
XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica 25, 26 y 27 de Junio de 2014. Alicante.

Parametrización numérica de las relaciones visuales del territorio: el Sistema de Visibilidad de Andalucía. REDIAM.

Francisco Cáceres^{1*}, Daniel Romero², Juan José Guerrero³, Michela Ghislanzoni⁴,
Fernando Giménez de Azcárate³, José Manuel Moreira¹.

¹Viceconsejería. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía - REDIAM'

²RqueR tecnología y sistemas SL – REDIAM

³Agencia de Medio Ambiente y Agua de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía - REDIAM'

⁴Territoria, análisis y gestión del medio SL - REDIAM'

Resumen

El Convenio Europeo del Paisaje, que condiciona para los Estados firmantes el tratamiento que debe darse al paisaje y su protección, incorpora la percepción de la población como elemento clave en su definición, debiendo ser tenida en cuenta en cualquier actuación con previsible incidencia paisajística. Este aspecto resulta difícil de considerar desde un punto de vista operativo y objetivo, y suele abordarse a través de técnicas de investigación social. Sin cuestionar la validez de estos análisis, existen características morfológicas del medio físico que pueden proporcionar una medida perfectamente cuantificable del modo y la frecuencia con que cada parte del territorio puede ser percibida u observada.

El Sistema de Visibilidad de Andalucía (SVA), desarrollado recientemente en el seno de la REDIAM en el contexto de los estudios sobre el paisaje, trata de representar, reproducir y modelizar la percepción visual humana sobre el territorio a través del cálculo de diversos parámetros y el desarrollo de algoritmos de procesado y explotación para estos. El SVA recoge las relaciones visuales existentes o potenciales entre observador y territorio para más de 11 millones de puntos de

* E-mail: francisco.caceres@juntadeandalucia.es

observación distribuidos por el territorio andaluz, incorporando los algoritmos necesarios para operar con estos datos en el estudio del paisaje.

La consideración de las relaciones de visibilidad potenciales (no sólo existentes) entre los puntos del territorio constituye una de las características más interesantes del SVA, en tanto que permite conocer las condiciones de visibilidad que se darían si alteramos la altura de observación o del punto observado, lo que resulta de gran utilidad en la evaluación de la visibilidad de y desde instalaciones en altura. Asimismo, es posible combinar los parámetros del SVA con cualquier otra variable de distribución territorial: por ejemplo, la intervisibilidad con la densidad estimada de observadores en cada punto del territorio derivan en la obtención de la magnitud de Accesibilidad Visual Ponderada, útil para evaluar tanto la prominencia visual de una parcela determinada como el impacto de una instalación de cierta altura en proyecto.

Las aplicaciones del SVA son diversas, trascendiendo del ámbito de estudio del paisaje en el que inicialmente fue concebido. Así, el SVA se está utilizando en el desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada en dispositivos móviles, en la mejora de la localización de focos de incendios forestales, o en la propia interpretación cartográfica, entre otras.

Palabras clave: visibilidad; Andalucía; Sistemas de Información; gestión del Territorio.

1. Introducción

La transversalidad del concepto de paisaje, su doble componente como feno y criptosistema, unido a un cierto nivel de deslocalización de causas y efectos, lo hacen difícil de manejar, en especial desde el punto de vista de la gestión territorial.

Es por ello que la consideración paisajística en los instrumentos de protección y ordenación territorial de cierta generalidad ha sido muchas veces débil, resultando en la mayor parte de las ocasiones insuficiente para la adecuada protección u ordenación del paisaje.

Pero hay una porción del fenosistema que puede ser cuantificada y admite su objetivación, y cuya aplicación a la gestión territorial resulta perfectamente deseable. Si aceptamos que el paisaje es percibido de forma mayoritaria a través del sentido de la vista, podemos derivar que cualquier actuación territorial supondrá un impacto en el paisaje que será proporcional a 'cómo de visible' sea la actuación, sin perjuicio de que otras componentes de naturaleza interpretativa puedan ser aplicadas a posteriori o no. En este sentido, la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM) aporta al Sistema Compartido de Información sobre el Paisaje (SCIPA) una de las herramientas más avanzadas y adecuadas para la labor de establecer el impacto visual de una intervención, el Sistema de Visibilidad de Andalucía (SVA).



Fig.1. El Sistema de Visibilidad modeliza la percepción humana sobre el territorio, mediante la elaboración de una serie de parámetros que hacen posible su análisis científico.

2. El Sistema de Visibilidad de Andalucía.

2.1. Descripción, bases y objetivo.

El objetivo del Sistema de Visibilidad de Andalucía es el estudio pormenorizado de las relaciones visuales existentes o potenciales entre los distintos puntos del territorio andaluz. En esta declaración de objetivos está muy presente una inicial perspectiva geosistémica -en el sentido de 'sistema de relaciones geográficas', Sochava (1978), que después debe poder complementarse con contenidos ecológicos o culturales.

El Sistema de Visibilidad de Andalucía se define pues como un Sistema de Información (conjunto de datos y métodos) que modeliza la percepción visual humana sobre el territorio, permitiendo su análisis científico y objetivo de manera que los resultados de este análisis puedan apoyar la toma de decisiones sobre determinadas actuaciones en el territorio (Guerrero et al., 2010). Es de gran complejidad en cuanto a procesos, pero no reviste una gran complicación en cuanto a las bases cartográficas necesarias para su construcción. Tan sólo es necesario contar previamente con dos elementos de base geográfica y dos datos:

- Un Modelo Digital de Elevaciones de suficiente calidad y precisión, y que cubra un ámbito suficiente para nuestros fines. Para la confección del SVA se ha compuesto un MDE de resolución 20 m que cubre el territorio andaluz y el buffer suficiente, basado en un acuerdo entre los modelos de mayor actualidad disponibles para cada ámbito geográfico.
- Una malla de posiciones de observación suficientemente densa para dar respuesta a la complejidad del territorio, desde el punto de vista altimétrico. En el caso del SVA, la separación entre los elementos de esta malla es de 100 m.
- El dato de distancia máxima de visibilidad, definido como la distancia a partir de la cual el observador ya no distingue los elementos del paisaje (Higashiyama y Shimono, 1994), o bien estos ya tienen una mínima influencia en la panorámica observada. Desde el punto de vista de la evaluación de impactos, la definición es aún más restrictiva, puesto que se refiere a la distancia a partir de la cual una actuación deja de ser distinguible (Madiedo Ruz y Bosque Sendra, 2006). Para el cálculo del SVA este dato se estableció en 15.000 m
- El dato de altura de observación base, que es la altura desde la que se supone que un observador otea el territorio. La altura base de observación para el SVA se estimó en 1.7 m. (Fig.2).

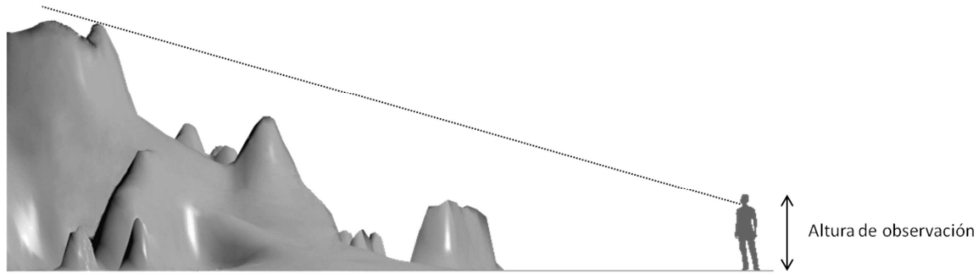


Fig.2. Altura de observación base.

3. Resultados. Parámetros elaborados y discusión

Partiendo de estos datos podremos obtener una serie de valores que cualifican (y cuantifican) las relaciones visuales entre un punto de observación y cualquiera de las teselas del territorio que están situadas dentro de la 'distancia máxima de visibilidad'. Estos valores deben ordenarse en matrices (ráster) de manera que puedan ser accesibles de forma ágil, tanto si nuestro interés se centra en el punto al que se dirigen las miradas o en aquel del que surgen (punto de observación) (Guth, 2005). Para cada punto de la malla de observadores se obtiene:

A.- La Altitud angular, como ángulo vertical que se forma entre el horizonte y el punto del territorio visto desde el punto de observación en estudio, a la altura base de observación. Relaciona de forma sencilla cada punto del territorio en su vista ortográfica (proyectada en un plano) con su vista panorámica o altazimutal, lo que permite trazar relaciones biyectivas uno a uno entre estas dos maneras de visualización de eventos, y con ello obtener imágenes sintéticas del territorio observado, en las que se mantiene el control sobre cada uno de los puntos. Como para el resto de parámetros la altura de observación es 1.7 m sobre el suelo, y se tiene en cuenta la curvatura terrestre y la refracción del aire. Para la obtención de la magnitud de corrección debida a estos efectos se ha recurrido a la clásica fórmula:

$$c(m) = -0,0675 * d(km)^2 \quad (1)$$

Aunque el valor de la curvatura terrestre depende de la localización geográfica, y el de la refracción atmosférica depende de factores como la temperatura, la humedad, etc., se toma un valor medio establecido para posibilitar unos cálculos aproximados. Según la fórmula, la corrección que ha de aplicarse para una distancia de observación de 15 km es de -15.1875 m.

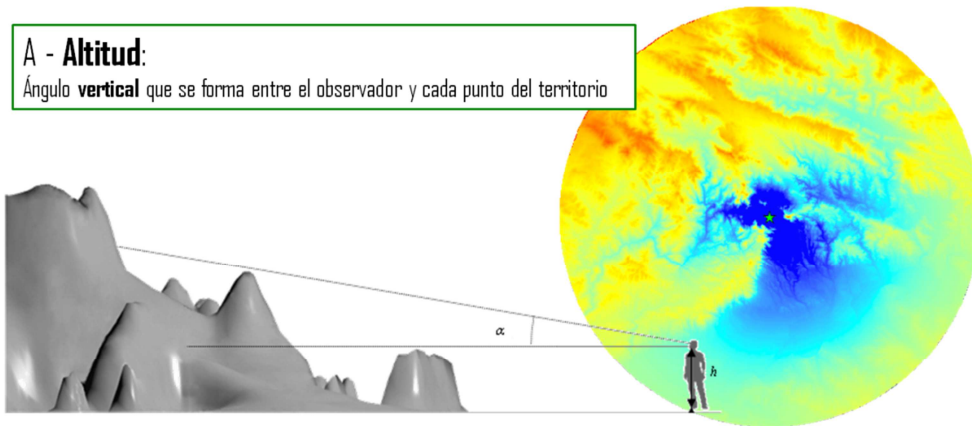


Fig.3. Parámetro A: Altitud Angular. Esquema conceptual e imagen del resultado.

B.- La Altura complementaria o Cota Complementaria de Visibilidad (CCV): llamada 'local offset' en (Fisher, 1992), determina qué altura se debe añadir a cada punto del territorio para que comience a ser visible desde el punto de observación en estudio. Tomará el valor 0 para los puntos que son visibles desde la altura de observación base y cualifica las teselas no visibles, siendo posible a través de una operación trivial obtener a través de ella la visibilidad potencial de una intervención de determinada altura. (Fig.4)

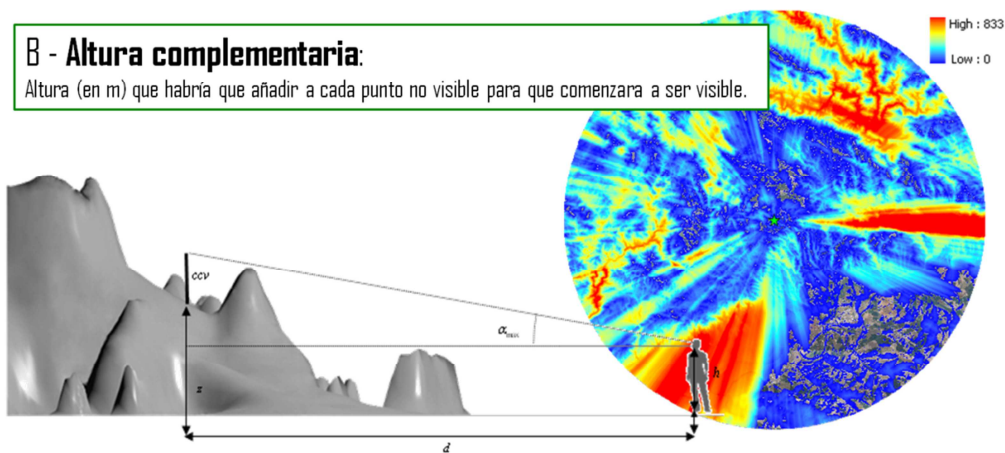


Fig.4. Parámetro B: Altura Complementaria o Cota Complementaria de Visibilidad (CCV). Esquema conceptual e imagen del resultado.

El concepto previamente expuesto supone dotar al análisis de la visibilidad orientado a la evaluación de impactos de una nueva dimensión. Lógicamente ya no tiene sentido hablar de 'mapas de visibilidad' (Izraelevitz, 2003), puesto que de lo que se hablará será de un sistema más complejo pero mucho más flexible y coherente, que ofrecerá el mapa adecuado para cada intervención prevista.

C.- Proyección visual: Para los puntos del territorio naturalmente visibles, y en función de la pendiente del terreno y su orientación relativa al observador, es posible determinar una magnitud que represente la importancia que adquiere ese punto en una representación altazimutal. (Fig.5)

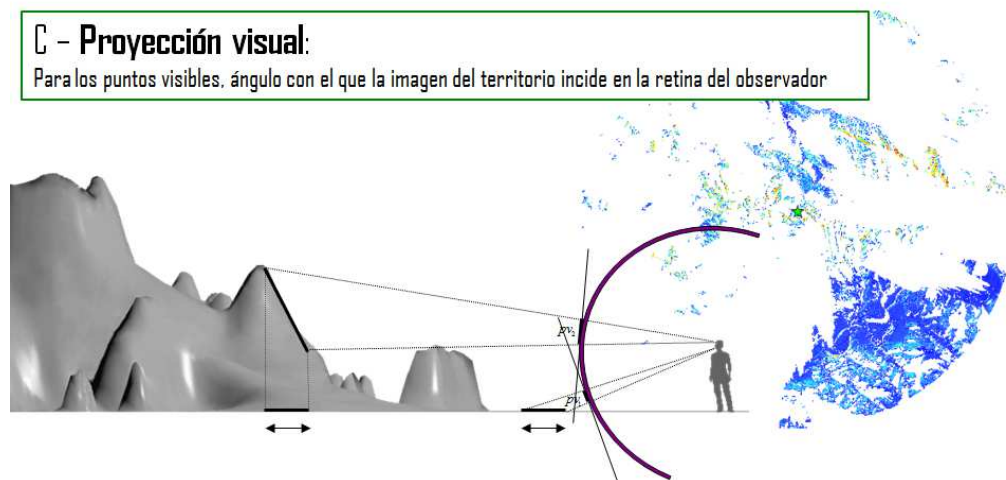


Fig.5. Parámetro C: Proyección Visual. Esquema conceptual e imagen del resultado..

Destacar el valor que este parámetro (relacionado con el concepto de 'solid angles') tiene dentro de los estudios de impacto visual, y en general dentro del estudio del paisaje, puesto que tiene una doble lectura: cualquier actuación extensiva en cota 0 o sobre vegetación tapizante, (como por ejemplo la mancha negra resultante de un incendio o el trazado de un cortafuegos) resulta mucho más impactante en ámbitos con elevada proyección visual, mientras que cualquier intervención en altura es ampliamente más visible en ámbitos con baja proyección visual en los que destaca su componente vertical (Domingo-Santos et al, 2010). Paisajes muy llanos se destacan por su alta intervisibilidad pero baja proyección visual, mientras que los más abruptos tienen una baja intervisibilidad y una alta proyección visual. (ver Fig.6).



Fig.6.

D.- Horizontes visuales: o aquellos en los que se produce un cambio de ‘visible’ a ‘no visible’ (desde el punto de observación en estudio y para la altura base de observación) Conforman líneas de ruptura de un panorama (Fig.7).

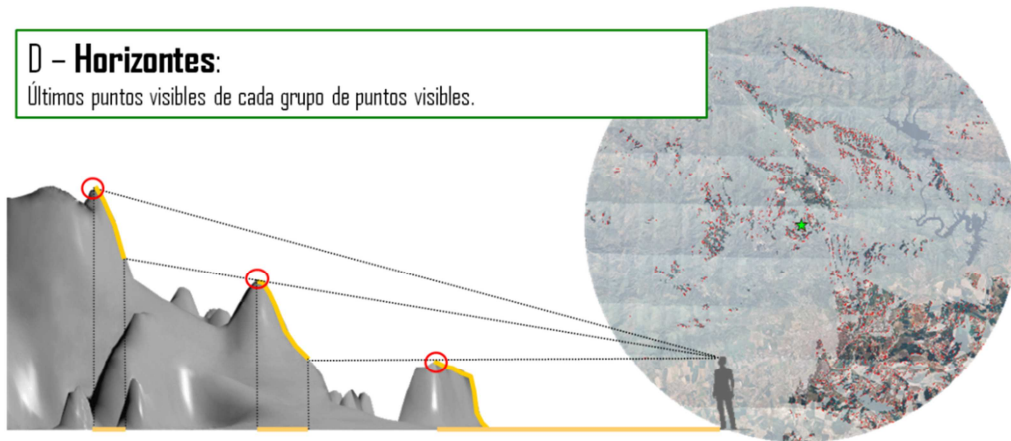


Fig.7. Parámetro D: Horizontes Visuales. Esquema conceptual e imagen del resultado..

Son puntos especialmente frágiles ya que son el ‘esqueleto’ del paisaje visible y forman la estructura sobre la que el resto de elementos se asienta: si en vez de tomar un Sistema de Referencia plano tomamos uno altazimutal, los puntos de horizonte se disponen como vemos en la Fig. 8.

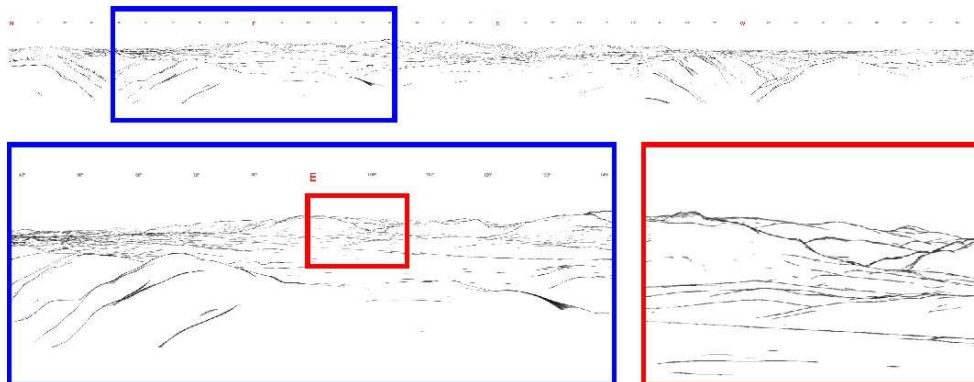


Fig.8.

E.- La Altura de torre: parámetro aplicable también a los puntos no directamente visibles desde el punto de observación en estudio, y que significa la altura a la que es necesario elevar el observador para que cada punto del territorio resulte visible. (Fig.9).

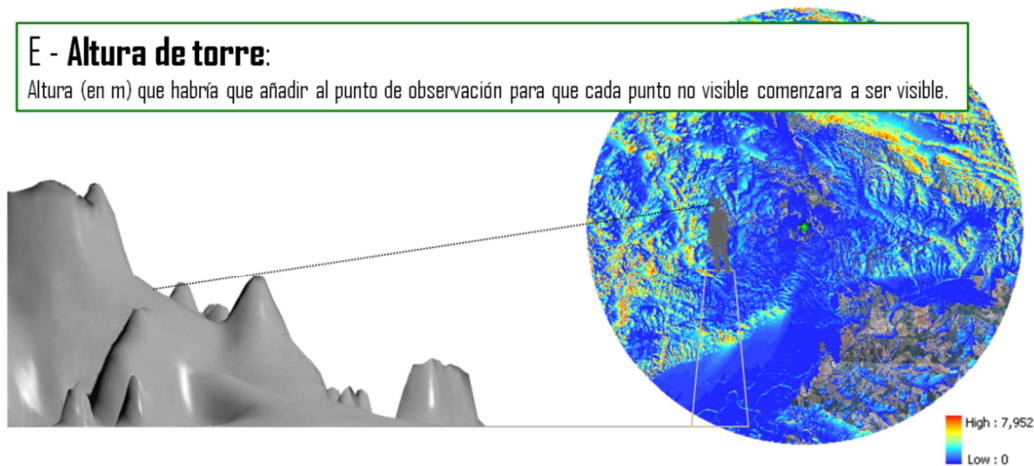


Fig.9. Parámetro E: Altura de Torre. Esquema conceptual e imagen del resultado..

A través de este parámetro podemos obtener la visibilidad no sólo desde la altura de observación base, sino también desde cualquier otra altura. Es de alguna manera el inverso de la altura complementaria y resulta muy útil para la determinación de los lugares óptimos donde localizar puestos de vigilancia o disfrute del territorio, estableciéndose de forma muy sencilla una comparativa coste/beneficio para cada una de las localizaciones posibles.

Estos cinco parámetros básicos toman la forma de matrices (o imágenes) georreferenciadas que determinan cuantitativamente para cada punto de la malla de observación su relación con el resto de teselas del territorio, dentro de la distancia máxima de visibilidad. Estas cinco imágenes han sido calculadas para cada hectárea del ámbito territorial andaluz, al que se le suman los ámbitos adyacentes hasta la distancia máxima de visibilidad (puesto que cualquier intervención cercana a la frontera afectaría a observadores situados al otro lado, e igualmente ocurre al contrario), llegándose a un total de más de 11 millones de puntos de observación calculados- 55 millones de rasters- que, comprimidos, ocupan un total de más de 55 Tb (Fig.10).

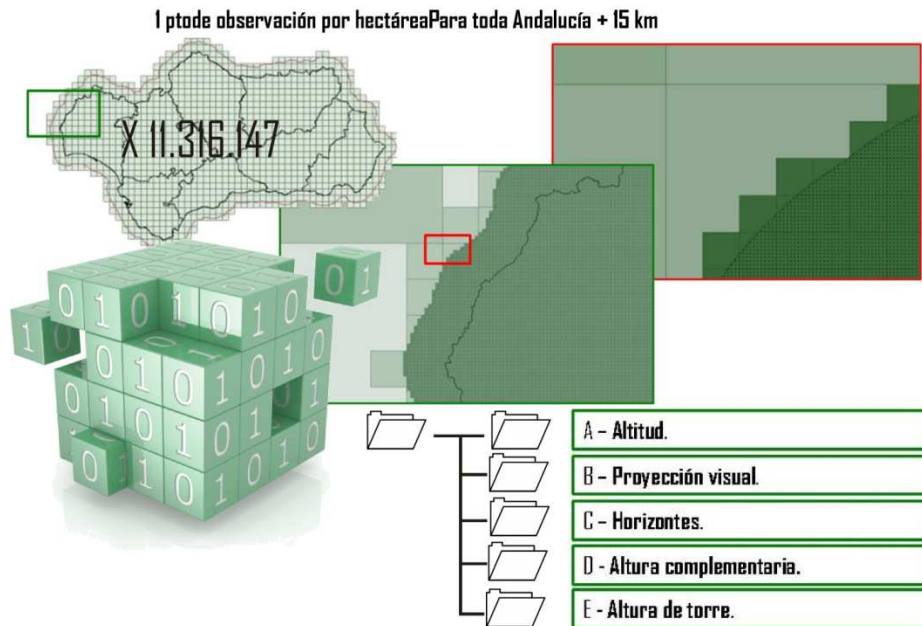


Fig.10. Esquema representativo del alcance, extensión y volumen de información generado por el Sistema de Visibilidad de Andalucía.

4. Aplicaciones de los datos contenidos en el Sistema de Visibilidad de Andalucía.

El Sistema de Visibilidad de Andalucía comprende, además de los datos que en el epígrafe anterior se han detallado, procedimientos para la aplicación de los mismos a distintas situaciones del mundo real en las que la componente visual pueda resultar de importancia:

4.1. Ordenación del Territorio. Accesibilidad Visual y Apantallamiento Visual

El Sistema de Visibilidad de Andalucía está ofreciendo herramientas para el análisis pormenorizado de la accesibilidad visual comparativa de cada punto del territorio ante distintas intervenciones humanas como pueden ser los desarrollos urbanísticos o cambios de uso del suelo. Esto se concibe como una medida de a cuántos observadores afectará esta intervención proyectada, y por tanto dependerá de datos específicos de la intervención, como puede ser su altura, o del modelo de distribución de observadores por el territorio (Chamberlain y Meitner, 2013; Higuchi, 1983; Fisher, 1996; Llobera, 2003).

Por otro lado, se han desarrollado procedimientos que contemplan y tratan de prevenir uno de los efectos más graves que las intervenciones humanas pueden producir, puesto que supone la propia sustracción de la imagen del territorio. Con este fin, se ha modelizado el fenómeno de apantallamiento.

4.2. Identificación, caracterización y cualificación paisajística.

Identificación de unidades visuales. Tiene como finalidad la obtención de ámbitos espaciales visualmente relacionados o autocontenidos. Esto es de enorme utilidad, puesto que ofrece una manera de seccionar el

territorio con criterio perceptual a través de una metodología científica y reproducible, de forma que se puedan aplicar criterios de gestión homogéneos que respondan fielmente a situaciones de equivalencia. Se basa en la obtención de la frecuencia con que cada tesela del territorio es parte de un horizonte visual (Fisher, 1992), según se va iterando a través de los nodos de la malla de observadores (Fig.11).

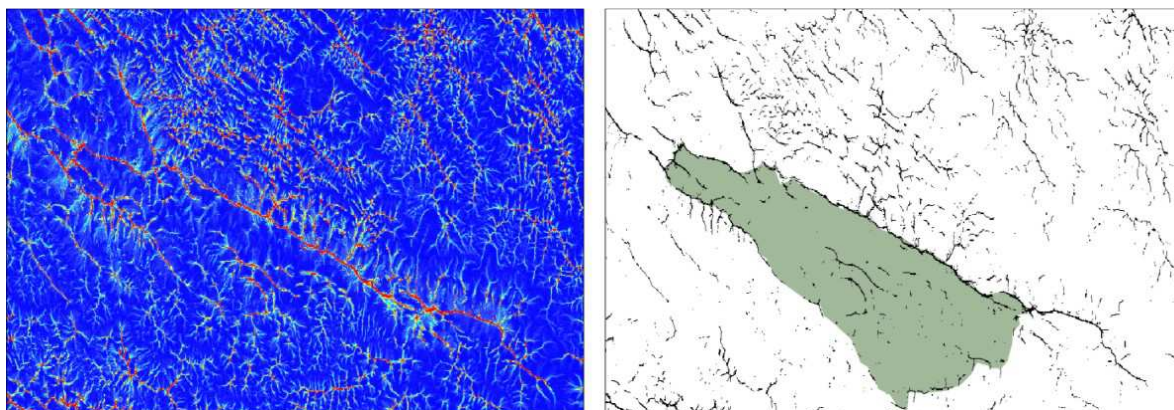


Fig.11. Delimitación de unidades visuales homogéneas en base a la frecuencia con que cada tesela del territorio forma parte de un horizonte visual.

Identificación y caracterización de hitos y recursos paisajísticos. Si un instrumento de planificación y ordenación considera los valores históricos y medioambientales de determinados elementos o ámbitos, ya sean urbanos o territoriales, el uso del SVA permitiría su caracterización visual, derivando así a su análisis paisajístico, y aportando nuevos procedimientos a tener en cuenta para su protección. Mediante comprobaciones efectuadas con apoyo de esta metodología, es posible prevenir efectos indeseados en la implantación de determinadas infraestructuras o de elementos discordantes en vistas de alta calidad incluso antes de que sean explotadas, aportándose un criterio objetivo y mensurable a la labor de conservación del patrimonio paisajístico común y facilitando la promoción de este valor.

Paisaje percibido. A través del SVA, es posible elaborar unas estadísticas sobre los territorios visualmente más accesibles. Mediante esta metodología, es posible avanzar un primer cruce estadístico entre usos y coberturas del suelo y accesibilidad visual, en definitiva, una comparativa -multiescalar y a distintos niveles de definición- entre los contenidos sustantivos del territorio (porcentaje de cada cobertura o uso del suelo) y el efecto que la situación de estos contenidos produce en el observador genérico. Este tipo de muestra nos puede indicar la capacidad real de presentarse el territorio a las personas que lo perciben.

4.3. Aplicaciones en el ámbito de los incendios forestales

A nivel de planificación y gestión, el modelo permite realizar la optimización de las redes de vigilancia junto al resto de criterios implicados en la lucha contra incendios forestales (vulnerabilidad, protección civil, valor ecológico y económico, etc.). Los modelos digitales de cota complementaria de visibilidad cobran aquí especial importancia para reconocer lugares conflictivos (Fig. 12), puesto que en lugares visualmente muy inaccesibles cualquier conato puede derivar en incendio con facilidad, al resultar difícil su detección temprana. A nivel de actuación, sistemas de localización basados en el SVA permiten la localización del origen del incendio con escaso margen de error, desde una sola torre de vigilancia.

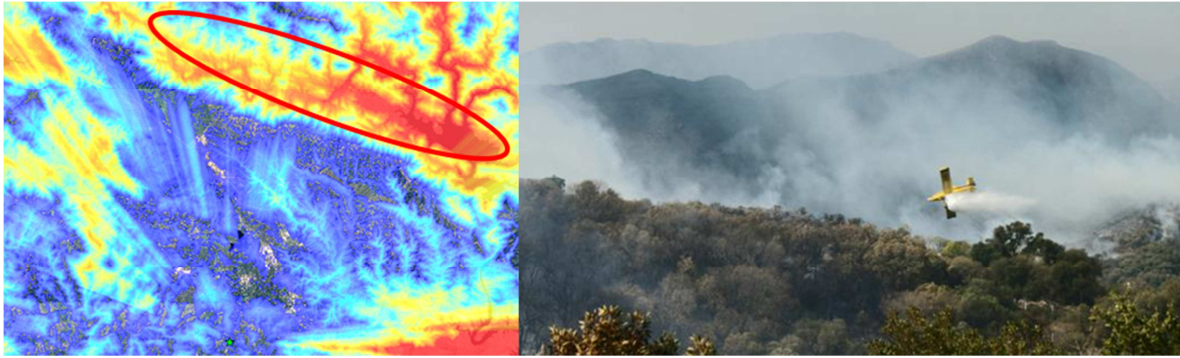


Fig.12. Detección de zonas visualmente inaccesibles, en las que se acrecienta el riesgo de propagación de incendios debido a su difícil detección temprana.

4.4. Difusión. Realidad aumentada.

Esta explotación de los datos del SVA permite la difusión de contenidos de interés social, como pueden ser los contenidos ambientales, a través de una aplicación que esquematiza el paisaje visible desde cada punto del territorio, destacando los eventos visibles más importantes o descriptivos (toponimia, elementos paisajísticos singulares, etc...). (Fig.13)



Fig.13. A través del SVA es posible obtener datos sobre lo que estamos viendo, aumentando la experiencia de los observadores.

5. Conclusiones.

La REDIAM, creada bajo la Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental (GICA), tiene por objeto “la integración de toda la información sobre el medio ambiente andaluz generada por todo tipo de centros productores de información ambiental en la Comunidad Autónoma”. Es el instrumento que reúne, produce y difunde información ambiental actualizada sobre el medio ambiente en Andalucía.

Considerada órgano asesor de la Estrategia de Paisaje de Andalucía, aporta a la misma no sólo la información ambiental que ha de ser considerada en la identificación y caracterización de los paisajes andaluces, sino también el desarrollo de metodologías y herramientas específicas para la gestión y protección de estos.

La Estrategia de Paisaje de Andalucía es una hoja de ruta establecida por la propia Junta de Andalucía, cuyo primer objetivo es la integración del paisaje en las políticas públicas. Particularmente, durante los últimos años se ha trabajado en un sistema de gestión de las relaciones visuales en el territorio andaluz, entre cuyas aplicaciones se encuentra la de la determinación del grado de visibilidad de una intervención territorial según parámetros como su situación o altura, con la particularidad de que el parámetro resultante no depende de un punto de vista en particular, sino que por el contrario tiene en cuenta la totalidad de ellos.

En este sentido, y desde la REDIAM, venimos abordando estudios de detalle en zonas especiales (por su complejidad, sensibilidad...), acometiendo el desarrollo de herramientas que faciliten la comprensión de las relaciones visuales que se establecen en entornos geográficos determinados. Estos desarrollos están colaborando en:

- En la justificación de la protección de determinados enclaves territoriales, agregando la consideración de su dimensión paisajística.
- En la justificación de determinadas acciones en procesos de gestión u ordenación del territorio.
- En el estudio de las relaciones visuales entre todo los puntos del territorio, con especial atención a nuestro patrimonio como bien común no privativo (en línea con el sentido mismo de paisaje), y elemento significativo de especial relevancia.

Referencias

- Sochava, V.B (1978). Introducción a la Teoría de los Geosistemas (en ruso)., *Editorial Nauka*, Novosibirsk, 319 p.
- Guerrero, J.J., Ghislanzoni, M., Romero, D., Cáceres, F., Giménez de Azcarate, F. y Moreira, J.M. (2010), "Identificación y caracterización del paisaje mediante parámetros visuales del relieve. REDIAM". *XIV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica. Sevilla, 2010. Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla*, pp. 841-860.
- Higashiyama, A.; Shimono, K. (1994), "How accurate is size and distance perception for very far terrestrial objects?" *Perception & Psychophysics* 55, pp. 429-442.
- Madiedo Ruz, F. y Bosque Sendra, J. (2006). Una propuesta metodológica para la cuantificación de la visibilidad del territorio desde la red *Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica. XII.*, 2006. Granada, pp. 1623-1634.
- Guth, P.L. (2005). Shortcuts in the line-of-sight and viewshed algorithms with gridded geographic dems: what's permissible and what's illegitimate. *ASPRS 2005, Annual Conference "Geospatial Goes Global: From Your Neighborhood to the Whole Planet"*. Baltimore (Maryland). March 7-11, 2005.
- Fisher, P.F. (1992). First Experiments in Viewshed Uncertainty: Simulating Fuzzy Viewsheds. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 58, No. 3, March 1992, pp. 345-352.
- Izraelievitz, D. (2003). A Fast Algorithm for Approximate Viewshed Computation. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 69, No. 7, July 2003, pp. 767-774.
- Domingo-Santos, J.M., Fernández de Villarán, R., Rapp-Arrarás, I., Corral-Pazos de Provens, E. (2011). The visual exposure in forest and rural landscapes: An algorithm and a GIS tool. *Landscape and Urban Planning* 101, pp. 52-58.
- Chamberlain, B.C, Meitner, M.J.(2013) A route-based visibility analysis for landscape management. *Landscape and Urban Planning* 111.p.13-24.
- Higuchi, T. (1983). The Visual and Structure of Landscapes. *The MIT Press*, Cambridge.
- Fisher, P.F. (1996). Extending the Applicability of Viewsheds in Landscape Plannig. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 62, No. 11, November 1996, pp. 1297-1302.

Llobera, M. (2003). Extending GIS-based visual analysis: the concept of visualsapes. *Int. J. Geographical Information Science*, 2003, vol.17, 1, pp. 25–48.