dorada de Las Navajas, la variedad más preciada del yacimiento. Fotografía: Miguel Cruz.

La obsidiana tiene una dureza de 5 en la escala de Mohs. Macroscópicamente exhibe una fractura concoidea que, frente a la percusión, es predecible en dirección y sentido, característica que la hace manejable para la elaboración de objetos punzocortantes (Pastrana *et al.*, 2018b). La reserva de obsidiana no se encuentra estimada con certeza, pero derivado del contexto geológico y el hecho de que la obsidiana se encuentra soterrada por piroclastos y suelo, un cálculo aproximado sugiere que hay millones de toneladas de obsidiana.

### *Otros valores asociados*

La secuencia geo-arqueológica de explotación de obsidiana en Las Navajas es un registro del devenir tecnológico, cultural y político-histórico de Mesoamérica. El trabajo practicado con la obsidiana por diferentes culturas mesoamericanas produjo una variedad de instrumentos, joyas, armas, y objetos mágico-religiosos (*e.g.*, cetros, espejos, esculturas antropomorfas vinculadas a concepciones de los dioses y del Universo), y fue la fuente para la representación de glifos (Figura 2.15). Debido al vínculo directo con la obsidiana, los dioses mexicas Tezcatlipoca e Itzpapálotl (del náhuatl, “espejo humeante de obsidiana” y “mariposa negra de obsidiana”, respectivamente) son dignos de mención. Pero también con obsidiana fueron manufacturados objetos mágico-religiosos relacionados a la fauna (*e.g.*, felinos, cánidos, ojos de ave y de reptil, serpientes flamíferas y/o aladas, cascabeles), figuras humanas (*e.g.*, hombres libres y cautivos), elementos vegetales o celestes (*e.g.*, relámpago, rayo solar, estrella, luna creciente); pero también armas como cuchillos rectos y curvos, puntas de proyectil y puntas de lanza (Pastrana y Athie, 2014; Pastrana y Carballo, 2016). Piezas como las descritas han sido encontradas en las ofrendas de las pirámides del Sol y de la Luna en Teotihuacán, la prominente ciudad-estado del centro de México durante el periodo Clásico (Manzanilla, 2011), dedicada a deidades del agua, sangre, el Sol, la guerra y el sacrificio (Gamio, 1922; Sugiyama, 2005).

El registro de explotación geo-arqueológica de obsidiana en Las Navajas, en el contexto de las primeras ciudades-estado, comienza con Teotihuacan (150 a.C. - 700 d.C.). que explotaba obsidiana gris-negra de la fuente de Otumba, ubicada 18 km al este de la ciudad. No fue sino hasta la fase Tlamimilolpa (*ca.* 250 a.C.) que la explotación en Las Navajas tomó lugar de forma sistemática con el desarrollo de tiros decamétricos (70 m de profundidad), galerías y cámaras subterráneas. La manufactura era practicada en el sitio y los objetos eran tallados y seleccionados, especialmente productos como armas, objetos religiosos y de vestimenta para su distribución en actividades domésticas y para las instituciones militares, religiosas y comerciales. Fue en particular la obsidiana verde la que fungió como la exclusiva y simbólica materia de la cultura y poder de Teotihuacan pues, distribuida de forma estratégica, alcanzó élites gobernantes de regiones distantes como el Golfo de México, Oaxaca y la zona Maya (Moholy-Nagy *et al.*, 1984; Rice *et al.*, 1985; Andrews, *et al.*, 1989; Pastrana *et al.*, 2018a). Además de minas y talleres, existen vestigios de campamentos a lo largo de Las Navajas, en donde los mineros, talladores, dirigentes, capataces y cargadores se resguardaban. Derivado de la cotidiana vida de estos grupos en el yacimiento es posible encontrar cerámica de producción local manufacturada a partir de la arcilla extraída de las minas (Pastrana, 1998; Pastrana y Domínguez-Peláez,



Figura 2.15: Glifos mexicas en alusión a la obsidiana. (A) *Itztepec*, *itz* de *itztli* = instrumento de obsidiana, *te* de *tepetl* = montaña. (B) *Ytzeyocan*, *ytz* o *its* de *itztli* = instrumento de obsidiana, *te* de *tetzli* = piedra, *yo* = camino (posiblemente), *can* = lugar, el lugar donde la obsidiana es tallada o en donde es formada o el camino hacia el lugar donde la obsidiana es tallada y formada (v. Pastrana y Carballo, 2016). Códice Mendoza (1979).

2009).

Ciento cincuenta años después de la caída de Teotihuacan (650 d.C.), la explotación de la obsidiana verde pasó a manos de la cultura Tolteca (950 d.C. - 1150 d.C.). Las técnicas de tallado, sin embargo, fueron diferentes de las practicadas por Teotihuacan (Pastrana y Domínguez-Peláez, 2009). Para este periodo de explotación se tienen raspadores para la producción de aguamiel a partir del maguey pulquero, *Agave salmiana Otto ex Salm-Dyck*. También, cuchillos pequeños y representaciones de gotas de agua y sangre fueron elaborados, probablemente para ser cosidos en prendas y tocados, mas no se registra producción de armas en Las Navajas para el periodo de explotación tolteca. La caída de la ciudad de Tula, en 1150 d.C., marcó el fin de la explotación en el yacimiento. Durante los siguientes 175 años la obsidiana fue explotada por locales quienes reutilizaron los restos de talla de la explotación teotihuacana y tolteca.

Con la Triple Alianza (México-Tenochtlán, Texcoco y Tacuba) (1325 - 1521 d.C.), la explotación mexicana comienza en el Cerro de Las Navajas, la cual se caracteriza por la extracción masiva de obsidiana verde. La minería profunda fue practicada nuevamente,



Figura 2.16: Capilla o visita Franciscana de mitad del siglo XVI. Esta construcción refleja el valor estratégico del área de Las Navajas y el uso de la obsidiana durante el Virreinato. Fotografía: Erika Salgado.

así como la ocupación de los antiguos campamentos teotihuacanos, aunque bajo una organización gremial de talladores y cargadores. En los campamentos las preformas eran concentradas para así ser enviadas a talleres especializados en los asentamientos mayores fuera del yacimiento, en donde la manufactura final era llevada a cabo seguida de su distribución comercial.

La Conquista de México-Tenochtitlán en 1521 reorientó la economía en lo que actualmente es hoy la Comarca Minera hacia la producción de metales preciosos (oro y plata), con el inicio hacia mediados del siglo XVI en Tlaxiilpan (hoy Pachuca) y Real del Monte (Mineral del Monte, a 15 km al NW de Las Navajas) (Oviedo-Gámez y Hernández-Badillo; 2011; Morelos-Rodríguez, 2018). En 1524 la orden mendicante de los Franciscanos arribó a la Nueva España y construyó una capilla o visita en las cercanías de los talleres mexicas de Las Navajas (Figura 2.16). Como sugiere Pastrana *et al.* (2019), esta capilla —probablemente una de las primeras en América— es evidencia de que los últimos talladores y mineros de obsidiana fueron convertidos al cristianismo y luego reconvertidos en los primeros mineros y trabajadores para la explotación y procesamiento de los metales preciosos de Comarca Minera, en lo que sería una explotación de aproximadamente 500 años de industria minera de metales preciosos; necesariamente el paisaje minero producto de esta nueva explotación permitió estudios de historia y de estética ambiental desde inicios del siglo XIX. La manufactura de armas de obsidiana y objetos religiosos se detuvo después de la Conquista mientras que la producción de cuchillos y raspadores de obsidiana para el procesamiento del maguey continuó por décadas (Figura 2.17), ejemplo de ello era la venta de éstos en mercados como el de Coyoacán y Tlatelolco (Sahagún, 1989). La



Figura 2.17: Montículos de restos de talla de obsidiana producidos por talladores mexicas y distribuidos en el área, cubiertos generalmente de vegetación y expuestos por procesos de meteorización y actividad antrópica. Fotografía: Miguel Cruz.

secuencia espacial de explotación en Las Navajas se muestra en la Figura 2.18.

Durante el siglo XIX se publicaron diversos trabajos sobre el Cerro de Las Navajas, cubriendo tópicos diversos como revisiones de documentos del siglo XVI. Hacia 1904, se publicó la “Bibliografía geológica y minera de la República Mexicana completada hasta el año 1904” por parte del Instituto Geológico Mexicano en su Boletín no. 17, el cual incluyó 4252 fichas, compilado y organizado por Rafael Aguilar y Santillán (1863-1940), bibliógrafo y bibliófilo quien trabajó como Secretario y Bibliotecario del instituto. Los trabajos históricos sobre Las Navajas referidos en dicha Bibliografía van del año 1811 a 1903 y constituyen una fuente histórica para el proceso de patrimonialización de Las Navajas.

### *Gestión y manejo*

Este geosítio también está bajo manejo ejidal. Convergen en el lugar los ejidos de Alfajayucan, El Susto, Nopalillo y San Pedro Huixotitla (Figura 2.19). Es sin embargo el ejido Nopalillo el que cuenta con mayor desarrollo de infraestructura, servicios y quien tiene un sistema avanzado de explotación de los recursos madereros y geológicos. El lugar no cuenta con estatus de conservación o alguna figura de protección legal, lo que pone en vulnerabilidad a la obsidiana, que es explotada por el ejido sin un programa de extracción.

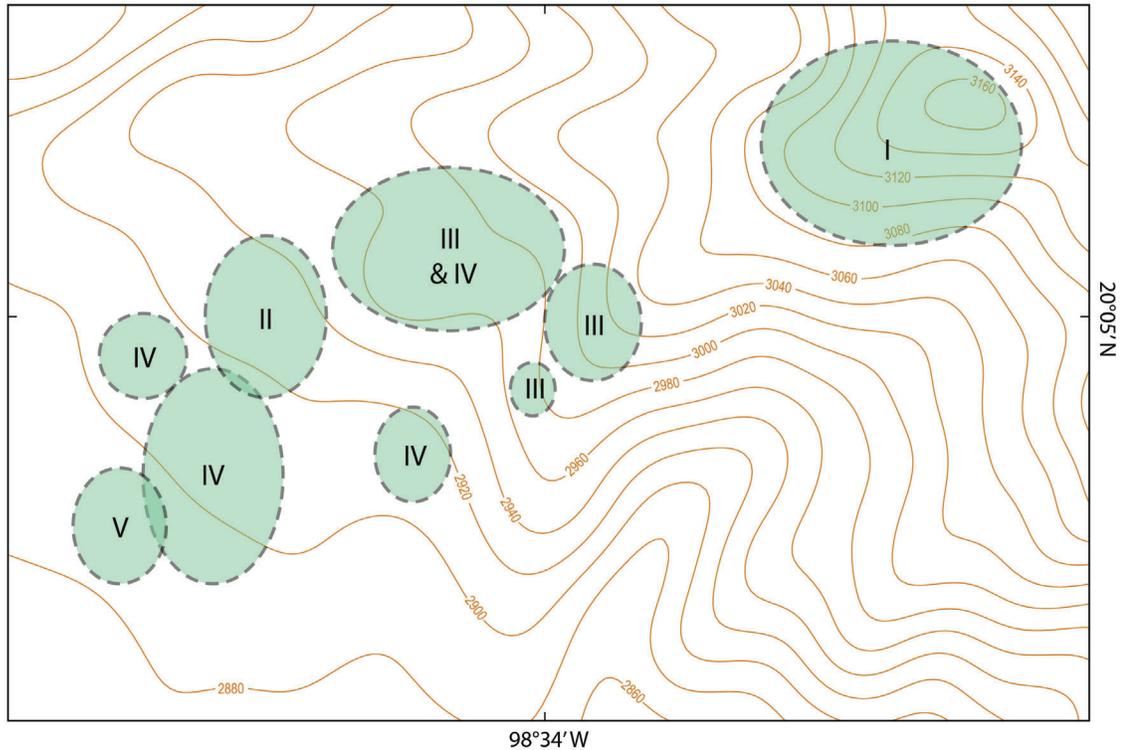


Figura 2.18: Mapa topográfico de Las Navajas que muestra la secuencia de explotación del yacimiento que abarca los periodos Preclásico (I), Teotihuacan (II), Tolteca (III), Mexica (IV) y Colonial (V). Modificado de Pastrana y Domínguez-Peláez, 2009; Pastrana *et al.*, 2018b.

La variedad más preciada del yacimiento de Las Navajas es la obsidiana verde-dorada, que es explotada mediante minería subterránea. La ubicación de la obsidiana como una capa en donde hay bloques, ceniza y pómez hace necesario que la tunelación sea irregular. La obsidiana más cotizada es la que no tiene imperfecciones (esferulitas). Actualmente, la obsidiana es utilizada para la fabricación artesanal de joyería y ornamentos. El ejido cuenta con dos canales de comercialización, por un lado a la comunidad de Nopalillo, al sur del yacimiento, en donde existe una docena de talleres que gremialmente adquieren de forma continua la obsidiana del ejido para mantener su producción local, en tanto por el otro, la venta en orden de toneladas a compradores extranjeros. La Tabla 2.4 muestra un resumen sobre el Cerro de Las Navajas.

Tabla 2.5: Resumen informativo de Cerro de Las Navajas.

Característica	Detalle
<b>Ubicación</b>	Epazoyucan, Hidalgo, México
<b>Coordenadas</b>	20°05'08.7" N 98°33'12.7" W
<b>Superficie</b>	83 km <sup>2</sup> (área estimada de la base del volcán, no superficie ejidal)
<b>Elevación</b>	2910 msnm
<b>Tipo de gestión</b>	Ejidal: Nopalillo, El Susto, Alfajayucan, San Pedro Huixotitla
<b>Breve descripción</b>	Localidad emblemática de obsidiana verde-dorada, producida por el vulcanismo plio-pleistocénico del estratovolcán Las Navajas, que guarda una relación de vulcanismo bimodal con la unidad basáltica que produjo la disyunción columnar, al norte. El volcán tiene una marcada erosión que se aprecia en el modelo digital de elevación y debido a procesos de colapso hacia el norte que fragmentó y redistribuyó la obsidiana, soterrando fragmentos métricos y mezclándolos con piroclastos y otros bloques durante una etapa de vulcanismo explosivo. Se estima que la obsidiana se encuentra en el orden de miles de toneladas debajo de la cubierta vegetal actual y distribuida en una capa de aproximadamente 100 m de espesor.
<b>Valor científico - geológico</b>	Volcánico, geomorfológico, petrográfico. Valor = <b>8.75</b>
<b>Interés no geológico</b>	Arqueológico, histórico, cultural inmaterial.
<b>Valor didáctico</b>	Ejemplo único en el dominio geológico —y en México— que muestra un vulcanismo explosivo asociado a la generación de obsidiana verde-dorada. Valor = <b>6.5</b>
<b>Valor turístico</b>	El rasgo geológico está soterrado por la vegetación, pero es apreciable en una cantera cercana en donde es posible observar parte de la estratigrafía volcánica del sitio. Asimismo, el valor arqueológico e histórico es apreciable en numerosas excavaciones arqueológicas de la zona. Valor = <b>7.62</b>
<b>Tipo de protección</b>	Ejidal
<b>Amenazas al patrimonio geológico</b>	Naturales: intemperismo químico y biológico, erosión. Antrópicas: minería.
<b>Comentario</b>	El yacimiento ha sido estudiado principalmente en la porción SW del volcán, pero debido a la evolución del mismo es probable que el yacimiento se extienda también al norte, en los polígonos ejidales de San Pedro Huixotitla y El Susto (Figura 2.19), lo que constituye un reto para la gestión del yacimiento con fines de conservación e investigación arqueológica.

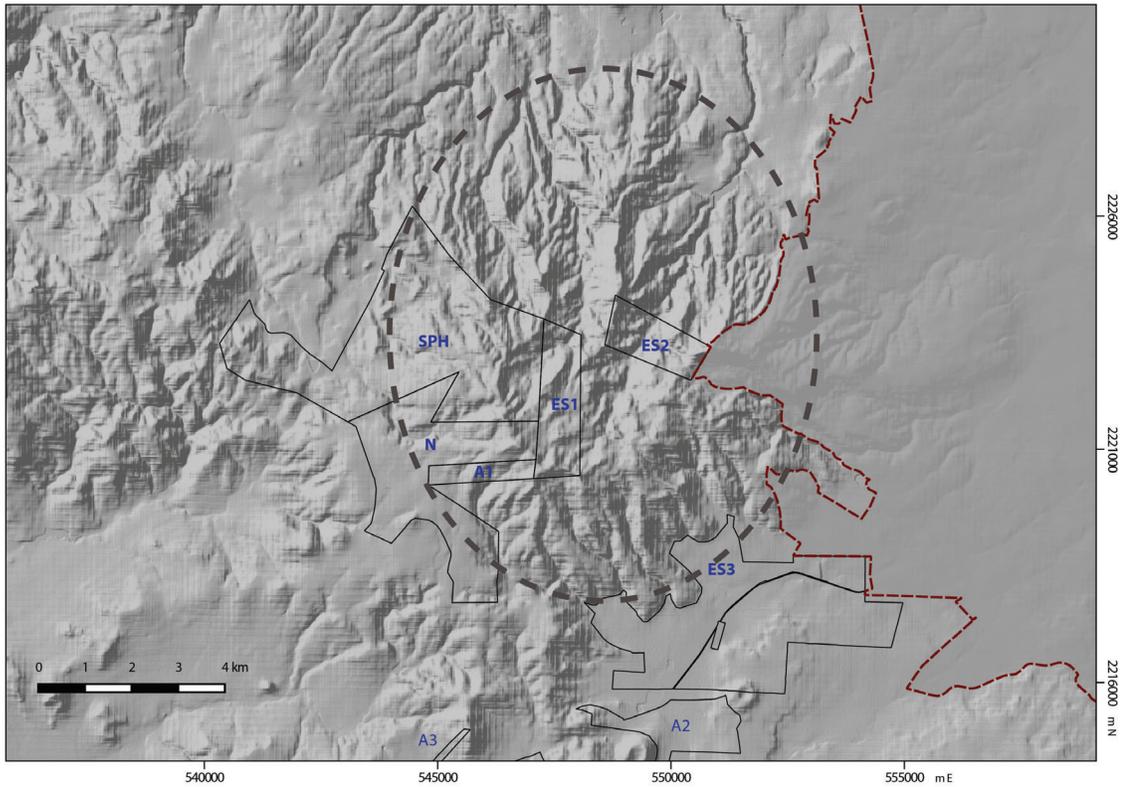


Figura 2.19: Modelo digital de elevación de Las Navajas mostrando los polígonos de los ejidos de Alfajayucan (A1, A2, A3), El Susto (ES1, ES2, ES3), Nopalillo (N), y San Pedro Huixotitla (SPH). La elipse punteada muestra burdamente el cono erosionado y colapsado, hacia el norte, del volcán. La línea punteada roja es el límite del Geoparque Comarca Minera.



---

## CAPÍTULO 3

---

# Desempeño de la metodología: análisis y discusión

La aplicación de la metodología desarrollada por el IGME y adaptada por el SGC (v. Carcavilla *et al.*, 2007; García-Cortés y Carcavilla-Urquí, 2013; Vargas-Anaya, 2018, SGC, 2018a) se llevó a cabo en los geositios Prismas Basálticos, Peña del Aire y Cerro de Las Navajas del geoparque Comarca Minera. Se generaron tablas para valorar los aspectos científico, didáctico, turístico y de riesgo de degradación antrópica. La potencialidad de uso, como eje central de la metodología, se refleja en los valores que aborda, pues cada uno de ellos es inherente en el patrimonio geológico analizado y estudiado. En este sentido, la metodología tiene un enfoque práctico que señala el uso más factible del patrimonio geológico de un lugar, teniendo el objetivo de potenciar un óptimo aprovechamiento del patrimonio. A continuación se ofrece una serie de comentarios sobre la estructura de la metodología que pueden ayudar a resaltar algunas cuestiones y un abordaje crítico de cada uno de los resultados obtenidos.

La metodología busca establecer un estado del valor del patrimonio geológico, de manera que a partir de una asignación cuantitativa se establezca un marco de referencia. A partir de la valoración, sea llevada a cabo desde alguna agencia gubernamental o académica, se reflejan aquellos aspectos con menor y mayor peso del patrimonio, a lo que procede que con miras a gestionar aquellos valores identificados por alguna otra agencia de gobierno o grupo especializado, se busque una gestión apropiada sobre esos valores (sea turístico, didáctico o científico) y se tomen las medidas para el aprovechamiento del patrimonio geológico en sintonía con su conservación. El supuesto de la metodología entonces busca (o anticipa) que a mayor valor (sea total, o de algún parámetro) el patrimonio geológico está “bien” utilizado, aprovechado y, en parte, bien conservado. En consecuencia, podemos entonces considerar que la metodología apunta a que a mayor valor patrimonial, existe un mayor provecho.

Estamos frente a un escenario paradigmático en donde a medida que incrementa el valor patrimonial se crean condiciones para un mejor uso, aunque cabría preguntar ¿mayor provecho para quién? La geología, al no estar limitada a barreras administrativas puede

potenciar no pocas problemáticas sociales pues los sistemas productivos, de uso de suelo y de tenencia de la tierra generados por los gobiernos y sociedades están invariablemente asentados sobre ella. También, la geología, al ser una ciencia que estudia el medio natural tiene inherente un estado de conocimiento que no es completo; los debates actuales, estudios geoquímicos, un nuevo trabajo cartográfico o de percepción remota, la elaboración de nuevos modelos, por mencionar algunos, siempre arrojan nuevas cuestiones, descubren nuevas áreas de interés y aportan a la discusión sobre el conocimiento y entendimiento de los procesos geológicos en escalas diversas de un área de estudio.

Desde el punto de vista económico, una empresa, por ejemplo, a través de un denuncia minero puede extraer un recurso geológico para su comercialización y utilización en la industria y para la producción de bienes, tecnología, etc. Pero es común que esa geología de interés se redescubre en algún terreno aledaño con asentamiento humano, lo que lleva a implicaciones con mucha polarización, desigualdad y mala gestión de la práctica minera (*cf.* Himley, 2012), lo que indica que, a nivel local, pueden existir distintas posturas sobre el medio geológico como, por ejemplo, uno enfocado en la comercialización, otro enfocado en la inclusión, otro en la economía.

La disparidad o desacoplamiento entre tales posturas es un punto de conflicto potencial. En otro orden de ideas, el factor presencial de un rasgo geológico, o una panorámica geológica, es un punto adicional a considerar. Así, dado el valor estético que puede ofrecer el patrimonio geológico digamos, de gran escala, como un cañón, un peñasco, pliegues, trae consigo un llamado a mejorar y ofrecer el mejor punto de observación que, consecuentemente, puede llevar a una competencia entre administradores de los puntos de observación. En tal escenario, entonces, el evaluador y analista del patrimonio geológico, se enfrentará a una situación geotética que demanda el planteamiento de un balance aceptable.

Una consecuencia de los sitios patrimoniales (y del geológico) y su potencialidad de uso es la búsqueda y establecimiento de un equilibrio en cuanto a las necesidades y situaciones socio-económicas de su entorno. Debates derivados del valor turístico de sitios patrimoniales culturales, por ejemplo, han sido abordados desde la arqueología (*cf.* Appadurai, 2001). Dicho esto, ¿qué implicaciones puede tener contar con una panorámica-paisaje como la que ofrecen algunos geositos del GCM y qué rol tiene el uso de la tierra sobre tales recursos?, ¿queda incompleta la metodología al restringir la potencialidad de uso al científico, didáctico, turístico? A continuación se ofrece el recuento de la valoración que arroja la metodología y una discusión en torno a estas preguntas y el rol de esta en el debate.

## 3.1. Prismas Basálticos: valoración

### 3.1.1. Valor científico

La Tabla 3.1 muestra la valoración y cálculo del riesgo de degradación para este geosito. Tomando en cuenta que, de acuerdo a la metodología la valoración máxima es de 10 (para todos los valores, científico, didáctico, turístico) la valoración cuantitativa de Prismas

Basálticos arrojó un puntaje total de  $335/40 = 8.375$ , considerado como de muy alto valor científico de acuerdo a la escala mencionada en el capítulo anterior. El parámetro con mayor puntaje para el sitio es asignado a la representatividad con **120** (valor científico valorado en 30 % respecto del total), pues los prismas son un registro de un fenómeno singular derivado del emplazamiento y enfriamiento (solidificación) de un cuerpo de lava que no tiene otro ejemplo, en su misma magnitud, en México

Además, tomando en cuenta las implicaciones que tiene la formación de las columnas y de la oportunidad que brindan para la elaboración de modelos conceptuales (*e.g.* el análisis morfométrico) para la exploración planetaria, el lugar representa las implicaciones del vulcanismo en medios acuosos, poniendo así el fenómeno en cuestión en un marco comparativo de escala global. Pero esta representatividad, aunada a su rareza, valorada con **60** (valor científico valorado en 15 % respecto del total), toda vez que los prismas representan un proceso singular, que puede darse en cualquier latitud (o planeta), y que son atribuidos a algo no esperado y algo no esperado tiene en la metodología un carácter de rareza.

Algo no esperado como raro puede mejor plantearse como algo no bien entendido, y tal condición se atribuye a rareza. Bajo este comentario el parámetro “rareza” de la metodología queda un poco forzado en la valoración científica del lugar. El parámetro “rareza” es quizá muy subjetivo y en prismas basálticos queda de manifiesto pues, si su representatividad implica fuente de conocimiento para avanzar en la ciencia, todo fenómeno que lo genera puede desmenuzarse y, en el mejor de los casos, entenderse. Un parámetro en sustitución de la rareza sería “no habitual dentro del contexto geológico del área”.

Durante la pugna entre neptunistas y plutonistas, por ejemplo, la teoría del origen acuoso del basalto fue tratada hasta encontrar que, ya fuera por relaciones de corte, de composición, de experimentación, la idea del origen ígneo del basalto fue aceptada. Imaginemos entonces acaso la primera observación de la relación de corte de un basalto con las rocas encajonantes; el observador habría pensado que ese fenómeno era raro y singular (se refiere al lector a la obra de Young (2003) para una referencia histórica detallada). Actualmente, una relación de corte entre un basalto y el encajonante no sería raro para un observador con conocimientos de geología. Esto nos conduce a atribuir la condición de rareza al tiempo de las ideas sobre el que se hace el juicio. Es más, la mera relación de corte de un basalto con su encajonante, para continuar con el ejemplo, es hoy en día un paradigma, pero surgió de la rareza. Luego entonces, existe una condición paradigmática intrínseca a la rareza para el ejemplo que nos ocupa. La rareza es subjetiva, tomando en cuenta que es valorada en la metodología por expertos o por especialistas con conocimiento del contexto geológico del área. Es aceptable, por otro lado, que la condición de rareza sea atribuida por una persona desvinculada del contexto geológico.

Para continuar, el parámetro que cuenta con menor puntaje es el carácter de grado de conocimiento científico con **15** (valorado en 15 % respecto del total). Esto resalta pues sorpresivamente no existen muchas publicaciones sobre el sitio, en sentido geológico, salvo aquellas producidas por el geoparque en años recientes: divulgación, geología básica del área y cartografía.

Se muestran a continuación los cálculos siguiendo la ecuación (1) del Capítulo 2.

$$V_c = \frac{30R + 15(K + A) + 10(T + C + O + D)}{40} \quad (1)$$

$$V_c = \frac{30(4) + 15(1 + 4) + 10(2 + 2 + 4 + 4)}{40} = 8,375$$

### 3.1.2. Valor didáctico

Para este valor la metodología da un puntaje total de  $385/40 = 9.5$ . El parámetro con mayor puntaje es el “contenido o uso didáctico” con **80** (valorado con 20 % respecto del total) con ejemplo en publicaciones de divulgación derivadas del trabajo del geoparque así como en cursos y programas educativos en Huasca de Ocampo y en prácticas de campo escolares dirigidas al nivel superior, principalmente. Para “infraestructura logística” y “accesibilidad”, se valoró con **60**. Cuenta de ello es la accesibilidad y servicios turísticos que ayudan a la recepción de grupos grandes de estudiantes. De manera análoga, la infraestructura condiciona las “condiciones de observación”. La barranca y los andadores permiten apreciar las columnas en sus partes superior y lateral y también facilitan la labor didáctica así como la experiencia del visitante.

Pese al tamaño comparativamente pequeño del sitio, la infraestructura que permite la observación está bien implementada al lugar. El “carácter de localidad tipo” tiene un puntaje de **20** para la valoración didáctica, no cuenta con designaciones científicas internacionales previas al geoparque, pero ha sido incluida como una de las «13 Maravillas Naturales de México» que fue una selección gestada desde el gobierno mexicano en conjunto con una televisora en 2007. La designación brindó una visibilidad de escala nacional que incrementó el número de visitantes y excursiones escolares. Desde el punto de vista de las ciencias históricas, para el caso del desarrollo de las ciencias en México, Prismas Basálticos cuenta con una clara referencia en textos y trabajos relativos a exploraciones del siglo XIX, y también desde la estética del paisaje desde Alexander von Humboldt (v. Busnke, 1981). Designaciones internacionales de basaltos columnares son La Calzada del Gigante, en Irlanda, que cuenta con la designación de Patrimonio Mundial de la Humanidad por la UNESCO (UNESCO, 1986, CC-86/CONF003/3). Por otro lado, la disyunción columnar de las rocas de High Island, en Hong Kong, destaca por no ser en basaltos, y sin embargo no tienen otra designación internacional a parte de la brindada por la UNESCO como Geoparque Mundial. La Torre del Diablo, en Estados Unidos, cuenta con una designación de Monumento Natural, pero es mundialmente famosa, en gran parte por la amplia visibilidad generada a partir de la industria cinematográfica. También, Castellfollit de la Roca, España, destaca por conjugar elementos del patrimonio cultural y natural. Se entiende entonces que una designación nacional, en clara referencia a la geología de un lugar, tiene inherentemente un valor didáctico también e ilustra un proceso de apropiación del medio geológico, pues para el caso de Prismas Basálticos su designación previa —buscando un aprovechamiento turístico— como una maravilla natural de México puso a votación pública su designación.

Se muestran a continuación los cálculos siguiendo la ecuación (2) del Capítulo 2.

$$Vd = \frac{20Cd + 15(I + Ac) + 10D + 5(R + T + C + O + A + Dp + B + E)}{40} \quad (2)$$

$$Vd = \frac{20(4) + 15(4 + 4) + 10(4) + 5(4 + 4 + 2 + 4 + 4 + 4 + 4 + 2)}{40} = 9,5$$

### 3.1.3. Valor turístico

La metodología da un valor total de  $345/40 = 8.625$ . La “espectacularidad o belleza” es el parámetro más alto con **60**, en clara asociación con el valor estético. Le siguen “accesibilidad”, “simbolismo” y “contenido/uso divulgativo” con **40**. El simbolismo está representado por la apropiación de la comunidad (y del estado de Hidalgo), y que es utilizado para promover la imagen de la entidad a nivel nacional e internacional en ferias y congresos turísticos. Pese al simbolismo, el “uso tradicional” es bajo, con **5**. No existen actualmente tradiciones en torno a los Prismas Basálticos (*e.g.* raspado de maguey, peregrinaciones, ofrendas), pero de ello es necesario recabar mayor información sobre usos y costumbres para efectos del cálculo adecuado.

Se muestran a continuación los cálculos siguiendo la ecuación (3) del Capítulo 2.

$$Vt = \frac{15B + 10(Cdv + Ac + F + Sb) + 5(I + O + Dp + Es + E + Ut + NH + Ptr + Z)}{40} \quad (3)$$

$$Vt = \frac{15(4) + 10(4 + 4 + 2 + 4) + 5(4 + 4 + 4 + 2 + 2 + 1 + 4 + 4 + 4)}{40} = 8,625$$

### 3.1.4. Riesgo de degradación por causas antrópicas

Dado el contexto de los Prismas Basálticos, la degradación natural está dada por la meteorización biológica, debido a la acción de crecimiento de raíces y ramas entre las columnas; el parámetro “amenazas naturales” tiene un valor de **10**. Las amenazas antrópicas están relacionadas con la infraestructura presente, que no es menor, considerando el carácter invasivo, aunque logístico del sitio, ello queda reflejado en “proximidad a zonas recreativas” con **20** y accesibilidad con **40**. No existe interés minero para el sitio y tampoco para el expolio, pues las dimensiones de siquiera una porción de columna basáltica y su densidad hace muy difícil la tarea. Si bien el lugar no tiene régimen de protección (aunque colinda con la reserva de la biosfera) el valor se considera en **5** pues las condiciones de conservación no tienen una calendarización sistemática para quitar las raíces y ramas en el lugar, es decir, la práctica de un plan mínimo de conservación no es visible, después de varias visitas al sitio. La protección física (valorada en **20**) toma en cuenta los barandales y señalética de advertencia. Se considera necesario, además, incorporar vigías o alguna especie de guardia permanente que vigile el lugar de la barranca en su parte baja, en donde es posible acceder a la superficie de los prismas poniéndose en riesgo de caída.

Para el cálculo del riesgo de degradación se obtiene primero la vulnerabilidad antrópica realizando la suma ponderada como indica la fórmula (6) del Capítulo 2.

$$Va = 25(MH + Ex) + 15Urb + 10Ac + 5(P + Pf + Ts + Dp + Z) \quad (6)$$

$$Va = 25(0 + 0) + 15(1) + 10(4) + 5(1 + 4 + 2 + 4 + 4) = 130$$

Una vez obtenido el valor de la vulnerabilidad antrópica se obtiene el cálculo de la susceptibilidad antrópica mediante la ecuación (5).

$$Sda = E \cdot Va \quad (5)$$

$$Sda = \frac{3}{400} \cdot 130 = 0,975$$

Con esto, se obtiene el cálculo del riesgo de degradación con la ecuación (7) con el valor didáctico (valor máximo), como sigue

$$Rda = \frac{1}{10} \cdot Vd \cdot Sda \quad (7)$$

$$Rda = \frac{1}{10} \cdot 9,5 \cdot 0,975 = 0,93$$

La Tabla 3.1 muestra la tabla de valorización para Prismas Basálticos.

### 3.1.5. Comentarios

Con mejores condiciones de observación el área se encuentra bajo gestión del ejido de Regla. Al norte, la unidad basáltica con disyunción columnar continúa, pero las condiciones de observación cambian de manera que en el área del ejido de Aguacatitla los prismas se observan en su frente norte. En este sentido, las condiciones de observación dictan, con mayor peso, un mayor valor turístico en el área del ejido de Regla, pese a que es la misma unidad de roca. Esta desigualdad en las condiciones de observación es un factor en el número de visitantes. Las mejores condiciones de observación proporcionadas por el cañón, ofrecen al observador el valor estético singular del área, razón por la cual el número de visitantes en Prismas Basálticos es del orden de 500 mil visitantes por año. Para llegar a la barranca de Aguacatitla, en cambio, la infraestructura es distinta, existe un menor número de visitantes y la afluencia turística es menor. Sin embargo, la panorámica que ofrece Aguacatitla tiene un valor estético que debe considerarse pues también la infraestructura existente no es agresiva con el paisaje y permite una experiencia de visita más vivencial (Figura 3.1). Por otro lado, las condiciones de observación en el ejido de Regla van de la mano con el interés histórico, en donde se refieren las exploraciones de Humboldt en el área.

La valoración de Prismas Basálticos proporciona un caso de estudio en el que la asignación de los puntajes, al estar referidos al mejor punto de observación, está desacoplada



Figura 3.1: Para abril de 2020, en el ejido de Aguacatitla se abrió un nuevo acceso hacia la barranca, facilitando la observación de la unidad basáltica con disyunción columnar en su porción norte y proporcionando un área de observación nueva. Fotografía cortesía del Ejido de Aguacatitla.

de las condiciones de tenencia de la tierra. En cuestión de acceso a servicios, no proporcionar un acceso a la observación de los prismas es un punto de desventaja para las comunidades colindantes y, en consecuencia, de prestación de servicios. Una comunidad que, por razones de tenencia de tierra, no cuente con el mejor punto de observación estará en una condición de desigualdad para el aprovechamiento del valor turístico-didáctico-(y científico) (Figura 3.2).

## 3.2. Peña del Aire: valoración

### 3.2.1. Valor científico

Para Peña del Aire se tiene un puntaje total de  $230/40 = 5.75$  para el valor científico. Comparativamente, esta es una valoración de menor puntaje respecto a los Prismas Basálticos. Recordemos que esta unidad de roca es la misma que la que comprende los prismas. No es localidad tipo pero podría servir para elaborar una columna tipo de los derrames plio-pleistocénicos del geoparque en su porción norte. Las secuencias subyacentes del Cretácico tienen mucha potencialidad para la investigación, y existen muy escasos trabajos publicados sobre la deformación en el área (*e.g.* Fitz-Díaz y Hernández-

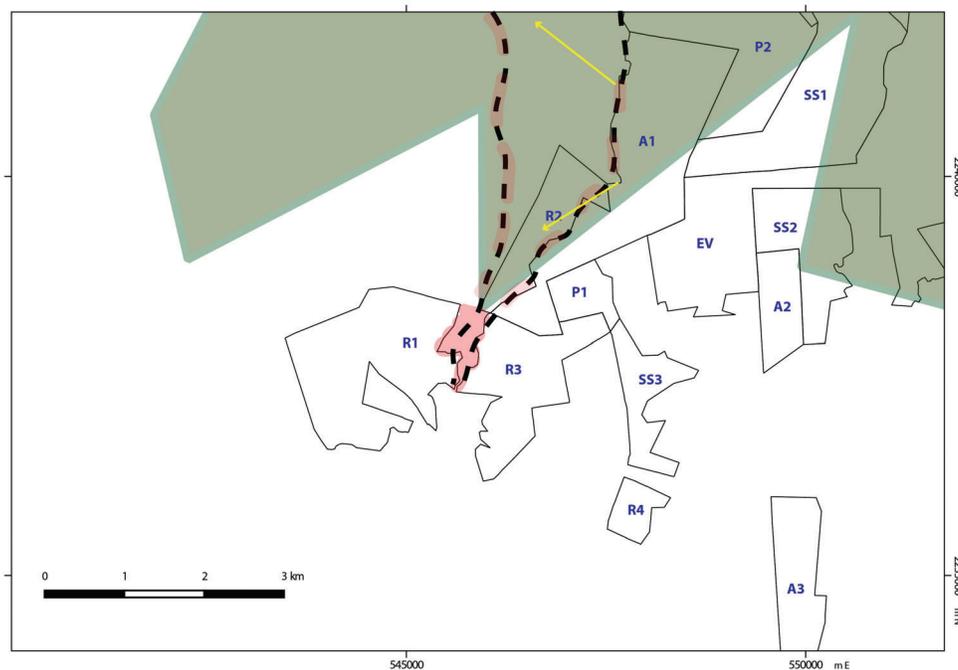


Figura 3.2: Mapa esquemático de la zona de Regla-Aguacatitla. Con mejores condiciones de accesibilidad hacia un punto de observación dentro del ejido de Aguacatitla, se puede potenciar la apreciación de la disyunción columnar de la unidad basáltica hacia el norte de Prismas Basálticos, esto es, ya dentro del área de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán. Se aprecian los polígonos ejidales de Aguacatitla (A1, A2, A3), El Vite (EV1), Regla (R1, R2, R3, R4), San Sebastián (SS1, SS2, SS3) y Palmillas (P1, P2).

Vergara, 2018). Debido a las características de Peña del Aire, donde la erosión es la responsable de tenerla en primer lugar, el estado de conservación se valora en **20**. La formación de la Peña es un proceso activo; con el paso de las temporadas y embates del tiempo la Peña está siendo moldeada de forma constante, de manera que es un testigo de los procesos activos en la geología. Aunado a ello, es posible ver, por ejemplo, que existen pequeñas “peñas” en formación en las paredes verticales del cañón (en las paredes sur) facilitando así la ejemplificación, en donde la geología puede enseñarse, con énfasis en procesos de formación de relieve y de geformas.

La diversidad geológica, valorada en **40**, es digna de mención, pues camino a Peña del Aire, es posible apreciar un relieve que contrasta del observado en las inmediaciones, por ejemplo, en la Sierra de Pachuca, e incluso en las inmediaciones de los Prismas Basálticos, la existencia de elevaciones producto del vulcanismo. Pero hacia Peña del Aire, en cambio, la planicie basáltica se hace notable desde los 10 km antes, hacia el sur. Combinado con el cañón mismo, la barranca de Metztitlán, la diversidad de formas del relieve es una

característica de la panorámica de este sitio. Respecto a la panorámica, las condiciones de observación son muy propicias para anotar los cambios litológicos de la estratigrafía volcánica, así como de la peña misma. El área de Peña del Aire es más extensa, pero para acceder a las partes bajas es necesario salir del polígono de San Sebastián.

Para el cálculo del valor científico se utiliza la ecuación (1).

$$V_c = \frac{30R + 15(K + A) + 10(T + C + O + D)}{40} \quad (1)$$

$$V_c = \frac{30(2) + 15(2 + 2) + 10(1 + 2 + 4 + 4)}{40} = 5,75$$

### 3.2.2. Valor didáctico

El puntaje total para el valor didáctico es de  $325/40 = 8.125$ . Uno de los parámetros más importantes para el sitio son las “condiciones de observación”, con puntaje de **20**, pues las dimensiones de la panorámica así como las paredes verticales, en la parte superior del cañón, permiten observar las formas del relieve y la estratigrafía volcánica. Similarmente, la espectacularidad de la panorámica es notoria pues imprime al lugar un valor estético singular. La “infraestructura logística”, con **60**, permite la recepción de grandes excursiones y la observación desde diversos miradores. Pese a ello, se debe notar que la mayoría de los miradores, que se ubican en los bordes del cañón, no cuentan con mallado de seguridad o alguna barda perimetral que ponga en resguardo al observador. El mirador principal sí cuenta, en cambio, con una barda perimetral. En algunas partes del borde del cañón el ejido cuenta con una fila de plantas y arbustos que sirven de barreras para impedir acercarse a los bordes. El visitante de la Peña del Aire desconoce que cuando baja por el sendero sale del polígono bajo potestad del ejido. Si bien los guías no se empeñan en fomentar el paso, es notorio que falta algún aviso, sobre todo porque la Peña del Aire se encuentra en constante proceso de erosión, así como las paredes del cañón, cercanas al sendero. La Peña del Aire se encuentra más alejada de poblados (Huasca de Ocampo) y el camino es de terracería desde los 6.5 km previos.

Para el cálculo del valor didáctico se utiliza la ecuación (2).

$$V_d = \frac{20Cd + 15(I + Ac) + 10D + 5(R + T + C + O + A + Dp + B + E)}{40} \quad (2)$$

$$V_d = \frac{20(4) + 15(4 + 2) + 10(4) + 5(2 + 1 + 2 + 4 + 2 + 4 + 4 + 4)}{40} = 8,125$$

### 3.2.3. Valor turístico

Para el valor turístico se tiene un puntaje total de  $290/40 = 7.25$ . Dadas las características del sitio, en donde uno de los atributos principales es la panorámica, el valor estético abordado por el parámetro “espectacularidad o belleza” tiene un puntaje de **60**.

El “uso tradicional” es valorado con **10**, pues se lleva a cabo la extracción de aguamiel en algunos magueyes de la localidad, aunque de forma eventual. La degustación de comida tradicional es algo resaltante del lugar, pues periódicamente la comunidad organiza degustación de platillos tradicionales.

Existe un “simbolismo” sobre la Peña del Aire y sobre la barranca. La comunidad atribuye algunas historias alrededor de la peña y a la fauna que vive en el ecosistema de la barranca. De noche, el lugar puede ofrecer una oportunidad para practicar astroturismo, debido a la calidad del cielo oscuro. Gracias a la ubicación alejada de Peña del Aire, a 13 km al NE de Huasca de Ocampo y a 16 km al E de Atotonilco El Grande, y al hecho de que al otro lado de la barranca no existe algún poblado en decenas de kilómetros (ya en el estado de Veracruz, al norte, el poblado más cercano es Huayacocotla, con 20 mil habitantes), la localidad puede beneficiarse de un proyecto enfocado en la preservación de cielos oscuros, por ejemplo, a través de la colaboración con la Dark Sky Association (v. Muñoz-Salazar, 2020).

También, puesto que el entorno está en la reserva existe una diversidad de flora y fauna y, aunque no existe algún sendero temático, puede fácilmente gestionarse un pequeño camino o sendero interpretativo de flora, con énfasis en las especies rupícolas, flores y frutos que crecen en la reserva, agregando una oferta más al lugar.

Para el cálculo del valor turístico se utiliza la ecuación (3).

$$Vt = \frac{15B + 10(Cdv + Ac + F + Sb) + 5(I + O + Dp + Es + E + Ut + NH + Ptr + Z)}{40} \quad (3)$$

$$Vt = \frac{15(4) + 10(2 + 2 + 2 + 2) + 5(4 + 2 + 4 + 2 + 4 + 2 + 4 + 4 + 4)}{40} = 7,25$$

### 3.2.4. Riesgo de degradación por causas antrópicas

Peña del Aire se encuentra dentro del área de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, lo que proporciona un marco legal de conservación al geositio. De acuerdo al Programa de Manejo de la Reserva, la zonificación indica que Peña del Aire se ubica en una de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y de aprovechamiento sustentable de agroecosistemas, lo que permite la práctica del turismo y de actividades de recreación, así como de pastoreo y cultivo. La degradación natural en el sitio se identifica con procesos de erosión y a la estabilidad de las paredes del cañón, los cuales pronuncian las grietas de la peña, la disgregan y transportan bloques de tamaños diversos a las partes bajas de la barranca. Al encontrarse en constante embate de agentes climáticos y biológicos, Peña del Aire es ejemplo de un proceso activo y su proceso de degradación natural es el proceso que la ha moldeado, ejemplo contrario a los Prismas Basálticos, cuyo origen es derivado de procesos de enfriamiento y solidificación de lava, y también distinto al ejemplo de Cerro de Las Navajas. La degradación antrópica en el sitio es mínima, considerando las dimensiones del sitio, y a la infraestructura no invasiva que hay.

Para el cálculo del riesgo de degradación se obtiene primero la vulnerabilidad antrópica realizando la suma ponderada como indica la ecuación (6) del Capítulo 2.

$$Va = 25(MH + Ex) + 15Urb + 10Ac + 5(P + Pf + Ts + Dp + Z) \quad (6)$$

$$Va = 25(0 + 0) + 15(0) + 10(2) + 5(1 + 2 + 2 + 4 + 4) = 75$$

Una vez obtenido el valor de la vulnerabilidad antrópica se obtiene el cálculo de la susceptibilidad antrópica mediante la ecuación (5).

$$Sda = E \cdot Va \quad (5)$$

$$Sda = \frac{1}{400} \cdot 75 = 0,1875$$

Con esto, se obtiene el cálculo del riesgo de degradación con la ecuación (7), con el valor didáctico (valor máximo), como sigue:

$$Rda = \frac{1}{10} \cdot (Vd) \cdot Sda \quad (7)$$

$$Rda = \frac{1}{10} \cdot (8,125) \cdot 0,1875 = 0,152$$

La Tabla 3.1 muestra la tabla de valoración para Peña del Aire.

### 3.2.5. Comentario

En Peña del Aire confluye la panorámica de la peña misma, pero también del cañón y del sistema fluvial del río Venados o de Tulancingo, que constituyen elementos didácticos y estéticos únicos del lugar. Las condiciones de observación son óptimas en el borde de la barranca. La panorámica fuera del polígono del ejido de San Sebastián, sin embargo, debería también considerarse. Nuevamente, el evaluador del patrimonio geológico, tomando en cuenta el mejor punto de observación al abordar la valoración, puede sin primeras intenciones, llevar a una condición de desigualdad entre otros puntos de observación potenciales. La doble designación internacional, una por el programa MAB y otra por el IGGP, ambos de UNESCO, es una característica única de San Sebastián, pero también de otros ejidos dentro de ambas áreas (ejidos de Aguacatitla, La Cañada, El Vite, San Bartolome y Regla).

## 3.3. Cerro de Las Navajas: valoración

### 3.3.1. Valor científico

La valoración del Cerro de Las Navajas arroja un puntaje total de  $350/40 = 8.75$ . El sitio es emblemático por diversas razones. Existen publicaciones en torno al contexto geológico y a la obsidiana misma, los parámetros de grado de conocimiento, localidad tipo

y diversidad geológica están valorados en **60**, **40** y **40**, respectivamente. Si bien el área está dominada por rocas volcánicas, la diversidad geológica está referida a la variedad de formas del relieve, a la estratigrafía volcánica que es posible observar en la cantera cercana, a los piroclastos y bloques generados por la erupción, y a las variedades de obsidiana que se mencionaron en el Capítulo 2.

El parámetro “representatividad” tiene un puntaje de **120** pues es el mejor ejemplo conocido del área para representar un rasgo o proceso, como lo es el vulcanismo explosivo, procesos de remoción en masa, además de ejemplificar aspectos relacionados al cambio climático, a la evolución de la FVTM y por tratar temas de riesgos geológicos, por mencionar algunos. Por otro lado, las “condiciones de observación” están limitadas por la evolución misma del volcán, el cual en su etapa poscolapso fragmentó y depositó una serie de flujos riolíticos que a su vez generaron la actual capa de obsidiana, pómez y piroclastos que está soterrada por el bosque actual, pero que presumiblemente tiene 100 m de espesor, como lo sugiere la minería prehispánica.

La erosión y desarrollo de suelos, en cambio, pone a descubierto antiguos talleres y zonas de tallado de obsidiana, como anota el arqueólogo Alejandro Pastrana (com. pers.). Es entonces la erosión que pone a descubierto restos de obsidiana producto de la talla, aunque no los bloques de la capa en sí mismos. Esto facilita las condiciones de observación que podríamos llamar *ex-situ*, pues los restos de obsidiana observados en los caminos, senderos y en las zonas boscosas aledañas provienen de la minería subterránea, es decir, constituyen un elemento geológico fuera de su lugar original, en sentido estricto.

El “estado de conservación” es un parámetro clave para este geositio. La obsidiana es minada por el ejido, quien extrae y comercializa la obsidiana verde-dorada. Para ello la práctica de la minería subterránea es el único medio para la explotación de obsidiana, mediante el desarrollo de tiros y túneles.

Para el cálculo del valor científico se recurre a la ecuación (1) del Capítulo 2.

$$V_c = \frac{30R + 15(K + A) + 10(T + C + O + D)}{40} \quad (1)$$

$$V_c = \frac{30(4) + 15(4 + 4) + 10(4 + 2 + 1 + 4)}{40} = 8,75$$

### 3.3.2. Valor didáctico

Para el valor didáctico el puntaje total es de **260/40 = 6.5**. Es el menor puntaje obtenido, de acuerdo a la metodología. Al respecto de las características geológicas del sitio, en donde la obsidiana se encuentra por debajo de la superficie, esto es un factor que influye en la interpretación del sitio. La cantera, donde es posible observar una porción de la estratigrafía volcánica, tiene algunos horizontes de obsidiana pero las condiciones de observación permiten acercarse hasta cierto punto, debido a la inestabilidad del talud, por ello “condiciones de observación” tiene un puntaje de **5**. Existe material didáctico y explicativo en el sitio, aunque sería beneficioso contar con material gráfico interpretativo instalado, por ejemplo, en las inmediaciones de la capilla franciscana.

El acceso permite el ingreso de camiones escolares y para excursiones, pero para llegar a los puntos de observación la movilidad puede limitarse debido a las dimensiones de las brechas y caminos. El sitio está bien conectado con Mineral del Monte y con la carretera Pachuca-Tulancingo; una vez en el lugar, se pueden tomar los caminos que conducen a la cantera, a la capilla o visita franciscana, así como a los lugares de excavación del INAH. La “espectacularidad o belleza”, valorada con **20**, tiene mucha relación con el bosque mismo, con las vistas desde el mirador y desde luego con la obsidiana verde-dorada. La panorámica se abre poco, la vegetación es densa. La zona de talleres y tallado de la época colonial, colindantes con la capilla, son un excelente ejemplo para la explicación y enseñanza de aspectos líticos, arqueológicos, históricos y geológicos. También, confluyen muchos elementos del patrimonio natural y cultural, por ejemplo, en torno al maguey. La talla de obsidiana, investigada y estudiada de forma sistemática por el equipo de arqueólogos es en sí mismo una tarea de conservación asociada con el patrimonio cultural inmaterial. El cálculo del valor didáctico se realiza con la ecuación (2) como sigue.

$$Vd = \frac{20Cd + 15(I + Ac) + 10D + 5(R + T + C + O + A + Dp + B + E)}{40} \quad (2)$$

$$Vd = \frac{20(2) + 15(2 + 1) + 10(4) + 5(4 + 4 + 2 + 1 + 4 + 4 + 4 + 4)}{40} = 6,5$$

### 3.3.3. Valor turístico

El puntaje total para este valor es de **305/40 = 7.625**. Comparativamente, el Cerro de Las Navajas no cuenta con la infraestructura logística como se ve en Prismas Basálticos o Peña del Aire. Cuenta con acceso controlado y una zona de asadores. No hay venta de alimentos en el lugar y hay carencia de guías locales; el sitio cuenta con sólo un guía certificado y ocho guías locales. El uso turístico está aún subvalorado. Los talleres artesanales de la comunidad de Nopalillo cuentan con una actividad comercial que sostiene económicamente a las familias. El paisaje magueyero es notorio en la porción sur del volcán y con reservación se puede practicar la extracción de aguamiel.

El cálculo del valor turístico de acuerdo a la ecuación (3) es como sigue.

$$Vt = \frac{15B + 10(Cdv + Ac + F + Sb) + 5(I + O + Dp + Es + E + Ut + NH + Ptr + Z)}{40} \quad (3)$$

$$Vt = \frac{15(4) + 10(4 + 1 + 0 + 4) + 5(1 + 2 + 4 + 4 + 4 + 4 + 4 + 4)}{40} = 7,625$$

### 3.3.4. Riesgo de degradación por causas antrópicas

El Cerro de Las Navajas tiene una degradación antrópica derivada de la práctica de la minería artesanal. La minería es rudimentaria, pues no existe la práctica de tunelaje especializado y la extracción de los bloques se realiza con sogas, cuerdas y de forma comunal,

es notorio que algunas partes de la pendiente W-SE tienen huella minera reciente. El área del volcán la comparten los ejidos de Alfajayucan, El Susto, Nopalillo y San Pedro Huixotitla. La minería es practicada por el ejido Nopalillo, principalmente, con Alfajayucan en menor escala. Debido al contexto geológico, es muy probable que exista obsidiana en los terrenos del ejido San Pedro Huixotitla. Las Navajas no es un área natural protegida y la obsidiana no es un bien denunciado, por lo que existe una desatención legal en la Ley Minera Mexicana (2014). La importancia geo-arqueológica de la obsidiana verde requiere especial atención. La degradación natural de la obsidiana se asocia con la meteorización de las secuencias ácidas del volcán y el desarrollo de suelos. También, debido a un proceso de desvitrificación, la obsidiana puede presentar esferulitas.

Para el cálculo del riesgo de degradación se obtiene primero la vulnerabilidad antrópica realizando la suma ponderada como indica la ecuación (6) del Capítulo 2.

$$Va = 25(MH + Ex) + 15Urb + 10Ac + 5(P + Pf + Ts + Dp + Z) \quad (6)$$

$$Va = 25(4 + 4) + 15(4) + 10(1) + 5(4 + 2 + 2 + 4 + 4) = 350$$

Una vez obtenido el valor de la vulnerabilidad antrópica se obtiene el cálculo de la susceptibilidad antrópica (Sda) mediante la ecuación (5).

$$Sda = E \cdot Va \quad (5)$$

$$Sda = \frac{1}{400} \cdot 350 = 0,875$$

Con esto, se obtiene el cálculo del riesgo de degradación con la ecuación (7) con el valor científico (valor máximo), como sigue:

$$Rda = \frac{1}{10} \cdot Vc \cdot Sda \quad (7)$$

$$Rda = \frac{1}{10} \cdot 8,75 \cdot 0,875 = 0,765$$

La Tabla 3.1 muestra la tabla de valoración para el Cerro de Las Navajas.

### 3.3.5. Comentario

Tomando en cuenta la confluencia de particularidades geológicas, el color único de la obsidiana, el tipo de vulcanismo y la secuencia geo-arqueológica de Las Navajas, el valor científico es el de mayor peso, comparado con el turístico y el didáctico. La intención de los parámetros “condiciones de observación” y “grado de conservación”, para el caso del sitio, parecen no tomar en consideración algunos atributos centrales. Por un lado, en cuanto a condiciones de observación se refiere, la característica de la capa de obsidiana que se encuentra en el subsuelo, producto de la evolución del volcán y la cual sólo es accesible mediante la excavación de túneles, galerías y tiros. En el sitio de la cantera, sin

embargo, es posible apreciar algunos horizontes discontinuos de obsidiana, con el riesgo de exponerse demasiado debido a la inestabilidad del talud.

Las condiciones de observación *ex-situ*, como las que se aprecian en la zona de talleres prehispánicos y de la Colonia, ofrecen la posibilidad de observar la obsidiana producto de la talla. Al ser la minería una actividad inherente al potencial de uso del lugar, es necesario reconocer que la práctica extractiva ayuda a incrementar el grado de conocimiento del lugar, pues permite delimitar la extensión de la capa de obsidiana y poner a descubierto la diversidad de coloraciones y variedades de vidrio volcánico. En otras palabras, en Las Navajas, el conocimiento científico, y en consecuencia el valor científico, se verá incrementado en tanto exista minería regulada, de lo contrario, bajo las condiciones actuales el valor científico continuará siendo degradado sobremanera por la carencia de una normativa exhaustiva y sensible a las condiciones del geosito y de su comunidad. Acaso un punto de partida para la delimitación inicial de polígonos de conservación sean las áreas de la secuencia geo-arqueológica de la Figura 2.18.

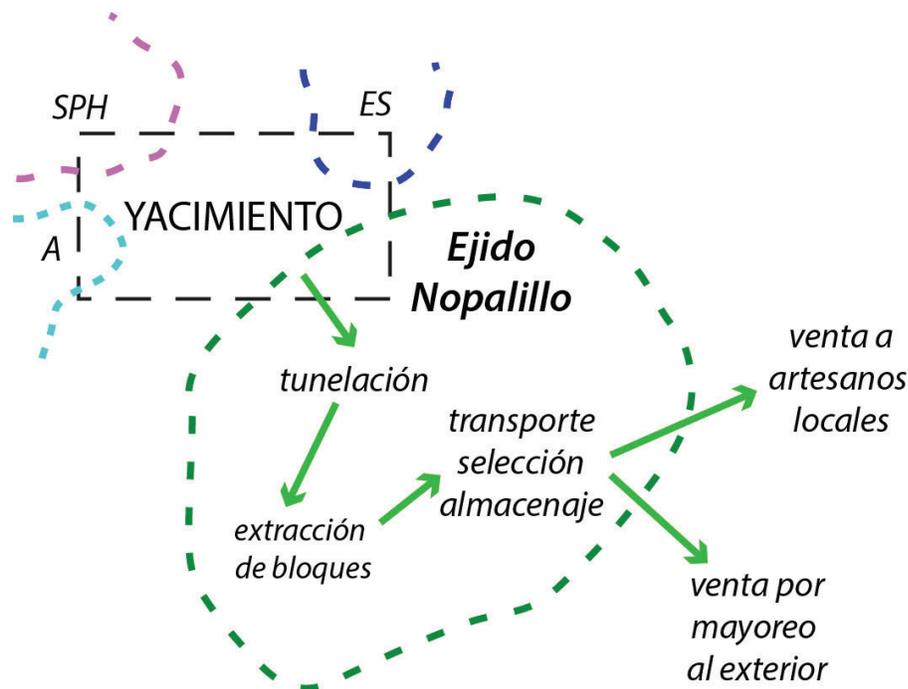


Figura 3.3: Cadena de producción de obsidiana verde-dorada en el ejido Nopalillo, cuyo polígono ejidal (en verde punteado) se encuentra en la porción SW del volcán de Las Navajas. El yacimiento de obsidiana, de extensión desconocida, aunque inferida visualmente hacia la porción N del cono, principalmente, es compartido también por los ejidos de Alfajayucan (A), El Susto (ES) y San Pedro Huixotitla (SPH), quienes no practican la minería en las dimensiones de Nopalillo.

La estimación de la cantidad de obsidiana del yacimiento es preliminar, pero se en-

cuentra en el orden de millones de toneladas. Pero debe anotarse, sin embargo, que si bien la base del volcán es de 12 km de largo, no todo está bajo potestad de un ejido. Nopalillo tiene manejo del área en la pendiente SW del volcán, y colinda con áreas de los ejidos de El Susto, San Pedro Huixotitla y San Juan Alfajayucan (Figura 3.3). Si bien la explotación de la obsidiana es visible en Nopalillo, la extracción no está bien desarrollada en los demás polígonos ejidales colindantes. Esto no sugiere que la obsidiana se encuentra concentrada en Nopalillo, sino que más bien es el área que más ha sido estudiada por el equipo de arqueólogos del INAH, quienes han descubierto y analizado la secuencia geoarqueológica de explotación. Las demás porciones se encuentran poco estudiadas pero ofrecen oportunidades de estudio.

La carencia de una figura de conservación en el yacimiento es un tema complejo pues supone necesariamente un control de manejo y plan de aprovechamiento del recurso (obsidiana). Pero no solo eso, el estado de conservación de Las Navajas revela un abordaje de minería-geoconservación de implicaciones sociales directas, pues la obsidiana constituye un recurso que beneficia directamente a la comunidad. La obstrucción de la minería, para atender una agenda conservacionista puede ser vista desde aristas diferentes a los intereses de la comunidad y ello tiene un papel sensible. La co-responsabilidad de la academia y del geoparque en este asunto no es menor, pues desde un punto de vista geoético, la minería local puede ser abordada como una medida de conservación del patrimonio cultural que se practica en los talleres artesanales de la comunidad.

En la práctica, la carencia de regulación es un factor que contribuye a la degradación pues, producto de la demanda de compra de la obsidiana, la búsqueda y extracción de bloques continúa en el subsuelo. En sentido estricto, la obsidiana no es un bien denunciabile, de acuerdo con la Ley Minera de México (2014). Es decir, no se otorga una concesión minera para la exploración o explotación de obsidiana. Pero el carácter no denunciabile en torno a la obsidiana no parece ser el motivo de la situación actual de Las Navajas, pues aun cuando el ópalo sí está considerado en la Ley Minera de México, ésta no parece aportar soluciones a la situación del gambusinaje y producción local en las minas de Guanajuato o Querétaro (Secretaría de Economía de México, 2015), en donde la falta de un plan de extracción, por ejemplo, carece de tecnificación. La extracción es rudimentaria, similar a Las Navajas; no hay implementación de maquinaria o de tecnología extractiva, originándose bajo estas condiciones de precariedad y no regulación conflictos entre grupos locales y otros derivados de los intermediarios en los procesos de venta y producción final. Con esto, aunque exista un marco legislativo de regulación, como la concesión minera, el manejo del yacimiento es propenso a situaciones de conflicto y, en consecuencia, con implicaciones negativas para la geoconservación.

En un marco comparativo, los valores abordados por la metodología están a la par del valor económico del proceso productivo que gira en torno a la obsidiana. La Figura 3.4 ilustra la cadena de producción de obsidiana en Las Navajas, tomando como ejemplo el caso del ejido de Nopalillo. El proceso de producción, aunque rudimentario y falto de tecnificación, constituye una actividad central para la comunidad.

En las Ciencias de la Tierra, prácticas actuales reflejo de la preocupación sobre los retos y problemáticas que implica la actividad humana, han incorporado la sostenibilidad

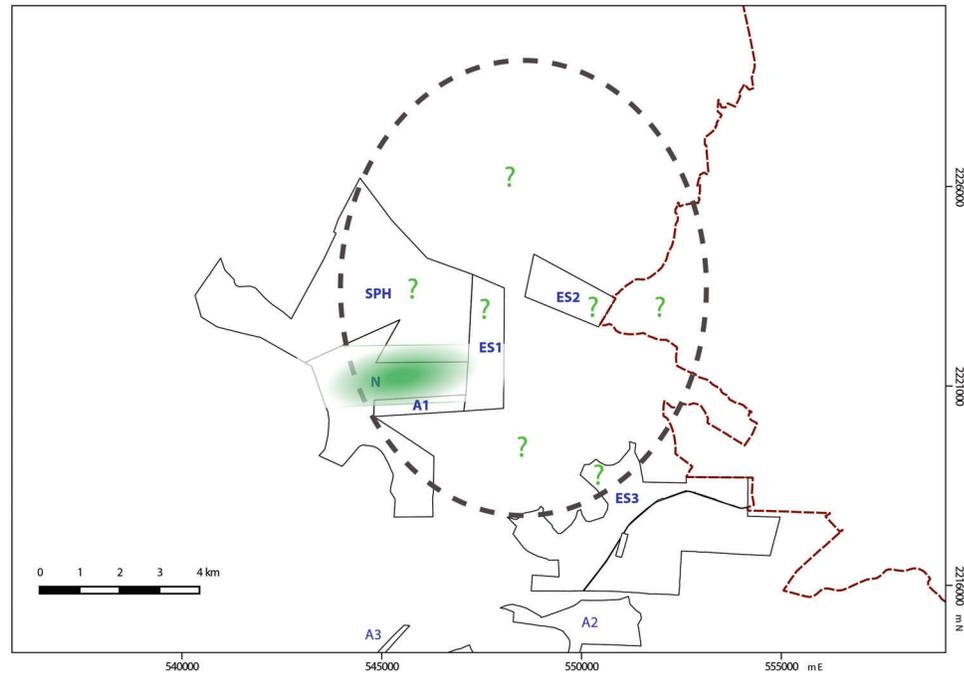


Figura 3.4: Mapa esquemático de la zona de Las Navajas. El área verde, perteneciente al ejido Nopalillo, es la zona con actividad minera. Los demás polígonos ejidales que están dentro de la zona del volcán tienen potencial para albergar obsidiana en el subsuelo. Aunque la cantidad y variedad del recurso es desconocida, el yacimiento tiene probablemente obsidiana del orden de millones de toneladas. De acuerdo con la Ley Minera Mexicana (2014), la obsidiana no es un bien denunciado. Los signos de interrogación, en verde, indican la presencia de obsidiana en el subsuelo. Un marco inapropiado de gestión pone en riesgo de degradación el yacimiento y trae consigo problemas de geoconservación. Los límites del geoparque se muestran en marrón punteado. A: Alfajayucan, ES: El Susto, N: Nopalillo, SPH: San Pedro Huixotitla.

en diversas disciplinas, como queda reflejado en la geoconservación (*cf.* Henriques *et al.*, 2011). La degradación del patrimonio geológico, sin embargo, es parte también de los procesos naturales que deterioran sus rasgos distintivos. Reconocer las contribuciones que brinda la minería al descubrimiento del patrimonio geológico lleva a considerar que la minería no es antagónica con la geoconservación y su discusión debería ser promovida para incorporar en temáticas actuales sobre sus beneficios (Brilha, 2014).

Las Navajas, como ejemplo en el que convergen distintos valores con la práctica minera, refleja la necesidad de un marco regulatorio responsable y en balance con intereses diversos. Regionalmente, América Latina al entrar de manera emergente en el campo del patrimonio geológico y geoconservación, en general carece de normativas sobre tal campo. De ser el caso, designaciones honoríficas existentes podrían fomentar la geoconservación.

Tal es el caso, por ejemplo, del Global Heritage Stone Resource (GHSR), designado por la IUGS.

Tabla 3.1: Valores científico, didáctico, turístico y riesgo de degradación por causas antrópicas de los geositos calculados con base en la metodología del IGME-SGC.

Geosito	$V_c$	$V_d$	$V_t$	$Rda$
Prismas Basálticos	<b>8.375</b>	<b>9.5</b>	<b>8.625</b>	<b>0.93</b>
Peña del Aire	<b>5.75</b>	<b>8.125</b>	<b>7.25</b>	<b>0.15</b>
Cerro de Las Navajas	<b>8.75</b>	<b>6.5</b>	<b>7.625</b>	<b>0.76</b>

En las Ciencias de la Tierra existe una variedad de designaciones internacionales que tienen por fin establecer y reconocer la contribución de ciertos elementos geológicos al entendimiento de los procesos terrestres. Estas designaciones tienen por fin reconocer el valor científico y sirven, por ejemplo, de estándares de edad (*e.g.*, Global Boundary Section Stratotype and Point) para la conformación de la escala del tiempo geológico (*e.g.*, International Chronostratigraphic Chart), el referente oficial para las edades absolutas de los diversas divisiones de tiempo del registro geológico. Actualmente existe una centena de GSSP distribuidos principalmente en el hemisferio norte; ninguno en América Latina.

El GHSR, a la vez de reconocer el valor científico de una roca, tiene por fin contribuir a la sostenibilidad mediante el reconocimiento a la identidad cultural. Existen diversos beneficios del reconocimiento internacional de la obsidiana, por medio del GHSR u otra designación internacional similar. La designación no tiene por fin detener la minería, sino más bien regularla. Al poner en valor la cadena de producción, la GHSR podría ayudar a mejorar las condiciones de trabajo de los mineros, mejorar los términos de comercialización y visibilizar el trabajo artesanal de los talleres locales. Al ser una designación de carácter comprensivo, los valores científico, turístico y didáctico de Las Navajas se verían beneficiados de una designación de este tipo; cabe anotar que no existe una designación similar en México.

La potencialidad de uso sugiere ya desde un inicio un enfoque antropizado, en donde la valorización del patrimonio geológico tiene un puntaje en una escala de uso humano, sea para construir conocimiento, para la enseñanza o como recurso económico. En la Tabla 3.1 se muestra la valoración de los geositos estudiados en este trabajo.

---

## CAPÍTULO 4

---

# Consideraciones adicionales a la metodología

A continuación, se ofrece una serie de ideas que, complementando la metodología, pueden auxiliar a una valoración más comprensiva e implementar iniciativas sobre el patrimonio geológico en la Comarca Minera, retomando las ideas comentadas en el Capítulo 3 de este trabajo.

### 4.1. Previo a la valoración del patrimonio geológico

Antes de comenzar el trabajo de valoración es conveniente recabar la información sobre el terreno, identificando las diferencias y necesidades de las áreas, así como los puntos de observación actuales y potenciales. La potencialidad de uso con fines científicos, didácticos y/o turísticos del patrimonio geológico puede ser algo nuevo para algunas comunidades, y pueden existir zonas de observación más accesibles unas que otras, y también condiciones socioeconómicas distintas entre las comunidades. El desconocimiento de las características comunales (tenencia de la tierra, involucramiento con las áreas naturales protegidas cercanas, comités de organización local, grupos originarios) de un área limita al evaluador del patrimonio geológico que, pese a su experiencia en el ramo o en el conocimiento científico de un área, puede llevar a cabo una evaluación sesgada en términos de patrimonio, servicios geosistémicos, resiliencia, vínculo con otros valores del patrimonio, por mencionar algunos. Bajo esta consideración, la metodología debería abordarse con una pregunta preliminar tipo ¿qué condiciones de desigualdad o rezago social existen en el área a evaluar? o ¿existen conflictos o diferencias entre grupos comunales en un área del patrimonio geológico?. Al abordar estas preguntas preliminares, la evaluación toma un rumbo más social pues antes de potenciar el uso científico, didáctico o turístico de un área se antepone las particularidades existentes entre comunidades. El patrimonio geológico como una vía hacia condiciones balanceadas en términos económicos, de infraestructura, de accesibilidad, de participación y compromiso de las comunidades es un

tema de desarrollo en estudios de gestión del patrimonio.

## 4.2. Sobre el punto de observación

La presencia de uno o varios puntos de observación —miradores potenciales en donde se pueda instalar infraestructura mínima de seguridad para facilitar la observación— es un parámetro clave para la potencialidad de uso de los valores que giran en torno al patrimonio geológico. El conocimiento de las particularidades del terreno, pero sobre todo de la tenencia de la tierra ayuda a mejorar las condiciones de igualdad de las comunidades que habitan en un territorio con patrimonio geológico. En los tres casos abordados en este trabajo, el área o superficie, así como los puntos de observación del patrimonio geológico son distintos (Figuras 2.6, 2.12, 2.19. y Figura 4.1). De existir todos los puntos en un determinado terreno, bajo potestad de una comunidad, la potencialidad de uso se distribuiría de una forma que podríamos llamar uniforme.

En realidad, como se ha visto, los polígonos ejidales y su distribución no son concordantes, en sentido espacial, con el patrimonio geológico. En consecuencia, la sola panorámica, que ofrece el valor estético de una vista geológica, puede llevar a una potencialidad de uso en un determinado punto o polígono (más adelante se mencionan los servicios geosistémicos de los geositos estudiados), fomentando mejores condiciones para una comunidad que busca un beneficio derivado del patrimonio. Es decir, hablamos de un valor (estético, educativo, turístico) que es trasladado y en donde no es físicamente necesario estar en el lugar donde aflora un rasgo geológico particular. Así, se hablaría de puntos y áreas de observación, con miras a una distribución de valores en el área. La Figura 4.1 ilustra de manera general este aspecto.

Como seguimiento a la metodología, el traslado y distribución de valores puede verse muy beneficiado de estrategias de divulgación que hilen los puntos de observación de forma coherente. El *storytelling* es un recurso divulgativo para apoyar estrategias de mercadotecnia, incorporando otros patrimonios (*i.e.*, cultural, biota-ecosistemas). Es claro que los puntos o áreas de observación, en sus diferencias espaciales, de terreno o de vegetación nunca estarán en condiciones de igualdad en sentido estricto, lo que lleva a sugerir que la potencialidad de uso, mediante una estrategia de divulgación, debe tomar tales diferencias e hilvanar de forma armónica un discurso coherente. Un producto final de tales iniciativas sería, por ejemplo, un plan de interpretación de los puntos de observación. Esta consideración nos lleva a plantearnos ¿es el punto de observación el condicionante para el aprovechamiento únicamente de la comunidad que lo posee?

## 4.3. Designaciones internacionales

A la vista de los GSSP designados por la IUGS y su distribución preferentemente en el hemisferio norte, la carencia de representación en América Latina parece desafortunada. La situación con el GHSR es similar. Las Navajas, como se refirió en el Capítulo 3, tiene potencial para ser designada como GHSR, de acuerdo con los lineamientos actuales de

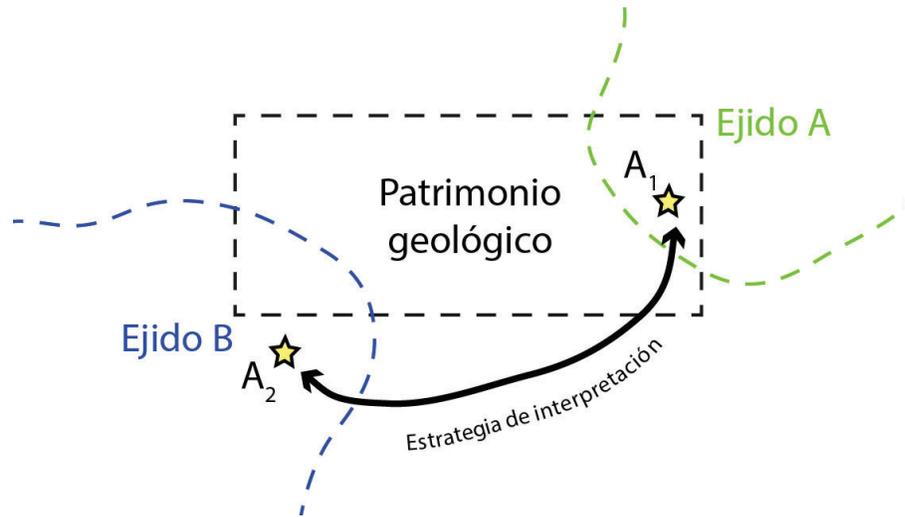


Figura 4.1: Esquema conceptual sobre un área de patrimonio geológico cuya extensión no bien delimitada es compartida por dos áreas ejidales A y B. El “mejor” punto de observación A1 se ubica dentro del área expuesta del patrimonio geológico, cuenta con mejores condiciones de accesibilidad e infraestructura turística (*i.e.*, valoración turística, científica y didáctica más alta). En cambio, el punto de observación A2, fuera del área (aparente) identificable para el patrimonio geológico, está en desventaja desde el punto de la valoración científica, didáctica y turística que, además, puede reflejarse en condiciones distintas de accesibilidad e infraestructura, aunque en cambio, puede ofrecer un punto de observación paisajístico, con una panorámica amplia del área patrimonial (un mirador) si se crean las condiciones para ello (*e.g.*, un camino de acceso nuevo, mejoramiento de la visibilidad con un mirador, señalética de acceso, etc.). Una estrategia de interpretación e integración entre A1 y A2 puede ayudar a redistribuir el valor entre ambos puntos de observación y crear un balance aceptable para beneficio de los ejidos A y B. Esta condición debe ser prevista por el/la evaluador/a del patrimonio y exige de él/ella una postura geotética y en colaboración con la comunidad.

la Heritage Stone Subcommittee. Cabría preguntarse, ¿qué otros territorios o geositos tienen una situación similar a Las Navajas en América Latina?

Para el caso del GHSR, la HSS toma en consideración las siguientes características para una designación: nombre formal para el GHSR propuesto; origen del nombre; nombre estratigráfico o geológico; designaciones comerciales y otros nombres utilizados, así como uso inapropiado de nombres; área de ocurrencia; ubicación principal de sitios de extracción; detalles de producción, de ser posible; información sobre la manufactura, sea local o internacional; marco geológico y edad; clasificación petrográfica y características; colores primarios y estética de la roca, propiedades técnicas o físicas de la roca; formas de utilización actuales; vulnerabilidad o capacidad de suministro del recurso; uso histórico, extensión geográfica de influencia, comercialización; edificios o piezas; aspectos patrimoniales asociados; otras designaciones; piedras o rocas dimensionables relacionadas; literatura asociada a la roca e imágenes y fotografías.

Si bien la guía de candidatura para GHSR requiere de un análisis arqueológico que

acompañe la candidatura, los términos de referencia se prestan a la interpretación (*e.g.*, sólo es patrimonio si la roca ha sido utilizada por mínimo 100 años, sin dar razones de por qué este lapso), o bien, pese a considerar el valor cultural que pueda tener una roca como símbolo de identidad (local o nacional) deja fuera todo material geológico, como la obsidiana, aparentemente fuera de las consideraciones actuales de los lineamientos de la designación, sesgando desde un inicio el tratamiento de cualquier candidatura que no esté alineada con los preceptos de la comisión (v. GHSR, Terms of reference, 2019).

Del listado anterior, los requerimientos “detalles de producción”, “información de manufactura”, “formas de utilización actuales”, “vulnerabilidad o capacidad de suministro del recurso” y “aspectos patrimoniales asociados” parecen de carácter sensible pues, la obsidiana y el área, se encuentran dentro de un geoparque. Los estatutos del IGGP de la UNESCO, en su sección 3, inciso vii) mencionan que el órgano de gestión de un geoparque no debe participar o apoyar la venta de patrimonio geológico y, de ser el caso, debe justificarse como una actividad practicada de forma responsable para apoyar labores didácticas y científicas. Asimismo, el inciso vii) menciona que se podrá tolerar el comercio de materiales geológicos conforme a ese sistema en circunstancias excepcionales, siempre y cuando se explique, justifique y supervise clara y públicamente como la mejor opción del geoparque mundial en función de las circunstancias locales. Dichas circunstancias deberán ser aprobadas en cada caso por el consejo de los geoparques mundiales de la UNESCO (IGCP, 2015).

La convivencia entre los geoparques y las actividades extractivas no está entonces en una situación antagónica, pues como refieren los estatutos del programa puede existir una justificación para considerar un estado de excepción. Asimismo, la designación como GHSR no es contraria a los objetivos del programa IGGP UNESCO, pues tiene por fin visibilizar el patrimonio cultural asociado al patrimonio geológico, buscando un manejo sostenible. De ser el caso, la complementación entre ambas designaciones sería beneficiosa para complementar el manejo de la obsidiana en Las Navajas. Si bien en sentido estricto la obsidiana no es una roca dimensionable, como formalmente la designación GHSR tiene por objeto, su inclusión dentro de esta designación debería tomarse en cuenta, pues es una roca con múltiple importancia geológica, arqueológica, histórica y cultural, aspectos abordados en los estatutos de designación de la subcomisión. En este sentido, la GHSR es una designación a la roca y a al valor cultural y a la práctica minera que sobre ella se ejerce. También, una designación internacional como la GHSR no es el último paso para la conservación y manejo de Las Navajas, pues, como se ha visto, la tenencia de la tierra es muy particular para el caso. De darse la designación, debería fomentarse un carácter comprensivo, de manera que busque incidir positivamente en los ejidos que comparten área en Las Navajas y con apoyo de los gobiernos municipal y estatal.

En sentido amplio, América Latina, como región minera histórica, puede presentar casos de traslape similares de minería y territorios geoparque. De manera que la región y sus grupos de trabajo regionales deberían implementar la discusión de la minería y la geoconservación en sus líneas de trabajo como temáticas de sus conferencias y eventos relacionados, así como el reforzamiento de alianzas con las comunidades locales y la conformación de mesas de discusión con empresas mineras. El advenimiento de conflictos

sociales derivados de la minería ha sido un tema muy sensible en América Latina, en donde la visión estatal y empresarial ha optado por políticas resolutorias y un cambio hacia programas de Responsabilidad Social Empresarial para atender conflictos de distribución ecológica.

Este apartado tiene como propósito apoyar la candidatura de la obsidiana como GHSR, que es una designación científica que reconoce el valor internacional, pero también local, del patrimonio geológico en un sentido amplio, por su conexión con aspectos históricos y culturales; esto es, en un sentido amplio que se puede reconocer como geopatrimonio.

## 4.4. Servicios geosistémicos

El reconocimiento y vínculo de la geodiversidad con bienes y servicios al ser humano y a la naturaleza es en sí mismo un elemento de valor. La inclusión del término geodiversidad en la valoración y a su importancia en la gestión de la naturaleza y en consecuencia, de su conservación, está vinculada al reconocimiento de los servicios geosistémicos (*cf.* Gray, 2008). Los servicios ambientales o ecosistémicos (*ecosystem services*), como primeramente fueron introducidos, se refieren a las condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales (*i.e.*, biodiversidad), y las especies que los conforman, sostienen y satisfacen la vida humana. Éstos mantienen la biodiversidad y la producción de bienes ambientales, tales como alimentos del mar, forraje, recursos madereros, la biomasa, los combustibles, las fibras naturales, farmacéuticos diversos, productos industriales y sus precursores. Además de la producción de bienes, los servicios ambientales son el soporte de las funciones vitales, tales como la limpieza, el reciclaje y renovación, y confieren beneficios intangibles estéticos y culturales (Daily, 1997).

En México, los servicios ambientales cuentan con una estructura de gestión institucional de participación internacional llevada a cabo por la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES), el cual es un órgano intergubernamental independiente cuyo fin es fortalecer la interfaz científico-normativa entre la diversidad biológica y los servicios de los ecosistemas para la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica, el bienestar de los seres humanos a largo plazo y el desarrollo sostenible (Biodiversidad Mexicana, 2020). Los inicios de IPBES en 2010 con la petición de estados miembros de la ONU para la creación de un organismo intergubernamental de carácter científico buscó abordar temas relativos a la biodiversidad y a los servicios ambientales.

Como resultado de la Asamblea General de la ONU (ONU, Resolución 65/162, 2011) no se estableció a la IPBES como un cuerpo dentro de su estructura. Posteriormente, en 2012, los Estados convinieron en iniciar funciones de IPBES como un cuerpo intergubernamental en colaboración con la ONU, aunque de forma independiente. Actualmente, la estructura administrativa central de IPBES, incluyendo su secretario en funciones, están adscritos al Programa para el Medio Ambiente de la ONU. Podemos observar que, similarmente con el IGGP de la UNESCO, existe una colaboración entre los estados miembros, la dirección del programa y una estructura organizativa externa formada por

ONGs y redes regionales. La representación de México ante la IPBES está asignada a CONABIO desde 2012.

Si bien los trabajos sobre los servicios ambientales incluyen en cierto sentido la parte abiótica, es cierto también que existe una mención casi exclusiva a la biodiversidad. Trabajos recientes, sin embargo, han resaltado ese sesgo y han subrayado la necesidad de incluir la geodiversidad en la concepción sobre la gestión de la naturaleza y su apreciación (el lector es referido a los trabajos de Gray, 2011, y referencias ahí citadas). En México, como en la región de América Latina también, los avances respecto a los servicios geosistémicos y su seguimiento institucional es precario.

Dado que el patrimonio geológico se encuentra incluido en un medio natural, la identificación de los servicios que provee un cierto elemento puede llevar a una valoración más amplia, pues se tomarían en cuenta otros aspectos que vendrían a sumar valor al patrimonio geológico. Gray (2011), tomando como base la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2003) y tomando como punto inicial el trabajo de de Groot (1992) y Webber *et al.* (2006), menciona 25 servicios de la geodiversidad divididos en cinco categorías (Gray, 2011): 1) reguladores; 2) soporte 3) cultural; 4) aprovisionamiento; y 5) conocimiento. Un ejercicio de identificación de los servicios geosistémicos sobre los tres geositos abordados en este trabajo permite listar aquellos presentes en cada uno (Figura 4.2).

#### 4.4.1. Servicios geosistémicos en Prismas Basálticos y Peña del Aire

Dado que la unidad basáltica es la misma para los dos geositos, se abordará a continuación una serie de comentarios sobre los servicios que proporciona la unidad basáltica, señalando las diferencias entre los que se ubican en uno u otro lugar, de manera aproximada. Para los servicios de regulación, se puede vincular el sitio de prismas basálticos con los derivados de procesos terrestres, por el origen y evolución de la barranca de Regla, Aguacatitla y Metztitlán. Asimismo, la unidad de los prismas junto con la presa San Antonio, sirven de contenedor de agua, por lo que se asigna el servicio de cantidad y calidad del agua. También, hacia el norte, en Aguacatitla, la misma unidad basáltica forma parte del sistema fluvial de los ríos tributarios del río Venados o Tulancingo.

En cuanto a los servicios de soporte, sobre la meseta basáltica en las inmediaciones de Aguacatitla y Peña del Aire, se desarrolla una importante actividad agraria de cultivo, promovida por la meteorización de la roca, por lo que se puede identificar un servicio asociado al desarrollo de suelos. El desarrollo de paredes verticales en la barranca de Metztitlán, en las inmediaciones de Peña del Aire, proporciona un hábitat para variedades de aves y, en Aguacatitla, el acueducto subterráneo y las cuevas desarrolladas en la unidad permiten la hibernación de colonias importantes de murciélagos.

Es necesario considerar el servicio de la tierra como plataforma para la actividad humana pues los asentamientos del área se encuentran sobre esta unidad o sobre el suelo derivado de ella. Respecto a los servicios culturales, el área cuenta con los asociados a calidad ambiental, geoturismo y recreación, significado histórico y cultural, inspiración artística y desarrollo social, al ser destino de prácticas escolares y excursiones de campo

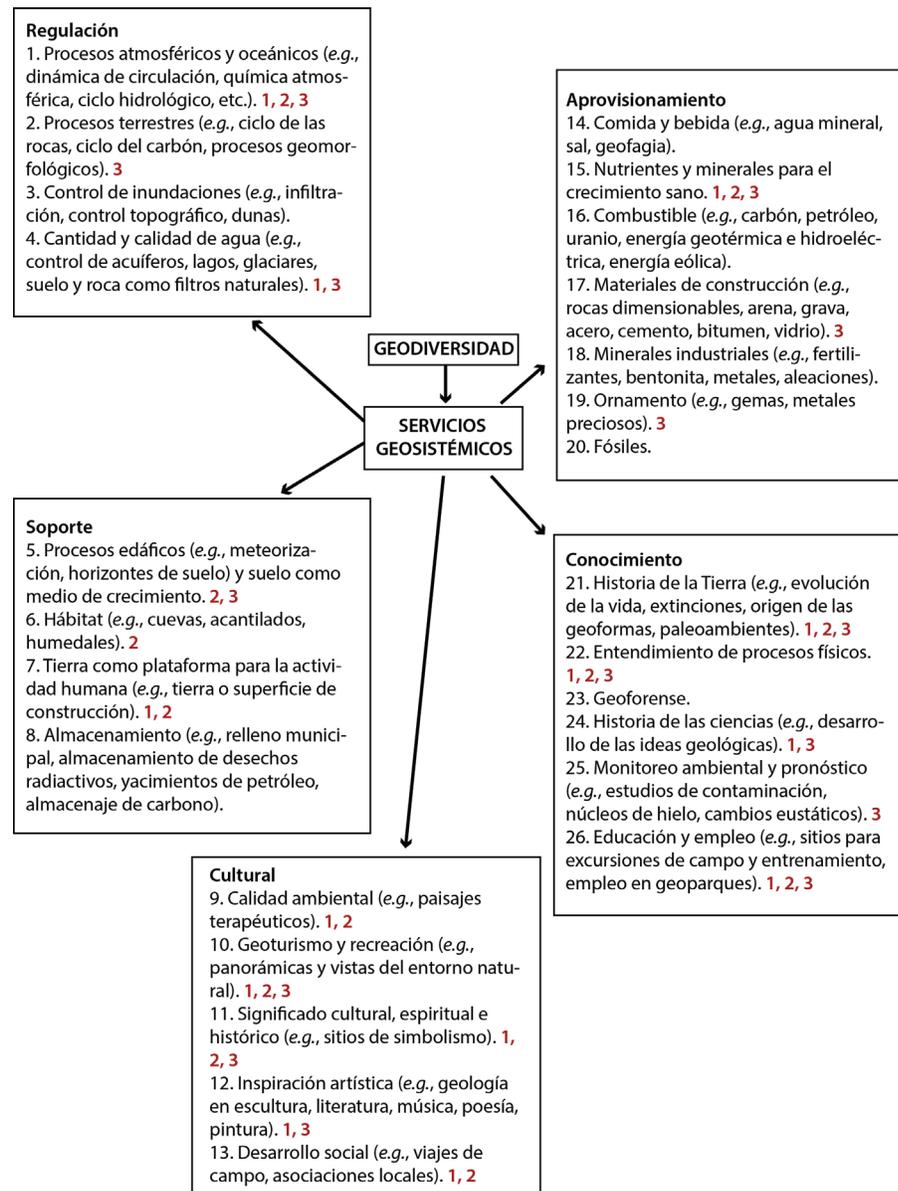


Figura 4.2: Servicios geosistémicos identificados para los tres geositos. (1) Prismas Basálticos. (2) Peña del Aire. (3) Cerro de Las Navajas. Modificado de Gray (2011).

de sociedades geológicas y actividades al aire libre.

En servicios de aprovisionamiento podemos identificar que los sitios ofrecen nutrientes para el desarrollo de la flora, especialmente, en el área de la reserva de la biosfera y su área de influencia. Por último, para los servicios de conocimiento, los sitios son fuente de conocimiento para la historia terrestre, específicamente, de la evolución desde el Cretácico Superior, pues permiten reconstruir el origen y evolución de paleoambientes, hasta el

desarrollo lacustre del paleolago de Amajac y el vulcanismo basáltico de la zona. También, existe un servicio de entendimiento de procesos físicos a través de la conformación de las barrancas mismas, así como del modelo de emplazamiento-solidificación-disyunción de los basaltos columnares, pero también del papel de la erosión en el modelamiento del paisaje, como se aprecia en Peña del Aire y en las paredes de la barranca (Figura 4.3).

Asociado al desarrollo de las ideas tempranas sobre el origen del basalto columnar, la localidad de Prismas Basálticos se relaciona con un servicio de la historia de la investigación, al ser una localidad visitada y descrita por Humboldt en 1803. También, el desarrollo científico continuo y actual sobre las ideas en torno a la disyunción columnar es un reflejo de la generación de conocimiento. Por último, los sitios cuentan con un servicio de educación y empleo, al ser localidades en donde se llevan a cabo viajes y prácticas de campo, entrenamiento y empleo para el *staff* del geoparque.



Figura 4.3: Panorámica desde Peña del Aire que permite la observación del sistema fluvial del río Venados (o Tulancingo) el cual contribuye al ciclo hidrológico de la región, los sedimentos del sistema son aportados también por la erosión de las paredes del cañón. Los depósitos del lindero del río permiten estimar la crecida máxima del río en tiempos de lluvia. La vegetación de la reserva crece y se desarrolla en el sistema del cañón. En los linderos del río se cosecha nuez, aguacate, chirimoya, naranja, papaya, durazno, limón y verduras diversas. Fotografía: Miguel Cruz.

#### 4.4.2. Servicios geosistémicos del Cerro de Las Navajas

Para los servicios de regulación, dadas las características de elevación y a la zona boscosa que existe en el lugar, se puede identificar uno de regulación asociado al ciclo hidrológico y otro asociado a la cantidad y calidad de agua. El servicio de procesos terrestres está reflejado también en el ciclo de las rocas por la erosión de las rocas extrusivas así como a procesos geomorfológicos producto de la evolución del edificio volcánico. En cuanto a los servicios de soporte, se puede apuntar uno de procesos de suelo o edáficos, que permiten el desarrollo de la cubierta vegetal.

Para los servicios culturales, Las Navajas es un sitio en donde se practica el geoturismo y actividades de recreación. Cuenta también con simbolismo y significado histórico por la actividad extractiva histórica y la secuencia de explotación del yacimiento, así como por las expediciones y exploraciones históricas de los siglos XIX y XX. También, la obsidiana en sí es una fuente artesanal reflejada en las piezas elaboradas en los talleres de la comunidad, asociada a un servicio de inspiración artística. Respecto a los servicios de aprovisionamiento, el yacimiento provee la obsidiana para la elaboración de ornamentos y la cantera cercana de material de construcción (Figura 4.4).



Figura 4.4: Servicios geosistémicos en Las Navajas. En la cantera se obtiene aprovisionamiento para construcción. La sección también permite la observación de la estratigrafía de Las Navajas para fines de investigación y didácticos (servicios de conocimiento). La cubierta boscosa en la porción superior se desarrolla gracias a los procesos edáficos del lugar (servicios de soporte). Fotografía: Erika Salgado.

Finalmente, en servicios de conocimiento se puede identificar que Las Navajas provee

fuentes de conocimiento sobre la evolución de la FVTM, así como de los paleoambientes derivados de la erupción explosiva del volcán. El vulcanismo bimodal, asociado con la secuencia basáltica es también un ejemplo de procesos físicos y químicos asociados con el vulcanismo explosivo y efusivo de la secuencia, así como los procesos que dan origen al color en las diferentes variedades de obsidiana, incluyendo el peculiar tono verde-dorado. También, Las Navajas tiene importancia en la historia de la investigación geológica, pues fue una zona a partir de la cual se elaboraron trabajos geológicos desde el siglo XIX, como se abordó en el Capítulo 2. Dada la historia explosiva del volcán, los estudios sobre él pueden ayudar a brindar información sobre la huella climática causada por erupciones explosivas, así como ayudar a la elaboración de modelos climáticos (*cf.* Robock y Mao, 1992; Robock, 2000). También, Las Navajas cuenta con un servicio geosistémico relacionado con la educación y el empleo, al ser un lugar en donde se llevan a cabo prácticas escolares, visitas de campo de excursiones geológicas y empleo para guías locales del geoparque.

Se puede reconocer que, si bien por un lado existe un abordaje de los servicios (ambientales) desde el punto de vista científico, hay otro relacionado a la valoración económica de los “activos” naturales desde la economía ambiental, pues en sí la naturaleza es un recurso económico. La visión antrópica de los procesos naturales, sin embargo, ha sido criticada por su postura para monetizar la naturaleza (Sullivan, 2012) y la creación de estructuras financieras incorporando conceptos como “capital natural”, es decir, bajo una practicalidad de los procesos naturales en sentido de uso y aprovechamiento humano, en otras palabras, de la potencialidad de uso.

La incorporación de prácticas y estrategias económicas en torno al capital natural queda fuera de este estudio, pero es importante reconocer que, desde una política de Estado, las instituciones gubernamentales tienen definida una agenda de conservación incorporando el capital natural en sus iniciativas, principalmente enfocada a la biodiversidad (v. CONABIO, 2006). El enfoque de los servicios geosistémicos es relativamente nuevo (*cf.* Gray, 2008) y su terminología o institucionalización no se ha reflejado todavía en la IUCN o en instituciones mexicanas, aunque se espera que el auge de la geoconservación y los estudios del patrimonio geológico denoten más atención a esta temática emergente en políticas públicas en el país, pues su relación con estudios de ecología, gestión de la naturaleza y de recursos naturales son cada vez mayores (*cf.* Van Ree y van Veukering, 2016; Voltchko *et al.*, 2020).

## 4.5. Resiliencia

La permanente convivencia entre el ser humano y su entorno natural lo lleva de manera inevitable a experimentar fenómenos geológicos que pueden ser catastróficos para los asentamientos humanos: terremotos, procesos de remoción en masa, erupciones volcánicas, inundaciones, etc. La geodiversidad, y el patrimonio geológico, al ser el registro de fenómenos y procesos geológicos, pueden ser fuente de conocimiento y sensibilización para mitigar el efecto negativo sobre las comunidades y propiciar una respuesta eficiente para reponerse de una situación de desastre, fortaleciendo la resiliencia de los grupos sociales,



Figura 4.5: Obtención y extracción rudimentaria de obsidiana en Las Navajas, principal actividad económica del ejido. La actividad minera, pese al marco normativo comprensivo en el sitio, contribuye al conocimiento científico del lugar al extraer la obsidiana del subsuelo. Fotografía: cortesía de Alejandro Pastrana.

las actividades económicas, las localidades y ciudades.

De acuerdo con el cálculo de la CRED-UNISDR (2017), las pérdidas derivadas de desastres naturales, en relación al Producto Interno Bruto, asociados al clima o a procesos geológicos, en el periodo 1998-2017, están valorados en 48 % para Oceanía, 42 % para América, 42 % para Asia, 38 % para Europa y 14 % para África.

En términos de procesos geológicos, específicamente, el reporte CRED-UNISDR (2017) refiere una pérdida económica de 43 % asociado a terremotos, 11 % asociado a actividad volcánica y 8 % a fenómenos de remoción en masa. Este porcentaje, aunque aproximado, refleja la incidencia que tiene el medio abiótico en la vida humana. La sensibilidad con que se toma esa incidencia se puede ver, por ejemplo, en la iniciativa de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres que coordina y da seguimiento a iniciativas globales en torno a la mitigación del impacto de desastres (*e.g.*, Plataforma Global para la Reducción de Desastres, Marco de Sendai).

La potencialidad de uso del patrimonio geológico con fines de resiliencia puede ser algo muy útil y de hecho es algo que es tomado en cuenta en estudios recientes del geopatrimonio (*e.g.*, van Wyk de Vries, 2019). El GCM y, en general, los territorios de geoparque de América Latina —la red GeoLAC tiene por logo la trinchera mesoamericana y andina—, son territorios que registran fenómenos geológicos, como sismicidad y volcanes activos, sobre los cuales la sociedad convive de forma cotidiana. El marco tectónico de

la región centro-sur de México experimenta constantemente movimientos telúricos, con eventos recientes de magnitudes elevadas y con fuerte impacto en los centros urbanos y comunidades (*e.g.*, sismos de septiembre de 1985 y 2017, como ejemplos recientes).

EL GCM, por su condición fisiográfica y la infraestructura carretera con que cuenta, es propensa a sufrir procesos de remoción en masa (v. Cervantes-Piña, 2017) y otros derivados de procesos volcánicos (v. Martínez-Serrano, 2018). También, por la contribución fluvial de las partes elevadas del terreno y los sistemas tributarios del río Venados, desastres asociados a la acción fluvial no deberían ser descartados. Por último, por la intensa actividad minera y el número, del orden de centenares quizá, de tiros y excavaciones mineras en la zona de El Chico, Pachuca y Real del Monte son un foco de atención. ¿Qué posibilidades ofrece enfocar el patrimonio geológico (y el industrial minero) en estrategias de resiliencia en Comarca Minera y, en general, en América Latina? La medición de la resiliencia en riesgos geológicos es un tema actual y el patrimonio geológico puede formar parte clave de las acciones de educación y mitigación.

Las consideraciones reflejadas en este capítulo tienen una componente social pues, tomando en cuenta las variabilidades organizativas, principalmente ejidales, de muchos de los geositos del geoparque, denotan una necesidad de abordar la metodología considerando las diferencias (puntos de observación, potencialidad de designaciones, resiliencia, servicios geosistémicos) y valorizando, fuera de un enfoque de usuario (externo), las oportunidades de un enfoque participativo. Asimismo, las consideraciones de este capítulo, reflejan el avance y rezago de la institucionalización de iniciativas en torno a la geodiversidad. Los puntos aquí tratados pueden ayudar a delinear prioridades de política pública para atender una agenda responsable con el medio natural, organizar grupos de trabajo, elaborar alianzas estratégicas y tejer una visión de geoconservación que no estigmatice los procesos productivos o extractivos.

---

## CONCLUSIONES

---

La formulación de metodologías de valoración del patrimonio geológico constituye una guía esencial para el estudio de nuevas áreas, a escalas diversas y es un acercamiento que ha cobrado creciente interés en América Latina con la puesta en marcha y presencia de los geoparques mundiales de la UNESCO. La geología, al conferirle un carácter patrimonial, conduce a la gestación de políticas y a la convergencia de intereses diversos que llevan a la institucionalización, con el caso de Colombia, Uruguay, Perú y Chile como ejemplos de América Latina a través de sus servicios geológicos. A la genealogía de la patrimonialización de la geología en América Latina, se une posteriormente México, cuando obtiene la doble designación del programa de geoparques de la UNESCO y para la que cuenta con iniciativas aún tempranas rumbo a la formalización de programas nacionales, impulsadas principalmente a través del poder legislativo.

La creciente patrimonialización de la geología en la visión de organizaciones internacionales de geología y conservación (IUCN, IUGS) es un factor que, de forma externa, funge como presión para abordar el patrimonio geológico, por ejemplo, por medio de sus estados miembros, de los que México forma parte a través de agencias gubernamentales encargadas de la gestión de la naturaleza y el medio ambiente. En el escenario de la institucionalización del patrimonio geológico para México (como es el caso de la biodiversidad a través de CONABIO y SEMARNAT), será necesario consensuar valores diversos (internacionales y locales, principalmente) con el reto de aplicar una metodología consistente, buscando integrar los conceptos a la agenda estatal (*e.g.*, conceptos como patrimonio geológico, geodiversidad, servicios geosistémicos, geoética, geopatrimonio, por mencionar algunos). Este trabajo, al aplicar un método preexistente que se aplica como visión de Estado en Colombia, es un ejercicio que subraya escenarios y retos desde el punto de vista de la tenencia de la tierra, la geoconservación y la minería para Comarca Minera y que ilustra escenarios similares para otras partes de México.

El carácter ejidal de muchos geositos presenta un reto para balancear una gestión del patrimonio geológico. El valor (científico, didáctico, turístico), al ser trasladado (*e.g.*, mediante un mirador) o al ser más accesible (*e.g.*, mejores caminos), requiere por parte del o la evaluador/a del patrimonio de una postura geoética; por ejemplo, al momento de (re)evaluar un área, como el caso de un geoparque ya en marcha o para proyectos nuevos de valoración. Casos como estos son observados en Santa María Regla-Aguacatitla, Peña del Aire y Las Navajas. Los nuevos accesos y caminos practicados por organizaciones comunales, en el marco de sus atribuciones, son una búsqueda legítima para captar recursos económicos y mejorar la infraestructura de su comunidad con el patrimonio geológico como vía.

Se aplicó el método del IGME (Carcavilla *et al.*, 2007; García-Cortés y Carcavilla-

Urquí, 2013) adaptada por el SGC (*cf.* Vargas-Anaya, 2018; SGC, 2018a). Los puntajes obtenidos para el valor científico de Prismas Basálticos, Peña del Aire y Las Navajas es de 8.37, 5.75 y 8.75, respectivamente. El valor didáctico, en el mismo orden es de 9.50, 8.12 y 6.50. Por último, el valor turístico, en el mismo orden, es de 8.62, 7.25 y 7.62. El método es replicable y permite su aplicación mediante consulta con expertos diversos sobre el área que, extendiendo y cuidando su aplicación, puede servir para ejercicios de inventario nacional si se observa el seguimiento adecuado. No obstante, este estudio es limitado pues, debido a limitaciones de carácter práctico y de tiempo la valoración estuvo sujeta a sólo un ejercicio por geositio.

La presencia de patrimonio geológico, desde una perspectiva de las comunidades poseedoras y gestores de los geositios, puede generar una postura hacia mejorar la infraestructura de sus comunidades, lo que supondrá mayor presión o exigencia a las autoridades competentes para atender y establecer una agenda de turismo responsable y geoconservación (secretarías de turismo, de planeación, ambientales).

Las Navajas es un caso particular en donde confluye un valor científico muy alto, de relevancia internacional y en donde se practica la minería rudimentaria de obsidiana. La asociación con elementos históricos y de biota-ecosistemas permite poner a la obsidiana de Las Navajas en un contexto geopatrimonial. La falta de regulación y atención en la Ley Minera Mexicana no es aparentemente la solución, pues aun cuando el ópalo sí está cubierto en la ley, su proceso de producción y venta, similar a la obsidiana de Las Navajas, permite una práctica (gambusinaje) rudimentaria no tecnificada, una comercialización no regulada que refleja la necesidad de capacitación técnico-administrativa y de gestión y manejo de zonas mineras subterráneas. El beneficio de la minería en Las Navajas proporciona, sin embargo, un medio para obtener mayor conocimiento científico del yacimiento. Bajo condiciones de gestión integrales Las Navajas puede servir de ejemplo para abordar y discutir la minería y la geoconservación.

El tema, dadas las características y la relevancia minera de América Latina, es un punto de partida para la formación de grupos de trabajo regionales. Los valores en Las Navajas analizados en este trabajo pueden ser tomados en cuenta para formalizar la candidatura de la obsidiana verde-dorada del yacimiento para ser designada como GSRH, designación internacional de la IUGS y que podría servir para exigir a las autoridades, con base en la presencia de una designación que busca ser la primera en su tipo de México y diseñar un marco regulatorio para la obsidiana verde-dorada del yacimiento, en armonía con su importancia arqueológica, histórica, inmaterial y con los usos y costumbres de la comunidad. De lo anterior se desprende que el patrimonio geológico, más que un sentido de/para el usuario (turista, visitante), tenga fines de geología social con un enfoque hacia la resiliencia. La generación de métricas para la evaluación del patrimonio geológico (sus estrategias) en los sectores de la sociedad local será, además, una línea a desarrollar también en trabajos futuros.

---

## REFERENCIAS

---

- Aguilar-Ramírez, C.F., Camprubí, A., Fitz-Díaz, E., Cienfuegos-Alvarado, E., Morales-Puente, P., 2017, Variación en la composición isotópica del agua meteórica a lo largo de la sección centro-noreste de la Sierra Madre Oriental, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 69(2), 447-463.
- Aguirre-Díaz, G.J., Labarthe-Hernández, G., 2003, Fissure ignimbrites: fissure-source origin for voluminous ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and its relationship with basin and range faulting: *Geology*, 31(9), 773-776.
- Alcalá, L., Canet, C., Mampel, L., Cruz-Pérez, M.A., Salgado-Martínez, E., 2019, Geopark field guidebooks: an indispensable tool for well-informed and responsible tourism. 15th Conference on European Geoparks. Sevilla, España, 23-27 septiembre de 2019.
- Andrews, A. P., Asaro, F., Michel, H. V., Stross, F. H., and Rivero, P. C., 1989, Special studies the obsidian trade at isla Cerritos, Yucatán, Mexico: *Journal of Field Archaeology*, 16(3), 355-363. doi:10.1179/jfa.1989.16.3.355
- Appadurai, A., 2001, The globalization of archaeology and heritage: a discussion with Arjun Appadurai: *Journal of Social Archaeology*, 1, 35-49.
- Arellano-Gil, J., Velasco-de León, P., Silva-Pineda, A., Salvador-Flores, R., Beltrán-Romero, F., 2005, Origen y características geológicas del paleo-Lago de Amajac, Hidalgo: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22(2), 199-211.
- Argote-Espino, D., Solé, J., López-García, P., Sterpone, O., 2010, Análisis composicional de seis yacimientos de obsidiana del centro de México y su clasificación con DBSCAN: *Arqueología*, 43, 197-215.
- Bellot-Gurlet, L., Poupeau, G., Salomon, J., Calligaro, T., Moignard, B., Dran, J.-C., Barrat, J.-A., Pichon, L., 2005, Obsidian provenance studies in archaeology: a comparison between PIXE, ICP-AES and ICP-MS: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 240(1-2), 583-588. doi:10.1016/j.nimb.2005.06.216
- Benito-Calvo, A., Pérez-González, A., Magri, O., Meza, P., 2009, Assessing regional geodiversity: the Iberian Peninsula: *Earth Surface Processes and Landforms*, 34, 1433-1445.
- Berliner, D., Bartolotto, C., 2013, Introduction. Le monde selon l'Unesco: *Gradhiva: Revue d'anthropologie et d'histoire Des Arts*, 18, 4-21.
- Bergengren, A., 2020, Geodiversity in Scandinavian nature management: a case study from Hedmark, Norway, and Dalarna, Sweden, *Departamento de Ciencias de la Tierra, Uni-*

- versidad de Gotemburgo, Tesis de Maestría.
- Biodiversidad Mexicana, 2020, IPBES. <https://www.biodiversidad.gob.mx/planeta/internacional/ipbes.html>, consultado 14 de mayo de 2020.
- Blackstone, D.L., 1963, Columnar jointing in sandstone: *Rocky Mountain Geology*, 2(1), 7-11.
- Bradbury, J., 2014, A keyed classification of natural geodiversity for land management and nature conservation purposes: *Proceedings of the Geologists' Association*, 125, 329-349.
- Brilha J., 2014, Mining and Geoconservation. En: Tiess G., Majumder T., Cameron P. (eds.), *Encyclopedia of Mineral and Energy Policy*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Brilha, J., 2015, Concept of geoconservation. En Tiess, G., Majumder, T., Cameron, P. (eds.), *Encyclopedia of Mineral and Energy Policy*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 10.1007/978-3-642-40871-7<sub>2</sub> – 1.
- Brilha, J., 2016, Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review: *Geoheritage*, 8, 119-134.
- Brilha, J., Gray, M., Pereira, D.I., Pereira, P., 2018, Geodiversity: an integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature: *Environmental Science and Policy*, 86, 19-28.
- Brundtland, Gro Harlem, 1987, *Our Common future: From One earth to One World*. Nueva York, Oxford University Press.
- Budkewitsch, P., Robin, P.-Y., 1994, Modelling the evolution of columnar joints: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 59, 219-239.
- Bunske, E.V., 1981, Humboldt and an aesthetic tradition in geography: *The Geographical Review*, 71(2), 127-146.
- Camprubí, A., Albinson, T., 2007, Epithermal deposits in México—Update of current knowledge, and an empirical reclassification. *Geological Society of America Special Paper* 422, 377- 415.
- Canet, C., Mora-Chaparro, J.C., Iglesias, A., Cruz-Pérez, M.A., Salgado-Martínez, E., Zamudio-Ángeles, D., Fitz-Díaz, E., Martínez-Serrano, R.G., Gil-Ríos, A., Poch, J., 2017, Cartografía geológica para la gestión del geopatrimonio y la planeación de rutas geoturísticas: aplicación en el geoparque mundial de la UNESCO Comarca Minera, Hidalgo: *Terra Digitalis*, 1(2), doi: <https://doi.org/10.22201/igg.terradigitalis.2017.2.21>
- Cantagrel, J.-., and Robin, C., 1979, K-Ar dating on eastern Mexican volcanic rocks - relations between the andesitic and the alkaline provinces: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 5(1-2), 99-114. doi:10.1016/0377-0273(79)90035-0
- Carcavilla-Urquí, L., López-Martínez, J., Durán-Valsero, J.J., 2007, Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Madrid, Servicio Geológico y Minero de España.
- Carrillo-Martínez, M., 1981, Contribución al estudio geológico del macizo calcáreo El doctor, Querétaro: *Revista del Instituto de Geología*, 5(1), 25-29.
- Cervantes-Pina, A.J., 2017, Análisis de la susceptibilidad y riesgo por procesos de remoción en masa en carreteras del proyecto geoparque Comarca Minera, Hidalgo y del municipio de Pachuca de Soto. Ciudad de México, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de Maestría.

- Cobean, R.H., Vogt, J.R., Glascock, M.D., Stocker, T.L., 1991, High-precision trace-element characterization of major mesoamerican obsidian sources and further analyses of artifacts from San Lorenzo Tenochtitlan, Mexico: *Latin American Antiquity*, 2(1), 69-91.
- Código Mendoza, 1979, Documento mexicano del siglo XVI conservado en la Biblioteca Bodleiana de la Universidad de Oxford, Inglaterra, fototipo facsimilar dispuesto por don Francisco del Paso y Troncoso, Cosmos (Mendoza). <https://treasures.bodleian.ox.ac.uk/treasures/codex-mendoza/>. Consultado 24 de mayo de 2020.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2019, Barranca de Metztitlán. Ficha del Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación. <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=9reg=7>. Consultado 19 de mayo 2020.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2019, Areas Naturales Protegidas, archivos vectoriales. [http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/info\\_shape.htm](http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/info_shape.htm).
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad), 2006, Capital natural y bienestar social. Ciudad de México, CONABIO.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), 2015, Población total, indicadores, índice y grado de rezago social, según entidad federativa, 2000, 2005, 2010 y 2015. <https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/Hidalgo/Paginas/Indice-de-Rezago-Social-2015.aspx>. Consultado 14 de agosto de 2020.
- CRED-UNISDR (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – United Nations Office for Disaster Risk Reduction), 2018, Economic losses, poverty disasters 1998-2017. CRED-UNISDR.
- Crofts, R., 2018, Putting geoheritage conservation on all agendas: *Geoheritage*, 10, 231-238.
- Crofts, R., Gordon, J.E., 2015, Geoconservation in protected areas. En Worboys, G.L., Lockwood, M., Kothari, A., Feary, S., Pulsford, I. (eds.), *Protected Area Governance and Management*. Canberra, ANU Press, 531-568.
- Cruz-Pérez, M.A., Canet, C., Salgado-Martínez, E., Morelos-Rodríguez, L., García-Alonso, E., 2018a, Geositios, En Canet, C. (coord), *Guía de Campo del Geoparque de la Comarca Minera*. Ciudad de México, Secretaría de Desarrollo Institucional, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, 147-221, doi: 10.32775/Bk.GuideCM.geosites.147.221.2018
- Cruz-Pérez, M., Canet, C., DOlivo, J., Aguilar-Arévalo, A., Salgado, E., Martínez-García, J., Vallejo-Franco, I., Jiménez-Franco, A., 2018b, Hydrothermal systems, geotourism and underground physics laboratory at Comarca Minera, Mexico. 8th International Conference on UNESCO Global Geoparks. 263.
- Cruz-Pérez, M.A., Garcés-García, E., Canet, C., 2019a, LabChico: first educational and research underground laboratory in Latin America to be installed in Comarca Minera UNESCO Global Geopark, Mexico: *GGN Newsletter 2019*, issue 2, 22-23 p.
- Cruz-Pérez, M.A., Canet, C., Pastrana, A., Domínguez-Peláez, S., Morelos-Rodríguez, L., Salgado-Martínez, E., Krieger, P., Martínez-Serrano, R.G., 2019b, La Obsidiana verde y dorada del Cerro de Las Navajas: caso de estudio de un sitio geoarqueológico en el Geoparque Mundial de la UNESCO Comarca Minera, Hidalgo, México. V Simposio Latinoamericano y del Caribe de Geoparques, Trinidad, Uruguay, 4-8 noviembre 2019.
- Daily, G.C., 1997, *Nature's Services: societal dependence on natural ecosystems*. Washing-

- ton, DC, USA: Island Press.
- de Groot, R.S., 1992, *Functions of Nature*. Groningen, Países Bajos: Wolters-Noordhoff.
- International declaration of the rights of the memory of the Earth, 1991. Digne, Francia. [https://geoheritage-iugs.mnhn.fr/media/1/20120905-declaration\\_of\\_the\\_rights\\_of\\_the\\_earth.pdf](https://geoheritage-iugs.mnhn.fr/media/1/20120905-declaration_of_the_rights_of_the_earth.pdf). Consultado 2 de septiembre de 2020.
- DeGraff, J.M., Aydin, A., 1987, Surface morphology of columnar joints and its significance to mechanisms and direction of joint growth: *Geological Society of America*, 99, 605-617.
- DeGraff, J.M., Long, P.E., Aydin, A., 1989, Use of joint-growth directions and rock textures to infer thermal regimes during solidification of basaltic lava flows: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 38, 309-324.
- Di Capua, G., Peppoloni, S., 2019, Defining geoethics. International Association for Promoting Geoethics. <http://www.geoethics.org/definition>. Consultado 24 de agosto de 2020.
- Diener-Ojeda, P., 1994, *Rugendas: Imágenes de México*, Exposición Museo Nacional de Historia, Castillo de Chapultepec, México, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, INAH, Museo Nacional de Historia.
- Donato, P., Barba, L., De Rosa, R., Niceforo, G., Pastrana, A., Donato, S., Lanzafame G., Mancini, L., Crisci, G.M., 2018, Green, grey and black: a comparative study of Sierra de las Navajas (Mexico) and Lipari (Italy) obsidians. *Quaternary International*, 467, 369-390. doi: 10.1016/j.quaint.2017.11.021
- DPIPWE, 2013, *Natural heritage strategy for Tasmania (2013-2030): securing our natural advantage*. Hobart, Australia, Department of Primary Industries, Parks, Water and Environment. [www.dpipwe.tas.gov.au/natural-heritage-strategy](http://www.dpipwe.tas.gov.au/natural-heritage-strategy). Consultado 28 de mayo de 2020.
- Dreier, J. E., 2005, The Environment of Vein Formation and Ore Deposition in the Purisima-Colon Vein System, Pachuca Real del Monte District, Hidalgo, Mexico: *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 100(7), 1325-1347, doi: 10.2113/gsecongeo.100.7.1325
- Du, Y., Girault, Y., 2018, A genealogy of UNESCO Global Geopark: emergence and evolution: *International Journal of Geoheritage and Parks*, 6(2), 1-17.
- Eguiluz De Antuñano, S., Aranda García, M., Marrett, R., 2000, Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 53, 1-26.
- Erikstad, L., 2008, History of geoconservation in Europe. En Burek, C., Prosser, C.D. (eds), *The History of Geoconservation*. Londres, Geological Society Special Publication, 300, 249-256.
- Escamilla-González, F.O., Morelos-Rodríguez, L., 2017, *Escuelas de minas mexicanas. 225 años del Real Seminario de Minería*. Ciudad de México, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ferrari, L., López-Martínez, M., Aguirre-Díaz, G., Carrasco-Núñez, G., 1999, Space-time patterns of Cenozoic arc volcanism in central Mexico: From the Sierra Madre Occidental to the Mexican Volcanic Belt: *Geology*, 27(4), 303-306.
- Ferrari, L., Valencia-Moreno, M., Bryan, S., 2005, Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución de la margen occidental de Norteamérica: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Volumen Conmemorativo del Centenario,

- Temas Selectos de la Geología Mexicana 57 (3), 343-378.
- Fitz-Díaz, E., Hudleston, P., Tolson, G., 2011, Comparison of tectonic styles in the Mexican and Canadian Rocky Mountain Fold-Thrust Belt, En Poblet, J., Lisle, R. (eds.), Kinematics and Tectonic Styles of Fold-Thrust Belt. Londres, Geological Society Special Publication 349, 149-167.
- Fitz-Díaz, E., van der Pluijm, B., 2013, Fold dating: a new Ar/Ar illite dating application to constrain the age of deformation in shallow crustal rocks: *Journal of Structural Geology*, 54, 174-179.
- Fitz-Díaz, E., Hudleston, P., Tolson, G., van der Pluijm, B., 2014, Progressive, episodic deformation in the Mexican Fold-Thrust Belt (central Mexico): evidence from isotopic dating of folds and faults. *International Geology Review*, 56(6), 734-755.
- Fitz-Díaz, E., Hernández-Vergara, R., 2018, De cuencas marinas a montañas. La historia jurásico-paleógena de la Comarca Minera de Hidalgo. En Canet C. (coord.), *Guía de Campo del Geoparque de la Comarca Minera*, Secretaría de Desarrollo Institucional, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, pp. 29-40.
- Fitz-Díaz, E., Lawton, T.F., Juárez-Arriaga, E., Chávez-Cabello, G., 2018, The Cretaceous-Paleogene Mexican orogen: structure, basin development, magmatism and tectonics: *Earth-Science Reviews*, 183, 56-84.
- Forte, J.P., 2014, Avaliação quantitativa da geodiversidade: desenvolvimento de instrumentos metodológicos com aplicação ao ordenamento do território. Minho, Escola de Ciências, Universidad de Minho. Tesis Doctoral.
- Forte, J.P., Brilha, J., Pereira, D.I., Nolasco, M., 2018, Kernel density applied to the quantitative assessment of geodiversity: *Geoheritage*, 10, 205-217.
- Gamio, M., 1922, Introduction, synthesis and conclusions of the work: the population of the Valley of Teotihuacan. México, Talleres Gráficos de la Nación.
- García-Cortés, A., Carcavilla-Urquí, L., 2013, Documento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG). Madrid, Servicio Geológico y Minero de España.
- García-Palomo, A., Macías, J.L., Tolson, G., Valdez, G., Mora, J.C., 2002, Volcanic stratigraphy and geological evolution of the Apan region, east-central sector of the Trans-Mexican Volcanic Belt: *Geofísica Internacional*, 41(2), 133-150.
- García-Palomo, A., Macías, J.L., Jiménez, A., Tolson, G., Mena, M., Sánchez-Núñez, J.M., Arce, J.L., Lauer, P.W., Santoyo, M.A., Lermo-Samaniego, J., 2018, NW-SE Pliocene-Quaternary extension in the Apan-Acocolulco region, eastern Trans-Mexican Volcanic Belt: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 349(1), 240-255.
- García-Vallès, M., Cruz-Pérez, M.A., Pastrana, A., Morelos Rodríguez, L., Canet, C., 2019, La obsidiana verde y dorada del Cerro de Las Navajas, Geoparque Comarca Minera de Hidalgo (México): un vidrio precioso milenario. XVIII Congreso Internacional sobre Patrimonio Geológico y Minero. XXII Sesión Científica de la Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero. Ponferrada (León, España), 26-29 de septiembre de 2019, 117-118.
- Geyne, A.R., Fries, Jr. C., Segerstrom, K., Black, R.F., Wilson, I.F., 1963. *Geología y ya-*

- cimientos minerales del Distrito de Pachuca-Real del Monte, Estado de Hidalgo, México. Consejo de Recursos Naturales no Renovables, Publicación 5 E.
- Global Heritage Stone Resource (GHSR), 2019, Heritage Stone Subcommittee Terms of Reference for Subcommittee and the designation of Global Heritage Stone Resources of the International Union for Geological Sciences. <http://globalheritagestone.com/reports-and-documents/terms-of-reference/>. Consultado 9 de junio de 2020.
- Glascok, M.D., 1999, An inter-laboratory comparison of element compositions for two obsidian sources: *International Association for Obsidian Studies Bulletin*, 23, 13-25.
- Glascok, M.D., Elam, J.M., Cobean, R.H., 1988, Differentiation of obsidian sources in Mesoamerica: *Proceedings of the 27th International Archaeometry Symposium, 1988*, The Archaeometry Laboratory, University of Toronto, Toronto, 245-251.
- Global Geoparks Network (GGN), 2016, The Global Geoparks Network Statutes. GGN Association. <http://globalgeoparksnetwork.org/wp-content/uploads/2016/07/GGN-Association-Statutes-FINAL-SEPTEMBER-2016.pdf>. Consultado 28 de mayo de 2020.
- Global Geoparks Network (GGN), 2020, Geoparks: territories of resilience. <https://www.visitgeoparks.org/territoriesofresilience>. Consultado 2 de septiembre de 2020.
- Gómez-Tuena, A., Orozco-Esquivel, M. T., Ferrari, L., 2005, Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 57(3), 227-283.
- González-Tejada, C., Du, Y., Read, M., Girault, Y., 2017, From nature conservation to geotourism development: examining ambivalent attitudes towards UNESCO directives with the global geopark network: *International Journal of Geoheritage*, 5(2), 1-20.
- Gordon, J.E., Barron, H.F., 2012, Valuing geodiversity and geoconservation: developing a more strategic ecosystem approach: *Scottish Geographical Journal*, 128, 278-297.
- Gray, M., 2004, *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. Sussex, Inglaterra, Wiley.
- Gray, M., 2008, Geoheritage 1. Geodiversity: a new paradigm for valuing and conserving geoheritage: *Geoscience Canada*, 35 (2), 51-59.
- Gray, M., 2011, Other nature: geodiversity and geosystem services: *Environmental Conservation*, 38, 271-274.
- Gray, M., 2012, Valuing geodiversity in an 'ecosystem services' context: *Scottish Geographical Journal*, 128, 177-194.
- Gray, M., 2018, The confused position of the geosciences within the "natural capital" and "ecosystem services" approaches: *Ecosystem Services*, 34(A), 106-112.
- Gray, M., Gordon, J., Brown, E., 2013, Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management: *Proceedings of the Geologists Association*, 124, 659-673.
- Grube, A., 1994, The national park system in Germany. En O'Halloran, D., Green, C., Harley, M., Stanley, M. Knill, J. (eds), *Geological and Landscape Conservation*. Londres, The Geological Society, 175-180.
- Henriques, M.H., Pena dos Reis, R., Brilha, J., and Mota, T., 2011, Geoconservation as an emerging geoscience: *Geoheritage*, 3(2), 117-128.
- Hildebrand, R.S., 2013, Mesozoic assembly of the North American Cordillera: *The Geological Society of America Special Paper* 495.

- Himley, M., 2012, Regularizing extraction in Andean Peru: mining and social mobilization in an age of corporate social responsibility: *Antipode*, 45(2), 394-416.
- Hjort, J., Gordon, J.E., Gray, M., Hunter Jr., M.L., 2015, Why geodiversity matters in valuing nature's stage: *Conservation Biology*, 29(3), 630-639.
- Hjort, J., Luoto, M., 2010, Geodiversity of high-latitude landscapes in northern Finland: *Geomorphology*, 115(1-2), 109-116.
- Huxley, J.S., 1947. Conservation of Nature in England and Wales. Report of the Wild Life Conservation Special Committee. HMSO, cmd. 7122.
- Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 2020, Geodiversidad, patrimonio geológico-minero y cultura científica. <http://www.igme.es/actividadesIGME/lineas/geodyPatri.htm>. Consultado 28 de mayo de 2020.
- International Union for Geological Sciences (IUGS), 2013, IUGS-Heritage Sites and Collections Subcommission. <https://geoheritage-iugs.mnhn.fr/index.php?catid=7blogid=1>. Consultado 19 de mayo de 2020.
- International Union for Geological Sciences (IUGS), 2018, IUGS International Commission on Geoheritage. Terms of reference. [https://geoheritage-iugs.mnhn.fr/media/pays/terms\\_of\\_refere\\_nce\\_of\\_commission\\_on\\_geoheritage\\_final.pdf](https://geoheritage-iugs.mnhn.fr/media/pays/terms_of_refere_nce_of_commission_on_geoheritage_final.pdf). Consultado 28 de mayo de 2020.
- Johnson, M.D., Ståhl, Y., Larsson, O., Seger, S., 2010, New exposures of Baltic Ice Lake drainage sediments, Götene, Sweden: *GFF*, 132, 1-12.
- Kiernan, K., 1990, *Geomorphology Manual*. Forestry Commission Tasmania, Hobart, Tasmania.
- Kiernan, K., 1997, Landform classification for geoconservation. En Eberhard, R. (ed.), *Pattern & Processes: Towards a Regional Approach to National Estate assessment of geodiversity*. Environment Australia Technical Series No 2.
- Lamur, A., Lavallée, Y., Iddon, F.E., Hornby, A.J., Kendrick, J.E., von Aulock, F.W., Wadsworth, F.B., 2018, Disclosing the temperature of columnar jointing in lavas: *Nature Communications*, 9, artículo 1432. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03842-4>
- León-Portilla, M., Aguilera, C., 2016, Mapa de México Tenochtitlan y sus contornos hacia 1550. Ciudad de México, Secretaría de Cultura.
- Ley Minera de México, 2014, Diario Oficial de la Federación. México.
- Machado-Silva, P.C., 2007, Inventariação do património geológico do concelho de Vieira do Minho e sua utilização com fins didácticos. Escola de Ciências, Universidad de Minho. Tesis de Maestría.
- Maletz, J., Löfgren, A., Bergström, S.M., 1996, The base of the *Tetragraptus approximatus* zone at Mt. Hunneberg, S.W. Sweden: a proposed Global Stratotype for the base of the second series of the Ordovician System: *Newsletter on Stratigraphy*, 34, 129-160.
- Manosso, F.C., de Nóbrega, M.T., 2016, Calculation of geodiversity from landscape units of the Cadeado range region in Paraná, Brazil: *Geoheritage*, 8, 189-199.
- Manzanilla, L., 2011, Metrópolis prehispánicas e impacto ambiental: el caso de Teotihuacan a través del tiempo. En Caballero M., and Ortega, B. (eds.), *Escenarios de cambio climático*, v. 1, Registros del Cuaternario en América Latina. Ciudad de México, Fomento Editorial, Universidad Nacional Autónoma de México, 287-319.

- Martínez-Serrano, R.G., 2018, 23 millones de años de historia volcánica. Estratigrafía de la región Epazoyucan-Singuilucan-Sierra de Pachuca. En Canet, C. (coord.), Guía de Campo del Geoparque de la Comarca Minera. Ciudad de México, Secretaría de Desarrollo Institucional, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, 41-52.
- Mc Keever, P.J., Zouros, N., 2005, Geoparks: celebrating Earth heritage, sustaining local communities: *Episodes*, 28(4), 274-278.
- McKee, E. H., Dreier, J. E., Noble, D. C., 1992. Early Miocene hydrothermal activity at Pachuca-Real del Monte, Mexico; an example of space-time association of volcanism and epithermal Ag-Au vein mineralization: *Economic Geology*, 87(6), 1635-1637.
- Melelli, L., 2014, Geodiversity: a new quantitative index for natural protected areas enhancement: *Geojournal of Tourism and Geosites*, 13(1), 27-37.
- Mendoza-Rosales, C.C., 1990, Estructura del sector Saja (Cabalgadura El Doctor) estados de Hidalgo y Querétaro. Facultad de Ingeniería, UNAM, Tesis Profesional.
- Milazzo, M.P., Keszthelyi, L.P., Jaeger, W.L., Rosiek, M., Mattson, S., Verba, C., Beyer, R.A., Geissler, P.E., McEwen, A.S., HiRISE, 2009, Discovery of columnar jointing on Mars: *Geology*, 37(2), 171-174.
- Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2018, Decreto número 1353 de 31 de julio de 2018. <https://www2.sgc.gov.co/patrimonio/decreto-1353-2018/Documents/DECRETO-1353-DEL-31-DE-JULIO-DE-2018.pdf>. Consultado 22 de mayo de 2020.
- Moholy-Nagy, H., Asaro, F., Stross, F.H., 1984, Tikal obsidian: sources and typology. *American Antiquity*, 49, 104-117.
- Morán-Zenteno, D., 1994, The Geology of the Mexican Republic: American Association of Petroleum Geologists. *Studies in Geology*, 39.
- Morelos-Rodríguez, L., 2018, Exploradores y científicos en la Comarca Minera: panorama histórico de los estudios geológicos durante el siglo XIX. En Canet, C. (coord.), Guía de Campo del Geoparque de la Comarca Minera. Ciudad de México, Secretaría de Desarrollo Institucional, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, 115-129, doi: 10.32775/Bk.GuideCM.cap9.115\_129,2018
- Morelos-Rodríguez, L., Cruz-Pérez, M.A., Canet, C., Salgado-Martínez, E., 2019, Exploraciones geológicas en el siglo XIX en Comarca Minera, México. V Simposio Latinoamericano y del Caribe de Geoparques, Trinidad, Uruguay, 4-8 de noviembre de 2019.
- Mosheim, E., Althaus, E., 1988, Investigaciones químicas y ópticas de obsidianas geológicas y arqueológicas de México: *Geofísica Internacional*, 27(4), 605-640.
- Mulch, A., Chamberlain, C.P., 2007, Stable isotope paleoaltimetry in orogenic belts-the silicate record in surface and crustal geological archives: *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, 66, 89-118.
- Muñoz-Salazar, J.I., 2020, Estudio de la luz artificial durante la noche en la Ciudad de México: Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis Profesional.
- Nelson, S.A., Ponomarenko, A.L., 1997, Field excursion to the Sierra Las Navajas, Hidalgo, Mexico- a Pleistocene peralkaline rhyolite complex with a large debris avalanche deposit: II Convención sobre la Evolución Geológica de México y Recursos Asociados. Libro-guía de las excursiones geológicas. Excursion 4. IICTI de la UAEH e IG de la UNAM.,

- Pachuca, Hidalgo., Mexico, 89-96.
- Ondicol, R., 2012, Geomorfología, paleoambiente cuaternario y geodiversidad en el macizo de Fuentes Carrionas-Montaña Palentina. Valladolid, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Valladolid. Tesis Doctoral.
- Organización de las Naciones Unidas, 1972, Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural, documento WHC/72/WS/1, Conferencia General de la UNESCO sesión 17. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf000002091?posInSet=9queryId=cf3bb25c-6a9c-457a-b1df-762d202d515f>. Consultado 1 de septiembre de 2020.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 1986, World Heritage Committee 10th session CC-86/CONF003/3. <https://whc.unesco.org/archive/1986/cc-86-conf003-3e.pdf>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 1999, UNESCO Geoparks Programme: a new initiative to promote a global network of geoparks safeguarding and developing selected areas having significant geological features, Sesión 154 del Consejo Ejecutivo, documento 156 EX/11 Rev. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000115177>. Consultado 1 de septiembre de 2020.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 2017, UNESCO Global Geoparks. <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences/unesco-global-geoparks/>. Consultado 19 de mayo de 2020.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 2017a, Eight geological sites in Asia, Europe and Latin America become UNESCO Global Geoparks. <https://en.unesco.org/news/eight-geological-sites-asia-europe-and-latin-america-become-unesco-global-geoparks>. Consultado 21 de mayo de 2020.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 2017b, Declaratoria fundacional de la Red de Geoparques de Mundiales de América Latina y el Caribe. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000250082>. Consultado 21 de mayo de 2020.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 2019a, UNESCO México visita el Geoparque Comarca Minera Hidalgo, para analizar proyectos de conservación y aprovechamiento. [http://www.unesco.org/new/es/media-services/single-view/news/unesco\\_mexico\\_visita\\_el\\_geoparque\\_comarca\\_minera\\_hidalgo\\_p/](http://www.unesco.org/new/es/media-services/single-view/news/unesco_mexico_visita_el_geoparque_comarca_minera_hidalgo_p/). Consultado 21 de mayo de 2020.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 2019b, México busca establecer un Comité Nacional de Geoparques e incrementar su registro en la Red Global de Geoparques. <https://es.unesco.org/news/mexico-busca-establecer-comite-nacional-geoparques-e-incrementar-su-registro-red-global-unesco>. Consultado 21 de mayo de 2020.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 2020, Evaluation of the International Geoscience and Geoparks Programme, 209 EX/9. Paris, 26 de febrero 2020. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372842>. Consultado 28 de mayo de 2020.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 2015, International Geoscience and Geoparks Program, Operational Guidelines and Sta-

- tutes. UNESCO, Paris, 13 p. [http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/IGGP\\_UGG\\_Statutes\\_Guidelines\\_EN.pdf](http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/IGGP_UGG_Statutes_Guidelines_EN.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas, 2010, Resolución 65/162. Reporte del Consejo de las Naciones Unidas para el Programa Ambiental en su sesión especial onceava.
- Oviedo-Gómez, B., Hernández-Badillo, M.A., 2011, Ruta de la Plata: turismo cultural en sitios de patrimonio minero. Distrito Minero de Real del Monte Pachuca, Mineral de la Reforma, Mineral del Chico, Huasca y Omitlán. Pachuca, México, Archivo Histórico y Museo de Minería. Asociación Civil.
- Panizza, M., 2009, The geomorphodiversity of the Dolomites (Italy): a key of geoheritage assessment: *Geoheritage*, 1, 33-42.
- Pastrana, A., 1998, La explotación azteca de la obsidiana en la Sierra de Las Navajas, v. 383. México, Colección Científica, INAH.
- Pastrana, A., Athie, I., 2014, The symbolism of obsidian in Postclassic Central Mexico. En Levine, M.N., Carballo, D.M., (eds.), *Obsidian Reflections: Symbolic Dimensions of Obsidian in Mesoamerica*. Boulder, Colorado, University Press of Colorado, 75-110.
- Pastrana, A., Carballo, D., 2016, Aztec obsidian industries. En Nichols, D.L., Rodríguez-Alegría, E. (eds.), *The Oxford Handbook of the Aztecs*. Oxford University Press. Nueva York, 329-342. doi: 10.1093/oxfordhb/9780199341962.001.0001
- Pastrana, A., Domínguez-Peláez, S., 2009, Cambios en la estrategia de la explotación de la obsidiana de Pachuca: Teotihuacan, Tula y la Triple Alianza: *Ancient Mesoamerica*, 20, 129-148.
- Pastrana, A., Domínguez-Peláez, S., Manzanilla, L.R., 2018a, La producción, distribución y uso de las cuentas y lentejuelas de obsidiana teotihuacanas. En Manzanilla L.R. (ed.), *Teopancazco como centro de barrio multiétnico de Teotihuacan. Los sectores funcionales y el intercambio a larga distancia*. Ciudad de México, Universidad Nacional Autónoma de México, 497-528.
- Pastrana, A., Morelos-Rodríguez, L., García-Vallès, M., 2018b, La obsidiana, un vidrio precioso milenario: aspectos generales, geología e importancia histórica de la obsidiana en el Cerro de Las Navajas. En Canet, C. (coord.), *Guía de Campo del Geoparque de la Comarca Minera*, Secretaría de Desarrollo Institucional, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City, 93-106, doi: 10.32775/Bk.GuideCM.cap7.93\_106.2018
- Pastrana, A., Fournier-García, P., Parry, W.J., Otis-Charlton, C.L., 2019, Obsidian production and use in central Mexico after the Spanish invasion. En Rani, T.A. (ed.), *Technology and tradition in Mesoamerica after the Spanish invasion*, Nuevo México, University of New Mexico Press, 15-33.
- Pereira, D., Pereira, P., Brilha, J., 2013, Geodiversity assessment of Paraná state (Brazil): an innovative approach: *Environmental Magazine*, 52(3), 541-552.
- Poch-Serra, J., Canet, 2018, ¿Por qué un geoparque en la Comarca Minera de Hidalgo?: una introducción al geopatrimonio y la geodiversidad. En Canet, C. (coord.), *Guía de Campo del Geoparque de la Comarca Minera*. Ciudad de México, Secretaría de Desarrollo Institucional, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, 23-28.
- Ponomarenko, A.L., 2004, The Pachuca obsidian source, Hidalgo, Mexico: a geoarchaeolo-

- gical perspective: *Geoarchaeology*, 19(1), 71-91.
- ProGEO, 2019, History of ProGEO. <http://www.progeo.ngo/history.html>. Consultado 28 de mayo de 2020.
- Prosser, C.D., 2018, Geoconservation, quarrying and mining: opportunities and challenges illustrated through working in partnership with the mineral extraction industry in England: *Geoheritage*, 10, 259-270.
- Prosser, C.D., Bridland, D.R., Brown, E.J., Larwood, J.G., 2011, Geoconservation for science and society: challenges and opportunities: *Proceedings of the Geologists' Association*, 122(3), 337-342.
- Registro Agrario Nacional, 2019, Perimetrales núcleos agrarios entidad federativa Hidalgo. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/datos-geograficos-perimetrales-de-los-nucleos-agrarios-certificados-por-estado/resource/18731e46-0d18-4a67-bbc8-1aeb040e7422> . Consultado 22 de mayo de 2020.
- Reynard, E., Brilha, J., 2018, *Geoheritage: assessment, protection and management*. Amsterdam, Elsevier.
- Rice, P.M., Michel, H.V., Asaro, F., Stross, F., 1985, Provenience analysis of obsidians from the Central Peten Lakes Region, Guatemala: *American Antiquity*, 50(3), 591-604. doi: 10.2307/280323
- Robin, L., Steffen, W., 2007, History for the Anthropocene: *History Compass*, 5, 1694-1719.
- Robock, A., 2000, Volcanic eruptions and climate: *Reviews of Geophysics*, 38(2), 191-219.
- Robock, A., Mao, J., 1992, Winter warming from the large volcanic eruptions: *Geophysical Research Letters*, 12(24), 2405-2408.
- Sadry, B.N. (ed.), 2019, *The geotourism industry in the 21st century: the origin, principles, and futuristic approach*. Nueva York, Apple Academic Press, <https://doi.org/10.1201/9780429292798>
- Sahagún, Fray Bernardino de, 1989, *Historia general de las cosas de la Nueva España*, v. 2. En García-Quintana, J. and López-Austin, A. (eds.). Madrid, Alianza Editorial.
- Salgado, E., Canet, C., Cruz-Pérez, M.A., Mora, J.C., 2018, The Global Geoparks Network of Latin America and the Caribbean —GeoLAC Network: *GGN Bulletin* 2018, 1, 2-3.
- Salvador-Flores, R., 2001. *Origen sedimentológico y estratigrafía del Paleolago de Amajac, Hidalgo*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, UNAM, Tesis Profesional.
- Sánchez-Cortés, J.L., 2010, Manejo sustentable de puntos de interés geoturísticos (pig), sobre la base de la caracterización y evaluación, en la Península de Santa Elena. Guayaquil, Ecuador, Universidad de Guayaquil. Tesis de Maestría.
- Sánchez-Rojas, E., Osorio-Pérez, M., 2008, Geología y petrogénesis de los prismas basálticos, Santa María Regla, Hgo.: *Geociencias, Servicio Geológico Mexicano*, 3, 5-24. Secretaría de Economía, 2015, Estudio de la cadena productiva del ópalo. México, Coordinación General de Minería.
- Senado de la República, 2017, Congreso reconoce labor de la UNAM por denominación de Geoparques en zonas de Hidalgo y Oaxaca. <http://comunicacion.senado.gob.mx/index.php/informacion/comision-permanente/boletines-permanente/37714-congreso-reconoce-labor-de-la-unam-por-denominacion-de-geoparques-en-zonas-de-hidalgo-y-oaxaca.html>. Con-

- sultado 22 de mayo de 2020.
- Senado de la República, 2019, Iniciativa con proyecto decreto por el que se adiciona una fracción XX al artículo 3 y una fracción XI al artículo 46 de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección del Medio Ambiente. [https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/64/2/2019-12-12-1/assets/documentos/Ini\\_MC\\_Sen\\_Enriquez\\_Art3\\_Medio\\_Ambiente.pdf](https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/64/2/2019-12-12-1/assets/documentos/Ini_MC_Sen_Enriquez_Art3_Medio_Ambiente.pdf). Consultado 22 de mayo de 2020.
- Serrano, E., Ruiz-Flaño, P., 2007, Geodiversity. A theoretical and applied concept: *Geographica Helvetica*, 62(3), 140-147.
- Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2018a, Metodología de valoración del patrimonio geológico. Documento interno.
- Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2018b, Primer taller de patrimonio geológico de la Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos (ASGMI): Iberoamérica unida por la gestión integral del patrimonio geológico. [https://www2.sgc.gov.co/Noticias/Paginas/Primer-Taller-de-Patrimonio-de-la-Asociacion-de-Servicios-de-Geologia-y-Mineria-Iberoamericanos-\(ASGMI\).aspx](https://www2.sgc.gov.co/Noticias/Paginas/Primer-Taller-de-Patrimonio-de-la-Asociacion-de-Servicios-de-Geologia-y-Mineria-Iberoamericanos-(ASGMI).aspx). Consultado 22 de mayo de 2020.
- Servicio Geológico Colombiano, 2019, II Taller regional para geoparques mundiales aspirantes de la UNESCO en América Latina y El Caribe. <https://www2.sgc.gov.co/patrimonio/Paginas/II-taller-unesco/II-taller-regional-para-geoparques-unesco.aspx>. Consultado 22 de mayo de 2020.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2007, Carta Geológico-Minera Pachuca F14-D8, 1: 50,000. SGM, Pachuca, Hidalgo, México.
- Silva, J., Rodrigues, C., Pereira, D., 2015, Mapping and analysis of geodiversity indices in the Xingu river basin, Amazonia, Brazil: *Geoheritage*, 7(4), 337-350.
- Spletstoeser, J.F., Jirsa, M.A., 1985, Columnar jointed sandstone in Beacon Supergroup, Britannia Range, Antarctica: *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 28, 761-764.
- Strano, G., Pasquale, G., Clericuzio, A., 2016, El estudio de la Tierra: física y geografía. En Eco, U. (coord.), *La Edad Media: I Bárbaros, cristianos y musulmanes*, trad. de Alva-Barrera, O.D., Peña-Torres, D. Ciudad de México, Fondo de Cultura Económica.
- Sugiyama, S., 2005, Human sacrifice, militarism and rulership. Materialization of State ideology at the feathered serpent pyramid, Teotihuacan. Nueva York, Cambridge University Press.
- Sullivan, S., Banking nature? The spectacular financialisation of environmental conservation: *Antipode*, 45(1), 198-217.
- Tomkeieff, S., 1940, The basalt lavas of the Giant's Causeway district of Northern Ireland: *Bulletin Volcanologique*, 6, 89-143.
- Tuffen, H., Gilbert, J., McGarvie, D., 2001, Products of an effusive subglacial rhyolite eruption: Bláhnúkur, Torfajökull, Iceland: *Bulletin of Vulcanology*, 63, 179-190.
- US National Archives and Records Administration, 2019, An act to create Yellowstone National Park, March 1, 1872. <https://www.archives.gov/legislative/features/national-park-service/yellowstone.html>. Consultado 2 de septiembre de 2020.
- US National Park Service, Department of the Interior, 2016, 2015 National Park visitor spending effects: economic contributions to local communities, states, and the nation.

- Natural Resource Report NPS/NRSS/EQD/NRR—2016/1200.
- Van Ree, C.C.D.F., van Beukering, P.J.H., 2016, Geosystems services: a concept in support of sustainable development of the subsurface: *Ecosystem Services*, 20, 30-36.
- van Wyk de Vries, B., 2019, Project 692 - Geoheritage for Geohazard Resilience, International Geosciences Program of UNESCO. <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences/international-geoscience-programme/igcp-projects/geohazards/project-692/>. Consultado 14 de agosto de 2020.
- van Wyk de Vries, B., Vereb, V., 2019, Geoheritage for resilience: a global network for managing natural risk: *Geophysical Research Abstracts*, 21, 1p.
- Vargas-Anaya, M., 2018, Contribución al desarrollo de estrategias de geoconservación en Colombia: un método para promover el inventario nacional de patrimonio geológico. Minho, Universidade do Minho. Tesis de Maestría.
- Villalobos-Megía, M., Braga-Alarcón, J.C., Guirado-Romero, J., Pérez-Muñoz, A.B., 2004, El inventario Andaluz de georrecursos culturales: criterios de valoración: *De Re Metallica*, 3, 9-21.
- Vogt, J.R., Graham, C.C., Glascock M.D., Cobean, R.H., 1982, A study of Mesoamerican obsidian sources using activation analysis: *Journal of Radioanalytical Chemistry*, 69(1-2), 271-289.
- Volchko, Y., Norrman, J., Ericsson, L.O., Nilsson, K.L., Markstedt, A., Öberg, M., Mossmark, F., Bobylev, N., Tengborg, P., 2020, Subsurface planning: towards a common understanding of the subsurface as a multifunctional resource: *Land Use Policy*, 90, 104316.
- Webber, M., Christie, M., Glasser, N., 2006, The social and economic value of the UK's geodiversity. Reporte 709, *English Nature*, Reino Unido.
- Willems, W.J.H., 2011, Laws, language, and learning. Managing archaeological heritage resources in Europe.
- Wilson, B.W., Hernández, J.P., Meave, E., 1955, Un banco calizo del Cretácico en la parte oriental del estado de Querétaro, México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 18, 1-10.
- Wimbledon, W.A.P., 2011, Geosites – a mechanism for protection, integrating national and international valuation of heritage sites: *Geologia dell'Ambiente*, suplemento, 2, 13-25.
- Whright, H.M.N., Lesti, C., Cas, R.A.F., Porreca, M., Viramonte, J.G., Folkes, C.B., Gior-dano, G., 2011, Columnar jointing in vapor-phase-altered, non-welded Cerro Galán Ignimbrite, Paycuqui, Argentina: *Bulletin of Volcanology*, 73, 1567-1582.
- Young, D.A., 2003, *Mind over magma. The story of igneous petrology*. Princeton, Nueva Jersey, Princeton University Press.
- Zouros, N., 2004, The European Geoparks Network: *Episodes*, 27(3), 165-171.



---

## ANEXO

---

Se ofrece a continuación las tablas de valoración del patrimonio geológico mediante el método del IGME-SGC (García-Cortéz y Carcavilla-Urquí, 2013; Vargas-Anaya, 2018; SGC, 2018a). Los cálculos fueron realizados con base en las ecuaciones del capítulo 2.

Tabla 4.1: Valoración de Prismas Basálticos.

Parámetro	Vc	Vd	Vt	Sd	Comentario
Grado de conocimiento científico (Vc: 15%)	15				Existen trabajos académicos.
Representatividad (Vc: 30%; Vd: 5%)	120	20			Mejor ejemplo conocido del dominio geológico para representar un rasgo o proceso. También usado en el cálculo del Valor Didáctico con 5%.
Carácter de localidad tipo (Vc: 10%; Vd: 5%)	40	20			No cumple con las consideraciones tomadas en la metodología. El lugar no tiene designaciones internacionales de alguna institución epistémica. Pero por otro lado es reconocido en la historia de la geología como un lugar especial, emblemático, en el marco de las discusiones geológicas del siglo XIX. Curiosamente no se considera el referente en las ciencias históricas. Se decide asignar un valor de 4. También usado en el cálculo del valor didáctico con 5%.
Estado de conservación/integridad (Vc: 10%; Vd: 5%)	20	10			Favorable con alteraciones. Algunos deterioros causados por factores biológicos (raíces). La infraestructura turística es un tanto invasiva del espacio e, incluso, improvisada. También usado en el cálculo del valor didáctico con 5%.
Rareza (Vc: 15%; Vd: 5%)	60	20			Los prismas basálticos son un referente en el desarrollo de las ciencias geológicas en México durante el siglo XIX y fuente de escritos y descripciones científicas emblemáticas y de las artes. Aunque bien, es quizá que esta fama tan explícita esté un tanto limitada a sectores académicos especializados (estética del paisaje, ciencias históricas, historia del arte).
Diversidad geológica (Vc: 10%; Vd: 10%)	40	40			Elementos geológicos en el sitio: geomorfología (barranca y planicie), morfología de los prismas, estructura interna visible macroscópicamente, la corriente fluvial controlada ¿Cuál es el elemento geológico principal del lugar?: Los prismas en sí mismos. Por estas razones se asigna un valor de 4 a este parámetro.
Condiciones de observación (Vc: 10%; Vd: 5%; Vt: 5%)	40	20	20		Observable en su integridad con facilidad, pese a la huella antrópica que hay en el área. Se sugiere cuidar el acceso a la parte baja. Algunos prismas presentan inestabilidad en su soporte. Este valor se usa también en el Valor Didáctico con 5%. ¿Cabría preguntarse, la accesibilidad hasta qué punto es favorable en este parámetro?
Infraestructura logística (Vd: 15%; Vt: 5%)		60	20		Alojamiento y servicios en el lugar.
Contenido o uso didáctico (Vd: 20%)		80			Es utilizado en actividades didácticas de diversos niveles educativos y actividades divulgativas.
Densidad de población (Vd: 5%; Vt: 5%; SD: 5%)		20	20	20	Más de 200 000 habitantes en un radio de 30 km.
Accesibilidad (Vd: 15%; Vt: 10%; SD: 10%)		60	40	40	Tiene facilidades de acceso, pero el andador principal presenta una situación de riesgo dado el intenso fracturamiento natural de la roca.
Espectacularidad o belleza (Vd: 5%; Vt: 15%)		20	60		Aspectos estéticos tomados en cuenta tienen más ponderación en el valor turístico que en didáctico.
Tamaño del rasgo (Vd: 5%; Vt: 5%)		10	10	3/400	La tenencia de la tierra podría afectar este valor. El área se encuentra cercana a la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán.
Fragilidad (10%)			20	5	Litología resistente pero con elevada fracturación. Este parámetro no es tomado en cuenta en otros valores.
Uso tradicional (5%)			5		Lugar esporádicamente utilizado como centro de rituales, celebraciones, ceremonias, etc.
Simbolismo (10%)			40		Lugar simbólico para la comunidad local, estatal y para la comunidad mexicana en general.
Asociación con otros elementos del patrimonio natural y/o cultural (5%)			20		Presencia de varios elementos del patrimonio natural y cultural en un radio de 5 km. Descripciones de Humboldt y pinturas de Bonpland.
Contenido/uso divulgativo (10%)			40		Parámetro similar al de "contenido o uso didáctico en el cálculo del Valor Didáctico.
Potencialidad para realizar actividades turísticas y recreativas (5%)			20		Ya existen actividades organizadas.
Proximidad a zonas recreativas (demanda potencial inmediata) (5%)			20	20	Lugar situado a menos de 500 m de un área recreativa.
Entorno socioeconómico (5%)			10		Índice de rezago social medio (CONEVAL, 2015)
Régimen de protección del lugar (5%)				5	Lugar con plan de ordenamiento territorial. El ejido tiene un estudio de impacto ambiental de acuerdo a las regulaciones gubernamentales, para operar el centro. Claramente el lugar tiene por objeto principal los basaltos columnares como interés principal. Sin interés minero o para abastecimiento de agua.
Interés para la explotación minera o para la captación de agua /25%)				0	
Vulnerabilidad al expolio (25%)				0	Difícil al expolio. Requiere maquinaria pesada.
Amenazas antrópicas. Proximidad a infraestructuras (15%)				15	Lugar con un gran número de visitantes.
Titularidad del suelo y régimen de acceso (5%)				10	Lugar situado en un ejido, acceso con cuota.
Protección física o indirecta (5%)				20	Si bien el lugar tiene uso turístico es evidente que es necesario tomar medidas para protección física del lugar.
Amenazas naturales*				10	Lugar afectado por procesos naturales de relevancia moderada.
<b>TOTAL</b>	<b>335</b>	<b>380</b>	<b>345</b>		
<b>TOTAL/40</b>	<b>8.375</b>	<b>9.5</b>	<b>8.625</b>		

Tabla 4.2: Valoración de Peña del Aire.

Parámetro	Vc	Vd	Vt	Sd	Comentario
Grado de conocimiento científico (Vc: 15%)	30				Objeto de tesis de especialización o maestría. Algunas publicaciones en revistas indexadas nacionales.
Representatividad (Vc: 30%; Vd: 5%)	60	10			Útil como modelo para representar, en su globalidad, un rasgo o proceso, erosivo en este caso.
Carácter de localidad tipo (Vc: 10%; Vd: 5%)	10	5			No cumple con las consideraciones tomadas en la metodología, pero las laderas de la barranca tiene hacia las partes bajas zonas de contacto entre la FVtM y el CMPF.
Estado de conservación/integridad (Vc: 10%; Vd: 5%)	20	10			Favorable con alteraciones. Algunos deterioros que no afectan de manera determinante el rasgo.
Rareza (Vc: 15%; Vd: 5%)	30	10			La Peña del Aire, como tal, es la única de composición basáltica con esas dimensiones en el área de estudio. Existen otros cañones, fuera del área de estudio, en donde es apreciable el contacto de las dos provincias geológicas.
Diversidad geológica (Vc: 10%; Vd: 10%)	40	40			El rasgo presenta 3 o más tipos de interés geológico, además del principal. Paleogeográfico, geomorfológico, petrológico. Es la misma unidad volcánica de los Prismas Basálticos, aunque no se observa fenómeno de disyunción columnar.
Condiciones de observación (Vc: 10%; Vd: 5%; Vt: 5%)	40	20	20		Observable en su integridad.
Infraestructura logística (Vd: 15%; Vt: 5%)		60	10		Servicios en el lugar y alojamiento en un radio de 5 km.
Contenido o uso didáctico (Vd: 20%)		80			Es utilizado en actividades didácticas de diversos niveles educativos y actividades divulgativas.
Densidad de población (Vd: 5%; Vt: 5%; SD: 5%)		20	20	20	Más de 200 000 habitantes en un radio de 30 km.
Accesibilidad (Vd: 15%; Vt: 10%; SD: 10%)		30	20	20	Acceso directo por vía sin asfaltar, estacionamiento y transitable para vehículos pesados.
Espectacularidad o belleza (Vd: 5%; Vt: 15%)		20	60		Aspectos estéticos tomados en cuenta tienen más ponderación en el valor turístico que en didáctico.
Tamaño del rasgo (Vd: 5%; Vt: 5%)		20	20	1/400	El área se encuentra en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán.
Fragilidad (10%)			20	5	Litología resistente pero con elevada fracturación.
Uso tradicional (5%)			10		Lugar frecuentado como centro de peregrinaciones anuales por parte de la comunidad.
Simbolismo (10%)			20		Lugar simbólico para la comunidad local y estatal.
Asociación con otros elementos del patrimonio natural y/o cultural (5%)			20		Presencia de varios elementos del patrimonio natural y cultural en un radio de 5 km. El lugar está situado dentro de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán. Reserva potencial de cielo oscuro.
Contenido/uso divulgativo (10%)			20		El visitante requiere tener algún conocimiento geológico para entender los elementos geológicos del lugar. Pero el contenido es apreciable explicando la función erosiva del río Venados.
Potencialidad para realizar actividades turísticas y recreativas (5%)			20		Ya existen actividades organizadas.
Proximidad a zonas recreativas (demanda potencial inmediata) (5%)			20	20	Lugar situado a menos de 500 m de un área recreativa.
Entorno socioeconómico – grado de rezago social [2015] (5%)			10		Huasca de Ocampo tiene un grado medio de rezago social (CONEVAL, 2015).
Régimen de protección del lugar (5%)				5	Lugar con plan de ordenamiento territorial. El ejido tiene un estudio de impacto ambiental de acuerdo a las regulaciones gubernamentales, para operar el centro.
Interés para la explotación minera o para la captación de agua /25%)				0	Sin interés minero o para abastecimiento de agua.
Vulnerabilidad al expolio (25%)				0	Difícil al expolio. Se ubica dentro de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán.
Amenazas antrópicas. Proximidad a infraestructuras (15%)				0	Su ubicación dentro de la Reserva permite una regulación en este sentido.
Titularidad del suelo y régimen de acceso (5%)				10	Lugar situado en un ejido, acceso con cuota.
Protección física o indirecta (5%)				10	Acceso restringido, cuota a cargo del ejido San Sebastián.
Amenazas naturales*				5	Lugar afectado por procesos naturales de escasa relevancia.
TOTAL	230	325	290		
TOTAL/40	5.75	8.125	7.25		

Tabla 4.3: Valoración del Cerro de Las Navajas.

Parámetro	Vc	Vd	Vt	Sd	Comentario
Grado de conocimiento científico (Vc: 15 %)	60				Objeto de tesis de posgrado, publicaciones en revistas internacionales indexadas.
Representatividad (Vc: 30 %; Vd: 5 %)	120	20			Mejor ejemplo conocido del área de estudio para representar un rasgo o proceso.
Carácter de localidad tipo (Vc: 10 %; Vd: 5 %)	40	20			Localidad de referencia regional, desde el punto de vista arqueológico se considera una localidad tipo de obsidiana dorada. Desde el punto de vista geológico no existen tantas investigaciones recientes pero se asigna a un rango importante como fuente de obsidiana dorada. Además, es una referencia en la literatura para el vulcanismo alcalino en la porción oriental de la FVtM.
Estado de conservación/integridad (Vc: 10 %; Vd: 5 %)	20	10			El rasgo no aflora y no es posible observar los horizontes de obsidiana en su totalidad; también, la vegetación boscosa recubre el área. El lugar necesita formalizar su estatus de conservación por sus atributos geológicos. La minería, sin embargo, favorece el estudio, delimitación, cartografía de la obsidiana.
Rareza (Vc: 15 %; Vd: 5 %)	60	20			Único ejemplo conocido a nivel nacional con esas características (e internacional).
Diversidad geológica (Vc: 10 %; Vd: 10 %)	40	40			El rasgo presenta 3 o más tipos de interés, además del principal (arqueológico, petrológico, geomorfológico, histórico).
Condiciones de observación (Vc: 10 %; Vd: 5 %; Vt: 5 %)	10	5	5		Con elementos que enmascaran fuertemente las características de interés; esto es intrínseco al rasgo y al modo de emplazamiento y evolución del volcán de Las Navajas.
Infraestructura logística (Vd: 15 %; Vt: 5 %).		30	10		Alojamiento y servicios para grupos de 40 personas a menos de 25 km. Mineral del Monte se ubica a 22 km por carretera, Pachuca se ubica a 30 km.
Contenido o uso didáctico (Vd: 20 %).		40			Es utilizado en actividades didácticas de diversos niveles educativos así como en actividades divulgativas.
Densidad de población (Vd: 5 %; Vt: 5 %; SD: 5 %)		20	20	20	Más de 200 000 habitantes en un radio de 30 km. Ciudades cercanas Pachuca, Mineral de la Reforma, Tulancingo, Mineral del Monte.
Accesibilidad (Vd: 15 %; Vt: 10 %; SD: 10 %)		15	10	10	Acceso por vía sin asfaltar (terracería) pero transitable para vehículos pesados.
Espectacularidad o belleza (Vd: 5 %; Vt: 15 %)		20	60		Amplitud de relieve alta, el clima también se considera parte de las características del lugar, y la presencia de obsidiana dorada y verde, así como de otras variedades.
Tamaño del rasgo (Vd: 5 %; Vt: 5 %)		20	20	1/400	La tenencia de la tierra podría afectar este valor, así como las actividades extractivas no reguladas.
Fragilidad (10 %)			0	20	Lugar con litologías fracturadas y propensas a meteorización debido a su composición química riolítica, muy vulnerables a agentes climáticos.
Uso tradicional (5 %)			20		Lugar muy frecuentado anualmente durante la temporada de recolección de hongos.
Simbolismo (10 %)			40		Lugar especialmente simbólico para la comunidad local. Constituye la fuente de empleo principal para artesanos locales y familias.
Asociación con otros elementos del patrimonio natural y/o cultural (5 %)			20		Presencia de varios elementos del patrimonio natural y cultural en un radio de 5 km. Elementos arqueológicos de civilizaciones prehispánicas.
Contenido/uso divulgativo (10 %)			40		Es utilizado habitualmente para actividades divulgativas y visitas guiadas.
Potencialidad para realizar actividades turísticas y recreativas (5 %)			20		Ya existen actividades organizadas.
Proximidad a zonas recreativas (demanda potencial inmediata) (5 %)			20	20	Lugar situado a menos de 500 m de un área recreativa. El área ofrece área de comedores y asadores, con posibilidad de camping.
Entorno socioeconómico – grado de rezago social [2015] (5 %)			20		Epazoyucan tiene un grado de rezago social bajo y Singuilucan, el municipio colindante, tiene un grado de rezago social medio (CONEVAL, 2015).
Régimen de protección del lugar (5 %)				20	Lugar situado en suelo rural con explotación minera y forestal controlada. Existe un plan de impacto ambiental pero no de un plan de explotación del recurso geológico. La Ley Minera de 1992, reformada en 2014, no contempla la obsidiana o vidrio volcánico. Esto significa que la obsidiana no es un bien denunciante de manera que su explotación en el subsuelo constituye un hueco legal no contemplado en la ley.
Interés para la explotación minera o para la captación de agua (25 %)				100	La obsidiana es de gran interés y es explotada en el área.
Vulnerabilidad al expolio (25 %)				100	Se entiende que no hay expolio, pues el área se encuentra en potestad de un ejido. No obstante, el área es propensa a la sustracción de obsidiana no supervisada.
Amenazas antrópicas. Proximidad a infraestructuras (15 %)				60	El área se encuentra en un área de actividad minera rudimentaria activa.
Titularidad del suelo y régimen de acceso (5 %)				10	Lugar situado en un ejido. Acceso restringido y con una cuota simbólica.
Protección física o indirecta (5 %)				10	Lugar accesible, pero la vegetación es muy densa y puede cubrir algunos rasgos.
Amenazas naturales*				10	Lugar afectado por procesos naturales de relevancia moderada.
<b>TOTAL</b>	<b>350</b>	<b>260</b>	<b>305</b>		
<b>TOTAL/40</b>	<b>8.75</b>	<b>6.5</b>	<b>7.625</b>		