

Aplicación de análisis de visibilidad en un entorno SIG para la zonificación de un Espacio Natural Protegido en Aragón y su explotación turística: el Monumento Natural de “La Olla, La Porra y Estrecho de Aldehuela-Peña del Barbo”

L. Martínez Pérez^{1,2}, E. Matas Serrada³, A. García-Martín^{4,5}

¹ Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA), Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). C. Jordi Girona 18-26, 08.034 Barcelona.

² Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartográfico y Geofísica, Universitat Politècnica de Catalunya. C. Jordi Girona 31, 08.034 Barcelona.

³ Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza. C. Pedro Cerbuna 12, 50.009 Zaragoza.

⁴ Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza, Academia General Militar. Ctra. de Huesca s/n, 50.090 Zaragoza.

⁵ Grupo GEOFOREST-IUCA, Universidad de Zaragoza. C. Pedro Cerbuna 12, 50.009 Zaragoza.

laura.martinez@idaea.csic.es, matas.evamaria@gmail.com, algarcia@unizar.es

RESUMEN: Las formaciones geológicas de “La Olla”, “La Porra” y el “Estrecho de la Aldehuela-Peña del Barbo” constituyen tres de los enclaves científicos y paisajísticos más relevantes del Parque Geológico de Aliaga (provincia de Teruel). Estas estructuras se han convertido en un espacio de referencia en el uso didáctico y turístico del patrimonio geológico y en un recurso socio-económico del territorio sobre el que se asientan. Por ello, desde el Geoparque Parque Cultural del Maestrazgo, se planteó la posibilidad de declarar estos tres enclaves como Espacio Natural Protegido (ENP) bajo la figura de Monumento Natural. Para ello, tal y como se indica en la legislación aragonesa, es preceptiva la redacción de un documento técnico que recoja, entre otros aspectos, su señalamiento cartográfico.

Este trabajo presenta una metodología para zonificar este futuro ENP e incrementar las posibilidades de su explotación turística en base a un análisis de visibilidad, identificando los puntos y recorridos desde donde estas formaciones son más visibles. Para ello, se han calculado las cuencas visuales en un Sistema de Información Geográfica (SIG) en función de los puntos de interés, rutas y excursiones señalizados en el Parque, de caminos transitables en vehículo todoterreno o turismo y de las carreteras convencionales existentes. La consideración de todos estos posibles puntos de observación hizo necesaria la programación en Python. Como resultado se obtuvo una cartografía en la que se diferencian tres zonas de protección según la compatibilidad de usos del territorio, la identificación de siete rutas de explotación turística mediante vehículos y una valoración de la red de carreteras en función de la visibilidad de éstas a los citados enclaves.

Palabras-clave: Cartografía, Cuencas visuales, Espacios Naturales Protegidos, Parque Geológico de Aliaga.

1. INTRODUCCIÓN

El Parque Geológico de Aliaga se ubica en el sector centro-oriental de la Cordillera Ibérica. En concreto, tal y como indica su nombre, se localiza en su mayor parte en el término municipal de Aliaga, municipio perteneciente a la provincia de Teruel. El espacio recogido en este Parque ofrece una excepcional geodiversidad con formaciones y estructuras consideradas por numerosos científicos como ejemplos únicos, lo que ha hecho que se convierta en un territorio muy utilizado para actividades didácticas y de investigación desde los años 60 (Canérot, 1969; Simón Gómez, 1979; González y Guimerà, 1993; Liesa y Soria, 1999; Simón et. al, 2013). De forma oficial, la figura de Parque Geológico se adoptó en 1993 con el ánimo de dar a conocer y promover el tesoro natural existente en esta zona. Desde el año 2000 está integrado en la *European Geoparks Network* y en la *Global Network of National Geoparks* de UNESCO a partir de su inclusión en el Geoparque Parque Cultural del Maestrazgo.

La peculiaridad geológica de esta zona se debe a que en ella aparece un registro casi continuo de

formaciones del Jurásico, Cretácico y Terciario, tanto de origen marino como continental, y la interferencia en éstas de dos conjuntos de pliegues tectónicos de direcciones ortogonales, producto de dos episodios de plegamiento distintos. Sobre esta base, se fue produciendo el encajamiento de la red fluvial dirigida por el río Guadalope, esculpiéndose un relieve que pone de manifiesto la arquitectura de este complejo sustrato geológico (Liesa et al., 2004; Simón Gómez, 2006). El resultado de toda esta geodinámica es un paisaje espectacular cuyos máximos exponentes son las formaciones geológicas de “La Olla”, “La Porra” y el “Estrecho de la Aldehuela-Peña del Barbo” (Figura 1). Así, estas tres estructuras son las que determinan los puntos de interés, las rutas y las excursiones impulsadas por el Centro de Interpretación del Parque Geológico de Aliaga que, desde su fundación en 2006, ha registrado un continuo aumento de visitantes, contribuyendo de esta manera en el desarrollo socio-económico del territorio sobre el que se asientan.

Por ello, desde el comité científico del Geoparque Parque Cultural del Maestrazgo, se planteó la posibilidad de declarar estos tres enclaves paisajísticos como Espacio Natural Protegido, en concreto, bajo la figura de Monumento Natural. Para ello, como se indica en el Artículo 20 de la Ley 6/1998, de 19 de mayo, de Espacios Naturales Protegidos de Aragón (LENPA), es preceptiva la redacción de un documento técnico que recoja, entre otros aspectos, la descripción literal de los límites provisionales, su señalamiento cartográfico y la propuesta del régimen de protección y de la normativa transitoria de uso y gestión, en tanto se aprueban los correspondientes instrumentos de planeamiento.

En este contexto, en tanto que está reconocido el valor científico, patrimonial, cultural y paisajístico de estas tres estructuras geológicas, este trabajo presenta una metodología para establecer la zonificación concreta del futuro Espacio Natural Protegido de “La Olla, La Porra y Estrecho de Aldehuela-Peña del Barbo” e incrementar las posibilidades de su explotación turística en base a un análisis de visibilidad, identificando los puntos y recorridos desde donde estas formaciones son más visibles. Para ello, tras la incorporación de distintas variables necesarias en un Sistema de Información Geográfica (SIG), las cuencas visuales son calculadas utilizando distintos niveles de análisis: (i) desde puntos situados en las tres formaciones; (ii) desde los puntos de interés, rutas y excursiones señalizados por el Centro de Interpretación; (iii) desde puntos situados en otros caminos transitables con vehículos; y (iv) desde la red convencional de carreteras que atraviesan el territorio estudiado. De la aplicación de estos cuatro niveles, se obtiene la delimitación del área de estudio y el grado de visibilidad de estos tres enclaves paisajísticos en cada punto de ésta, condición que es utilizada como criterio a la hora de establecer una zonificación de protección y la compatibilidad de usos del territorio y los nuevos puntos e itinerarios de observación por parte del visitante.

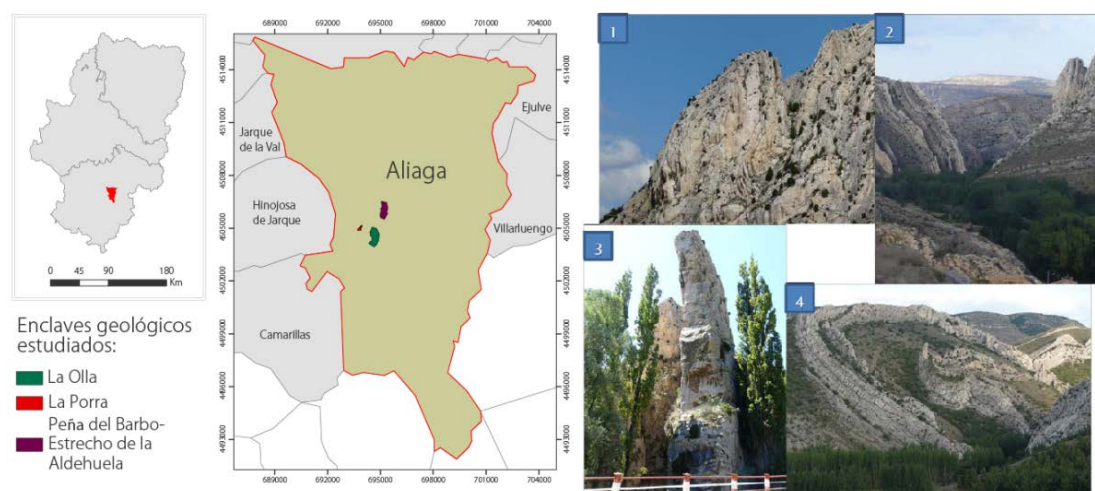


Figura 1. Mapa de localización y fotografía de los enclaves estudiados: Peña del Barbo (1), Estrecho de la Aldehuela (2), La Porra (3) y La Olla (4).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología aplicada en este trabajo se divide en cuatro etapas. La primera de ellas consiste en recopilar toda la información cartográfica relacionada con las tres estructuras geológicas y su entorno e incorporar ésta en un SIG. En la segunda, se aplican los distintos niveles de análisis de planteados utilizando esa información. La tercera está dedicada a la obtención de la cartografía de zonificación a partir de todas las capas de cuenca visual generadas en el paso anterior. Finalmente, en la cuarta etapa se proponen una serie de rutas en vehículos y paradas en carreteras convencionales para mejorar la oferta turística.

2.1. Recopilación de la información cartográfica y generación del SIG.

En la Tabla 1, se detallan las variables cartográficas consideradas para cada uno de los cuatro niveles de análisis de visibilidad llevados a cabo.

Tabla 1. Variables cartográficas consideradas para los análisis de visibilidad.

<i>Análisis</i>	<i>Nombre de la Capa</i>	<i>Descripción</i>	<i>Fuente</i>
Nivel 1	Enclaves	Capa vectorial de polígonos que recoge el perímetro de las tres formaciones consideradas	Simón Gómez (2002)
Nivel 2	Puntos_interes_PGA	Capa vectorial con puntos de interés señalizados para visitantes dentro del Parque Geológico	Centro de Interpretación del Parque Geológico de Aliaga
	Rutas_PGA	Capa vectorial de líneas con la rutas cortas a pie recomendadas para visitantes dentro del Parque Geológico	Centro de Interpretación del Parque Geológico de Aliaga
	Excursiones_PGA	Capa vectorial de líneas con la rutas largas a pie recomendadas para visitantes dentro del Parque Geológico	Centro de Interpretación del Parque Geológico de Aliaga
Nivel 3	Pistas_y_caminos	Capa vectorial de líneas con las pistas forestales y los caminos rurales existentes dentro de las hojas del Mapa Topográfico Nacional 1:50.000 (MTN) 518 y 543	Dirección General de Gestión Forestal del Gobierno de Aragón
	Vías_pecuarias	Capa vectorial de líneas con las vías pecuarias existentes dentro de las hojas del MTN 518 y 543	Dirección General de Gestión Forestal del Gobierno de Aragón
Nivel 4	Red_Carreteras	Capa vectorial de líneas con las carreteras existentes dentro de las hojas del MTN 518 y 543	Centro de Información Territorial de Aragón (CINTA)
Todos los niveles	MDE_5m	Capa ráster de 5 m de resolución espacial con el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) del espacio comprendido por las hojas del MTN 518 y 543	Dirección General de Conservación del Medio Natural del Gobierno de Aragón

Con la consideración de las capas incluidas en los niveles 1 y 2 se tiene en cuenta, además de las tres formaciones geológicas en sí mismas, los puntos del territorio sobre el que se asientan en base a los que en los últimos años se ha concentrado la explotación científica y turística del Parque Geológico, mientras que con las capas encasilladas en los niveles 3 y 4 se intenta descubrir nuevos espacios y recorridos en su entorno que incrementen las posibilidades la explotación de este recurso socio-económico.

2.2. Análisis de visibilidad

Como se ha indicado, el análisis de visibilidad se divide en cuatro niveles. La herramienta empleada en todos ellos es la disponible en el programa ArcGIS-ArcINFO de ESRI denominada como “Cuenca visual”.

La herramienta “Cuenca visual” identifica las celdas de un ráster de entrada (del MDE) que pueden visualizarse desde una o más ubicaciones de observación definidas por el usuario. Si se aplica teniendo en cuenta varios puntos de observación a la vez, la capa ráster de salida ofrece información de los píxeles no visibles y los visibles, especificando además en el valor de éstos últimos el número de puntos desde el que lo son, pero sin conocer desde qué puntos exactamente. Cuando el análisis se realiza desde un sólo punto de observación, la capa ráster de salida es de tipo booleano: los píxeles que son visibles desde ese punto reciben el valor de 1, mientras que los que permanecen ocultos reciben el valor de 0.

Teniendo en cuenta esta forma de operar de la herramienta, y la reciprocidad de esta propiedad de visibilidad entre el punto de observación y el territorio observado, se decidió utilizar la segunda opción de análisis, dado que se quería tener información precisa sobre cuáles eran los puntos del territorio que ofrecían una mayor visibilidad a las tres estructuras geológicas ya que éstos constituirán los nuevos puntos de explotación turística derivados de los análisis hechos a nivel 3 y 4.

Además de la localización y del número de puntos de observación, que se muestran en los siguientes subapartados, otros tres parámetros que determinan el cálculo de la herramienta “Cuenca visual” son: la distancia inicial desde donde se determina la visibilidad (Radius 1), el alcance de la vista (Radius 2) y la altura del observador (Offset A). Para simplificar el análisis, estos tres parámetros se dejaron fijos para los cuatro niveles de análisis siendo estos 0, 15.000 m y 2 m, respectivamente.

Debido al gran número de puntos de observación involucrados, fue necesario automatizar el proceso del cálculo de las cuencas visuales. Para llevar esto a cabo, se generaron una serie de scripts en el lenguaje de programación Python. Estos scripts ejecutaban las siguientes funciones, independientemente de las capas consideradas en cada nivel: selección de la capa a analizar, selección de cada uno de los puntos de observación de los que consta esa capa, aplicación de la herramienta de análisis “Cuenca visual” y multiplicación de la capa ráster resultante de ese análisis por una máscara ráster que recoge el área de las tres estructuras geológicas. Así, para los niveles 2, 3 y 4, el script de Python da lugar a la obtención de dos conjuntos de capas ráster diferentes en cada uno de ellos: (i) las capas con las cuencas visuales calculadas desde cada uno de los puntos; y (ii) la superficie de los tres enclaves que es visible desde ese mismo punto.

2.1.1. Análisis I

El primer nivel de análisis tiene por objeto delimitar de forma precisa el área de estudio para los siguientes niveles. En principio, el área de estudio había sido planteada en los límites de las hojas del Mapa Topográfico Nacional 1:50.000 (MTN) 518 y 543. Sin embargo, dado que la visibilidad a las formaciones geológicas de “La Olla”, “La Porra” y el “Estrecho de la Aldehuela-Peña del Barbo” es el criterio elegido en este trabajo para obtener la cartografía de zonificación del futuro ENP y para determinar de nuevas posibilidades de explotación turística, éste debe ser también el utilizado a la hora de definir de forma exacta la zona de trabajo.

Para ello, se construyó una malla de puntos distribuidos de forma irregular sobre cada una de las tres estructuras y a partir de cada uno de estos puntos (50) se calculó la cuenca visual aplicando los parámetros anteriormente expuestos. La suma de cada una de las capas ráster resultantes dio lugar a la división de la zona de estudio inicial en dos partes: visible y no visible. A partir de esta nueva capa se trazó el perímetro del área de estudio de tal manera que, ajustándose a la orografía del terreno, este englobara todas las zonas visibles desde las formaciones geológicas (y viceversa). Este límite puede observarse en las figuras 2 (derecha) y 3.

2.1.2. Análisis II

El objetivo del segundo nivel de análisis es determinar, teniendo en cuenta el criterio de visibilidad, cuáles son las zonas del futuro ENP que deberían tener el mayor nivel de protección en cuanto a compatibilidad de usos del territorio. Es por ello por lo que para su determinación se parte de los puntos de interés, rutas y excursiones señalizados por el Centro de Interpretación, dado que estas infraestructuras son las que actualmente centran la explotación turística de los citados enclaves geológicos.

Como se ha dicho previamente, la herramienta “Cuenca visual” se ejecuta a partir de la definición de al menos un punto de observación. Dado que tanto las rutas como las excursiones eran entidades lineales, fue necesario transformarlas a entidades puntuales. Para esto se empleó la función “Construir punto” de ArcGIS-ArcINFO, señalando dentro de los criterios de aplicación que estos puntos fueran creados sobre estas líneas cada 500 m. De esta manera, el número total de puntos considerados en este nivel de análisis fue de 66. La Figura 2 (izquierda) muestra la localización de estos puntos.

2.1.3. Análisis III

Este nivel de análisis es el primero de los dos propuestos para proponer nuevas formas de aproximación turística a los enclaves que se quieren proteger. Para ello, se utilizaron las dos capas de líneas especificadas en la Tabla 1 que recogían las pistas forestales, los caminos rurales y las vías pecuarias de la zona. Todas estas infraestructuras viarias fueron reclasificadas en función de si eran transitables por vehículos o no y, de serlo, si podían realizarse con un vehículo tipo turismo (sin tracción a las cuatro ruedas) o todoterreno. Para esta clasificación se utilizó la información que la Dirección General de Gestión Forestal

del Gobierno de Aragón incorporaba en estas capas como atributo, la cual se utiliza para saber qué tipo de vehículos se pueden emplear en caso de declararse un incendio en la zona.

Al tratarse de entidades de tipo línea, al igual que en el caso de las rutas y excursiones del análisis II, fue necesaria la transformación de éstas a puntos, siendo nuevamente 500 m el criterio de distancia elegido para esto. Así, el número de puntos finalmente a emplear en este nivel fue de 507 (144 delimitados sobre las líneas transitables por turismo y 363 sobre las clasificadas como transitables por todoterrenos o 4x4). La distribución de estos puntos puede verse en la Figura 2 (derecha).

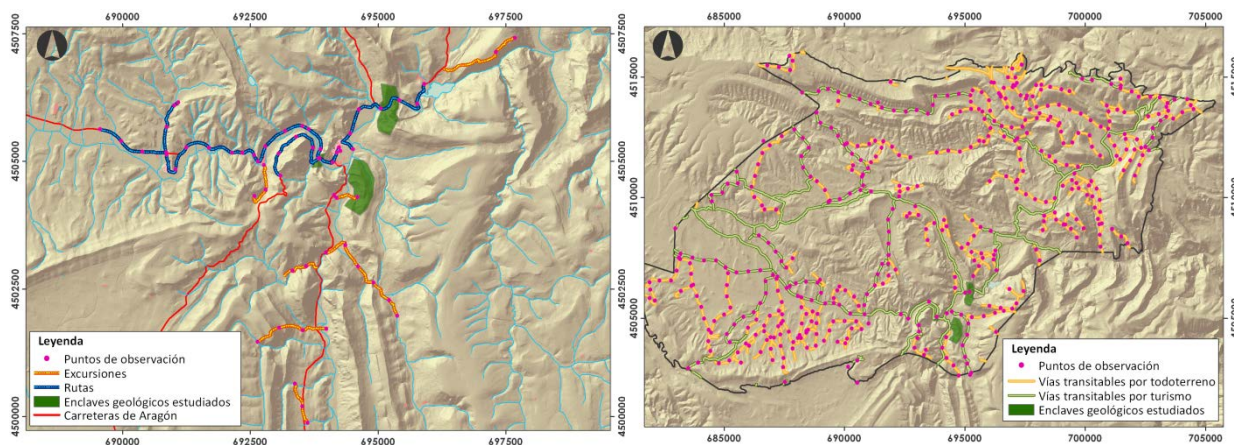


Figura 2. Puntos de observación utilizados en el nivel de análisis II (izquierda) y III (derecha).

2.1.4. Análisis IV

El último nivel de análisis ofrece una valoración sobre la posibilidad de establecer nuevos puntos de observación en la red de carreteras convencional que atraviesan el territorio estudiado. La misión concreta de estos puntos es la de servir como reclamo al viajero que, por casualidad o necesidad, utiliza estas carreteras para llegar a un punto de destino diferente de Aliaga. Si estos puntos son señalizados convenientemente en la carretera y el viajero dispone de un poco de tiempo, le ayudarán a descubrir en unos pocos segundos la presencia de estos tres enclaves paisajísticos en el territorio, aumentándose así el número de potenciales visitantes al Parque Geológico, dado que el prerrequisito fundamental que se tiene que cumplir para que alguien visite un lugar es que previamente conozca de su existencia.

Como se ha indicado en la Tabla 1, para esto se utiliza la capa oficial de carreteras proporcionada por Gobierno de Aragón y, sobre ella, se vuelven a calcular puntos de observación cada 500 m. De esta manera, el número total de puntos de observación considerados en este nivel de análisis asciende a 97 (Figura 3).

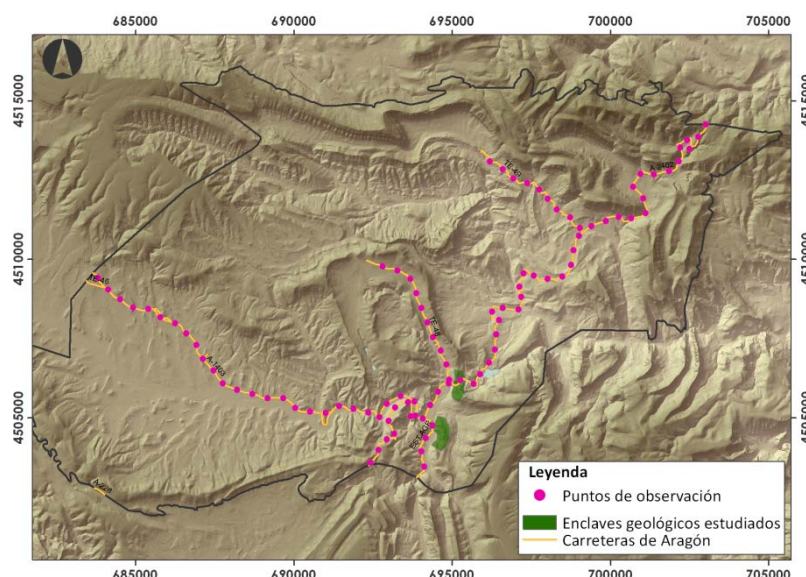


Figura 3. Puntos de observación utilizados en el nivel de análisis IV.

2.3. Obtención de la cartografía de zonificación

Gracias a los dos conjuntos de capas generadas por el script de Phyton, en el nivel de análisis II se puede identificar, además de los puntos que a este nivel ofrecen una mejor visibilidad a las formaciones geológicas, cómo es la visibilidad desde éstos al resto del territorio en el cual se sitúan. El análisis de esta visibilidad recíproca es vital para zonificar de manera adecuada el territorio adyacente ya que, siguiendo con los criterios expresados por el personal técnico de la Dirección General de Conservación del Medio Natural del Gobierno de Aragón, este territorio debe mantener un paisaje en armonía con los mismos (el derivado de los usos antrópicos agrícolas y ganaderos tradicionales).

Así, además de la categoría “Zona del Monumento Natural del Geoparque”, que se refiere al espacio que ocupan las tres formaciones y es inamovible desde el punto de vista de los técnicos del Gobierno de Aragón, se establecen tres categorías de zonificación en función del número de píxeles visibles de los tres enclaves desde cada uno de los puntos contemplados en el nivel de análisis II: (i) Zona de Exclusión Total; (ii) Zona de Exclusión Parcial; y (iii) Zona de Uso Compatible. El territorio comprendido por cada una de estas zonas corresponde al sumatorio de las cuencas visuales individuales de los puntos clasificados en función de estas tres categorías. Así, la “Zona de Exclusión Total” estará formada por la suma de las cuencas visuales de los puntos de observación analizados a este nivel que tengan la visibilidad más alta a las formaciones geológicas estudiadas, la de “Exclusión Parcial” por el de la cuencas de los puntos analizados que tengan una visibilidad a las formaciones geológicas intermedia y, finalmente, la de “Uso Compatible” por las cuencas de los puntos de observación que tengan la visibilidad más baja.

Por último, dado que la propuesta de zonificación, en caso de prosperar, supondrá una regulación sobre el uso del territorio, los límites resultantes se adaptaron al parcelario del Catastro. En el caso de que una parcela catastral pudiera quedar asignada a dos categorías, se asignó al nivel superior.

2.4. Propuesta de nuevas rutas turísticas y de puntos de observación en la Red de carreteras

La propuesta de nuevas rutas de explotación turística mediante vehículos convencionales o todoterreno y de la instalación de puntos de observación en la red de carreteras se hace a partir del análisis de los resultados de visibilidad a los tres enclaves de los distintos puntos que componen estas infraestructuras viarias a nivel 3 y 4, respectivamente. Así, los datos obtenidos en el nivel 3 indican del conjunto de caminos analizados cuales son los que presentan una mayor cantidad de puntos de observación en su recorrido con una buena visibilidad (una mayor suma de píxeles de los enclaves clasificados como visibles) a las tres formaciones consideradas, distinguiendo si estos pueden ser hechos con un vehículo “normal” o si es necesario que presente tracción a las cuatro ruedas. Por su parte, el estudio de los resultados derivados del análisis de nivel 4, identifica una serie de puntos de observación a los enclaves que permite al viajero tener una primera aproximación a este patrimonio científico, cultural y paisajístico.

3. RESULTADOS

3.1. Cartografía de zonificación

El número de píxeles de los enclaves de “La Olla, La Porra y Estrecho de Aldehuela-Peña del Barbo” visibles desde los puntos de observación establecidos en los puntos de interés, en las rutas y en excursiones propuestos por el Centro de Interpretación del Parque Geológico de Aliaga variaba de 109 a 10751. Esta variable fue utilizada para calcular los cuartiles, clasificándose los puntos de observación en cuatro grupos iguales. El grupo de puntos con mayor número de píxeles observados sirvió para definir la categoría “Zona de Exclusión Total”, los dos grupos con valores intermedios conformaron la categoría “Zona de Exclusión Parcial” y el que agrupaba a los de menor valor sirvió para concretar la “Zona de Uso Compatible”. La figura 4 muestra la zonificación resultante incluyendo la categoría “Zona del Monumento Natural del Geoparque” que, como se ha dicho con anterioridad, fue propuesta por los técnicos del Gobierno de Aragón. A continuación se recoge una breve descripción del territorio que configura cada una de estas zonas y de los principios de regulación que se proponen en cuanto a usos del territorio en estos espacios:

- Zona de Exclusión Total: afecta al territorio situado en las inmediaciones de los tres enclaves, por lo que la visibilidad a ellos es excelente desde cualquier punto. Por esto, se propone una protección total de la zona, permitiéndose solamente los usos que ya existen en la actualidad y, en caso de iniciarse nuevas formas de actividad, que estas se relacionen con las formas tradicionales presentes en el entorno, conservando las nuevas infraestructuras el aspecto que presenta el paisaje existente o incluso mejorándolo.

- Zona de Exclusión Parcial: pertenecen a esta zona aquellos terrenos desde los que se tiene una visibilidad media de las tres estructuras geológicas. Quedaría excluida de esta zona la posibilidad de desarrollar acciones altamente impactantes para la calidad estética del paisaje tales como parques eólicos, minería a cielo abierto, etc. Además se sigue requiriendo que las nuevas infraestructuras adquieran, en la medida de lo posible, una morfología que respete la tradicional mediante la aplicación de estudios de integración paisajística.
- Zona de Uso Compatible: esta última zona engloba al resto de los territorios que tienen visibilidad a las tres formaciones consideradas, pero ya de forma muy reducida. Así, desde este territorio no se tiene una visión general de ninguno de los tres enclaves, por lo que sería el espacio ideal para la ubicación de las actividades más impactantes para el paisaje en el caso de que fuera necesario que estas se realizaran para el mantenimiento o el incremento del bienestar socio-económico de Aliaga y su entorno.

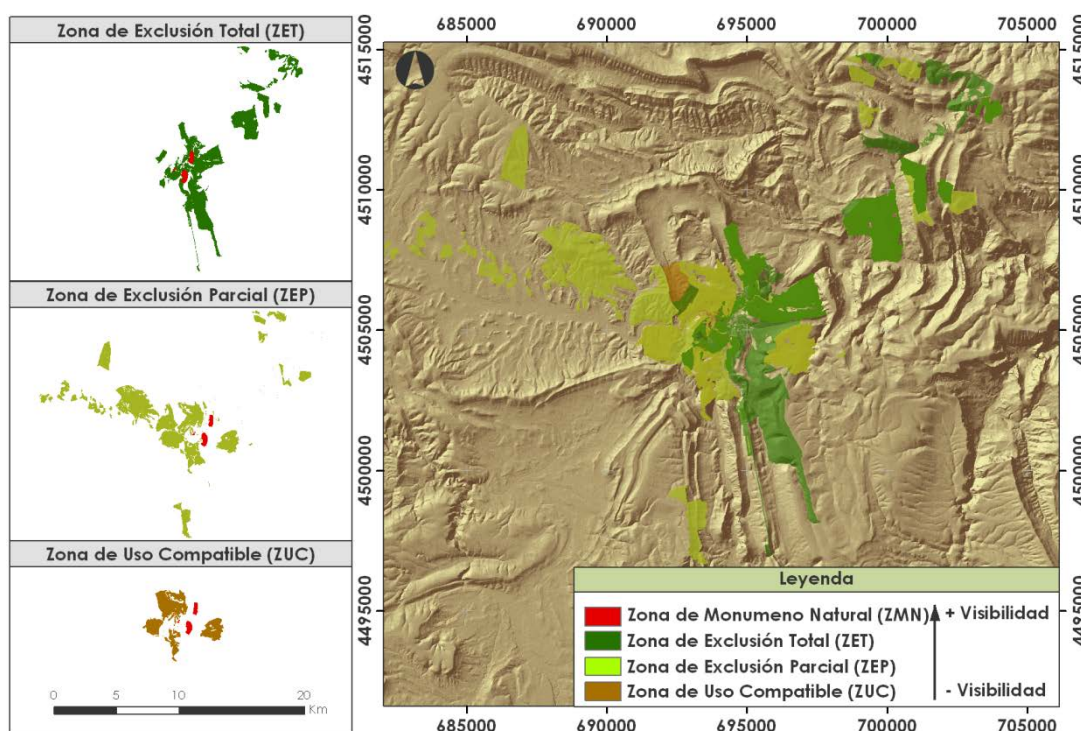


Figura 4. Cartografía de zonificación.

3.2. Nuevas rutas turísticas y puntos de observación propuestos en la Red de carreteras

3.2.1. Nuevas rutas turísticas

Se identificaron un total de siete nuevas rutas para incrementar las posibilidades de explotación turística del Parque Geológico, siendo solamente dos de ellas aptas para vehículos tipo turismo:

- Rutas para turismo (Figura 5, izquierda):
 - Ruta Oeste: se sale de Aliaga por la carretera A-1403 hacia Hinojosa del Jarque y allí se toma la desviación hacia el sur, camino en el que encontraremos dos excelentes puntos de observación:
 - Punto 1: recorridos unos 500 m desde el principio de la ruta, se llega a un punto desde el que se observa una parte del “Estrecho de la Aldehuela - Peña del Barbo” en la que se pueden apreciar con suficiente detalle los espectaculares pliegues de esta estructura.
 - Punto 2: situado a 500 m del punto anterior se puede ubicar otra parada que proporciona una visión más completa del enclave “Estrecho de la Aldehuela - Peña del Barbo”.
 - Ruta Sur: desde Aliaga, se coge el camino que lleva a Masia Santilla. En esta ruta destacan tres puntos de observación:

- Punto 3: emplazado al poco de comenzar el camino, ofrece una buena visión de la estructura de la formación “Estrecho de la Aldehuela – Peña del Barbo”.
- Punto 4: situado a unos 2 km del punto anterior permite obtener una panorámica no solo del “Estrecho de la Aldehuela-Peña del Barbo”, sino que también se pueden ver los pliegues de “La Olla”.
- Punto 5: esta parada, situada a 500 m del punto anterior, ofrece una visión parcial del “Estrecho de la Aldehuela-Peña del Barbo”.
- Rutas para todoterrenos (Figura 5, derecha):
 - Ruta Este: saliendo de Aliaga se coge la carretera A-1403 en dirección a La Aldehuela. A continuación se toma la primera desviación a la izquierda. Al final de este camino se encuentra el punto de parada denominado como 1 en la cartografía.
 - Punto 1: desde este punto se obtiene una visión panorámica del enclave “Estrecho de la Aldehuela-Peña del Barbo” en la que se ve el plegamiento de los estratos que constituyen esta estructura.
 - Ruta Norte: se toma la carretera comarcal A-1403 en dirección a Ejulve y a unos 6 kilómetros de distancia de la desviación de la ruta anterior se ubica el mejor punto de observación de esta ruta.
 - Punto 2: desde esta ubicación se obtiene una impresionante vista de la formación “La Olla”.
 - Ruta NW: saliendo de Aliaga por la carretera A-1403 en dirección a Hinojosa del Jarque, pasada la desviación a Cobatillas, se toma una pista forestal hacia la derecha donde es posible ubicar dos puntos de observación. En estos dos puntos se obtiene una visión muy similar de las estructuras, por lo que solamente se describe uno de ellos:
 - Punto 3: a pocos metros del desvío indicado, esta parada permite tener una magnífica panorámica de las tres estructuras que dirigen la realización de este trabajo.
 - Ruta SW: para acceder a este camino, se toma la segunda desviación a la izquierda que aparece en la carretera A-1403 en dirección a Hinojosa del Jarque. Al igual que en el caso anterior, esta ruta está formada por dos puntos de parada con una visión muy similar por lo que se describe solamente uno.
 - Punto 4. Situado al final de la ruta propuesta; desde este lugar se pueden apreciar las tres estructuras geológicas, lo que permitirá al visitante tener una visión global del futuro Monumento.
 - Ruta W: esta última ruta parte de la carretera comarcal A-1403 desde Aliaga hacia Hinojosa del Jarque. Una vez pasada esta localidad y a unos 2,5 km de distancia aparece una desviación a la izquierda. Después de recorrer más de 2 km llegaremos al punto de parada propuesto.
 - Punto 5: Desde este punto se obtiene una buena panorámica de los estratos plegados de la estructura de “La Olla” y, además, de una pequeña parte de las otras dos estructuras.

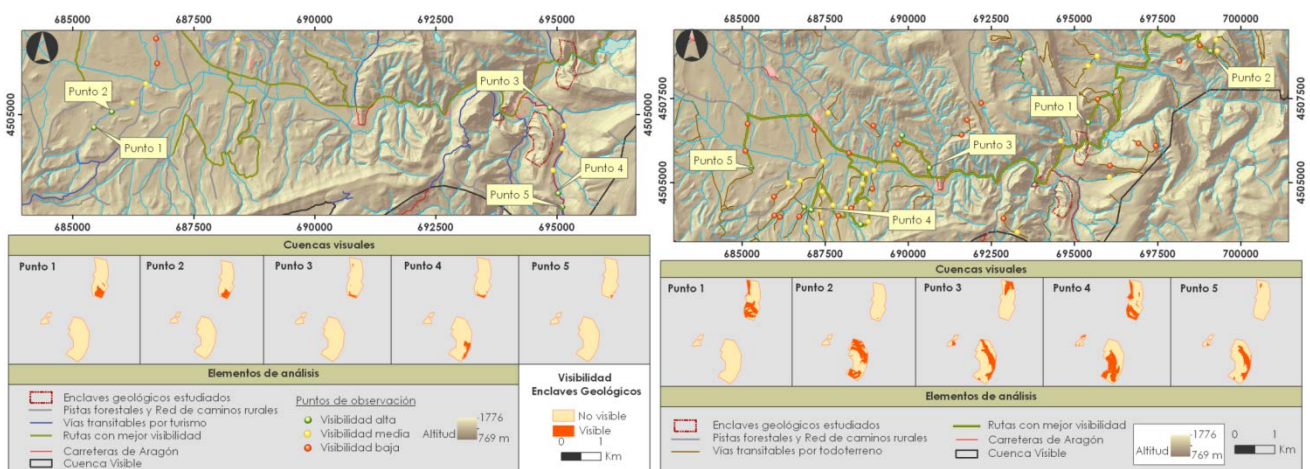


Figura 5. Propuesta de rutas para turismo (izquierda) y todoterrenos (derecha) y puntos de observación situados en ellas.

3.2.2. Puntos de observación propuestos en la Red de carreteras

Como resultado de los datos obtenidos en el nivel de análisis 4, se localizaron una veintena de posibles puntos de observación en los que se puede obtener una visión panorámica de alguna o de las tres estructuras geológicas. Se describen a continuación solamente los cinco mejores (Figura 6):

- Punto 1: se encuentra en las inmediaciones del “Estrecho de la Aldehuela-Peña del Barbo”. Su ubicación permite tener una panorámica general de La Olla y, debido a su proximidad con la Peña del Barbo, también se observa una parte muy pequeña de esta estructura.
- Punto 2: siguiendo la carretera A-1403 en dirección a Aliaga y situado muy próximo al punto 1. Desde esta parada se obtiene una visión general del “Estrecho de la Aldehuela-Peña del Barbo” y una visión local de “La Olla”.
- Punto 3: situado inmediatamente después del punto que se acaba de describir. Debido a esto, la panorámica de las dos estructuras es muy similar a la que se observa en el punto 2, aunque en esta ocasión la visión de la estructura de “La Olla” es mucho más amplia.
- Punto 4: situado sobre la carretera que atraviesa la localidad de Aliaga, este punto de observación permite tener una visión parcial de la estructura de “La Porra” donde se observa perfectamente sus estratos calcáreos verticales.
- Punto 5: este último punto se sitúa a unos 500 m de la localidad de Aliaga siguiendo la carretera que lleva a Camarillas. Desde él se pueden observar las tres estructuras geológicas del futuro Monumento Natural.

Con la identificación de estos puntos se pone de manifiesto que las carreteras que ofrecen una mayor visibilidad de los estudiados son la A-2402, la A-1403 y la TE-49. Una conducción sosegada por éstas permite a los pasajeros del vehículo tener una visión global general de estos enclaves que puede invitar a realizar una visita al Parque Geológico.

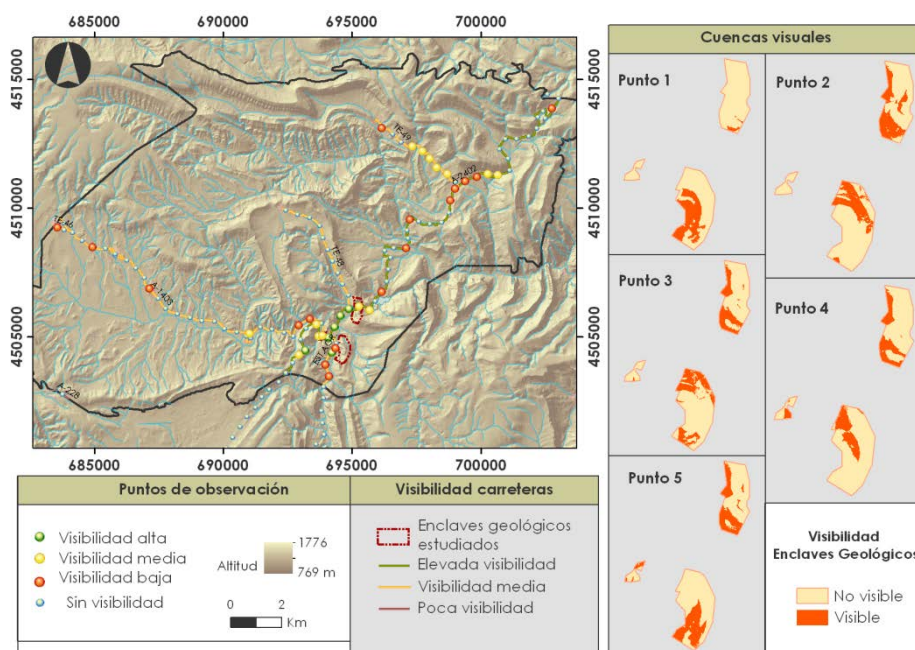


Figura 6. Propuesta de puntos de observación sobre la Red de carreteras.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las estructuras geológicas de la “La Olla, La Porra y Estrecho de Aldehuela-Peña del Barbo” constituyen tres hitos relevantes desde el punto de vista científico, pero también paisajístico. La unión de éstas dos características es la que ha llevado a plantear su protección como Monumento Natural. Teniendo en cuenta sobre todo el valor paisajístico, en este trabajo se ha presentado una metodología basada en la aplicación de herramientas de análisis de visibilidad que se ha mostrado como útil para resolver el doble objetivo

propuesto: establecer la zonificación concreta del futuro ENP e incrementar las posibilidades de su explotación turística.

Así, el primer resultado de aplicar esta metodología es una propuesta de zonificación que, en base al criterio de la visibilidad existente de cada punto del territorio a estos tres enclaves, establece los usos que se pueden implantar y sus condicionantes para no deteriorar la calidad paisajística del entorno. El segundo resultado permite proponer nuevas formas de accesibilidad visual a estas espectaculares estructuras geológicas empleando un recurso no valorado hasta ahora por el Centro de Interpretación: el vehículo (particular o no), ya sea este de tipo turismo o todo terreno. En este aspecto destaca el análisis hecho sobre la red de carreteras convencionales, que identifica la localización de posibles puntos de observación que despierten a viajeros ocasionales por la zona el interés por visitar el Parque Geológico. Un último hecho a destacar de la metodología propuesta es la necesidad de contar con rutinas de programación (en este caso en Python) dado el alto número de posibles puntos de observación utilizados (670 puntos en total considerando los cuatro niveles de análisis planteados). Sin el concurso de herramientas y lenguajes de programación, la tarea de calcular las distintas “Cuencas visuales” de los puntos de observación y conocer la proporción de éstas que intersecta con las formaciones estudiadas hubiera sido mucho más extensa en el tiempo, haciéndola inabordable.

Finalmente, es necesario señalar dos aspectos que pueden mejorar la metodología propuesta permitiendo obtener resultados más precisos. El primero de ellos es referente a la consideración de la altura de la vegetación y de las edificaciones locales, dado que éstas pueden modificar significativamente la visibilidad real desde un determinado punto de observación. El segundo hace referencia a considerar los datos de aforo de la red de carreteras, lo que permitiría priorizar el establecimiento de puntos de observación en las mismas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento al Dr. José Luis Simón, Catedrático de Geodinámica Interna de la Universidad de Zaragoza y miembro del comité científico del Geoparque Parque Cultural del Maestrazgo por plantear la realización de este trabajo y el asesoramiento científico recibido, a Francho Beltrán Audera, Jefe de la Sección de Planificación de Espacios Naturales Dirección General de Conservación del Medio Natural del Gobierno de Aragón, por las indicaciones recibidas a la hora de plantear la propuesta de zonificación y a Marcos Rodríguez Mimbreno, profesor asociado de la Universidad de Zaragoza, por la ayuda en la programación en Python.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Canérot, J. (1969): “Observations géologiques dans la région de Montalban, Aliaga et Alcorisa (province de Teruel, Espagne)”. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 7 (11), 854-861.
- González A. y Guimerà J. (1993): “Sedimentación sintectónica en una cuenca transportada sobre una lámina de cabalgamiento: La cubeta terciaria de Aliaga”. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 6, 151-167.
- Liesa, C.L. y Soria, A.R. (1999): “Un sistema de fallas normales sinsedimentarias en las unidades de facies Urgon de Aliaga (Teruel, Cordillera Ibérica)”. *Geogaceta* 24, 291-294.
- Liesa, C.L., Casas, A.M., Soria, A.R., Simón, J.L. y Meléndez, A. (2004): “Estructura extensional cretácica e inversión terciaria en la región de Aliaga-Montalbán”. En *Sociedad Geológica de España (ed) Itinerarios geológicos por Aragón*. Madrid, Sociedad Geológica de España, 151-180.
- Simón Gómez, J.L. (1979): *Modelo Evolutivo de la tectogénesis Alpina en la región del Guadalupe, entre Aliaga y Calanda (Teruel)*. Tesis de Licenciatura, Universidad Complutense de Madrid.
- Simón Gómez, J. L. (2002): *Guía fácil. Parque Geológico de Aliaga*. Molinos (Teruel), Centro para el Desarrollo del Maestrazgo.
- Simón Gómez, J. L. (2006): “El registro de la compresión intraplaca en los conglomerados de la cuenca terciaria de Aliaga (Teruel, Cordillera Ibérica)”. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 19, 163-179.
- Simón Gómez, J. L., Gisbert, J., Buj, O. (2013): “Interacting lithogenesis and pressure-solution deformation in conglomerates: example from the Aliaga basin (Iberian Chain)”. *Geogaceta*, 53, 41-44.