

# ANÁLISIS DEL MEDIO NATURAL Y DEL PAISAJE MEDIANTE EL USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

**Milego, R.**

**Dr. Nunes, J.**

Laboratori d'Informació Geogràfica i de Teledetecció

Universitat Autònoma de Barcelona

---

## RESUMEN

En esta comunicación se presenta una metodología de análisis del medio natural y del paisaje realizada con motivo de la fase piloto del Plan Comarcal de Protección del Medio Natural y del Paisaje del Bages. Se han usado las teorías de la ecología del paisaje y la potencia de cálculo y análisis de los Sistemas de Información Geográfica para calcular una serie exhaustiva de indicadores para todo el municipio piloto, que han permitido el análisis y valoración del mismo a partir de criterios ecológicos definidos. Los resultados obtenidos han servido para hacer una aproximación a la metodología definitiva, que deberá completarse cuando se disponga del contexto comarcal y de la continuidad territorial necesaria para este tipo de análisis.

---

## INTRODUCCIÓN

En esta comunicación se presentan los trabajos realizados por el Laboratori d'Informació Geogràfica i de Teledetecció (LIGIT), del Departament de Geografia de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), en el marco de la fase piloto del Plan Comarcal de Protección del Medio Natural y del Paisaje del Bages. Este Plan, impulsado por el Consell Comarcal del Bages, cuenta con el consenso de todos los municipios de la comarca y con el soporte del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya, y pretende llegar a ser una herramienta eficaz para que los gestores y planificadores del territorio tengan en cuenta el medio natural de la comarca para llevar a cabo un desarrollo dentro de los cauces de la sostenibilidad.

La fase piloto, centrada en el municipio de Sallent, pretendía definir y experimentar la metodología de análisis, así como automatizar todos los procesos de cálculo para su replicación posterior. La utilización de los Sistemas de Información Geográfica (en adelante, SIG) resulta fundamental para la realización de este proyecto y, aunque se han usado en otros estudios para el cálculo de diversos índices de ecología del paisaje (COLVILLE, 1995), en ninguno se hace una aproximación tan exhaustiva a la valoración del medio natural y del paisaje de un territorio.

Un aspecto innovador de la metodología de análisis del paisaje empleada es la utilización, para el cálculo de algunos de los índices, de unas unidades morfológicas del terreno, derivadas de una clasificación estadística multivariante de altura, orientación y pendiente, que nos ofrecen unas unidades de medida menos artificiales que las clásicas cuadrículas.

A continuación se detallan los objetivos del Plan y, más concretamente, de la valoración natural que se lleva a cabo en el mismo, para explicar posteriormente la metodología empleada para dicha valoración y las conclusiones que pueden extraerse de los primeros resultados esta etapa de la fase piloto.

## **OBJETIVOS**

El Plan Comarcal de Protección del Medio Natural y del Paisaje del Bages tiene como objetivos principales los siguientes:

- Caracterizar y valorar el conjunto del territorio en cuanto a su naturalidad y calidad ecológica y/o paisajística.
- Identificar y caracterizar aquellos usos y actividades que más interactúan con el medio natural.
- Representar la planificación urbanística municipal y comarcal para valorar su continuidad y coherencia territorial. Esto incluye la evaluación de la coherencia entre el planeamiento y la dinámica de los sistemas naturales.
- Evaluar las amenazas que pueden suponer para el medio natural las actividades y los otros usos que se dan en la comarca.
- Evaluar el nivel de protección o desamparo que proporciona el planeamiento para la conservación de los espacios naturales.
- Delimitar los espacios naturales de interés, susceptibles de una mayor protección.

Esta comunicación se centra en la valoración natural del territorio, el primero de estos objetivos, aunque la fase piloto ha ido más allá, definiendo también la metodología de evaluación de la interacción entre el medio natural y los usos y actividades, por un lado, y el medio natural y el planeamiento, por el otro. Este gran objetivo de la valoración natural puede desglosarse en los dos subobjetivos siguientes:

- Definir y calcular una serie de indicadores a distintos niveles que permitan describir el conjunto del territorio en cuanto a su calidad natural y paisajística.

- Definir y aplicar unos criterios de valoración natural que conduzcan a la jerarquización del territorio en cuanto a su naturalidad.

Sin más preámbulos, entramos ya en la descripción detallada de la metodología de SIG utilizada para la valoración natural de Sallent, municipio piloto del Plan.

## **METODOLOGÍA**

### **Aspectos previos**

La primera etapa de la valoración natural consistió en definir qué indicadores se iban a utilizar para la caracterización ambiental del territorio y para acabar definiendo unos criterios que llevarán a la valoración final. Como información de base se partía de una cartografía de hábitats muy detallada (1:10000), generada expresamente para el Plan, dada la inexistencia de datos de estas características en la zona de estudio. Así, las primeras propuestas de indicadores fueron ajustándose a la información disponible o generable, descartándose, por ejemplo, los indicadores basados en especies, a causa de la falta de datos suficientemente detallados y de las limitaciones temporales y presupuestarias para generarlos.

Otro aspecto inicial que hizo falta definir fue la unidad de medida de cada indicador. Muchos de ellos se medían para el conjunto del municipio, para cada hábitat distinto o para cada polígono de hábitat distinto. Pero había algunos indicadores, como por ejemplo la diversidad de hábitats, que requerían de una unidad de medida lógicamente superior al polígono de hábitat e inferior al conjunto del municipio. En estos casos, se ha usado generalmente una cuadrícula regular más o menos grande, que cuenta con dos inconvenientes importantes: la artificialidad de este tipo de unidad, que difiere de cualquier elemento del paisaje, y el problema del tamaño de celda a elegir, que puede variar sustancialmente los resultados. Así pues, en nuestro caso se optó por generar unas unidades a partir del relieve, que definieran distintas tipologías de éste y, a la vez, fragmentaran el territorio de una forma más natural. En el siguiente punto se explica el proceso de creación de estas unidades, antes de entrar de lleno a explicar cada indicador y su forma de calcularlo.

### **Creación de las unidades morfológicas del relieve**

El proceso parte de las curvas de nivel de toda la comarca, con una equidistancia de 20 metros, con las que se genera a partir de un SIG y mediante interpolación, el Modelo

Digital de Elevaciones (MDE) de la comarca, con la resolución deseada (en este caso, 30x30 m.). Un MDE no es más que una malla digital de celdas cuadradas, de 30 metros de lado en este caso, con el valor medio de la altura en cada una de ellas. A partir del MDE se pueden generar automáticamente dos mallas digitales más, una de pendientes, en la que cada celda contiene el valor del pendiente del terreno en grados o en porcentaje, y otra de orientaciones, en la que las celdas nos informan de la orientación del terreno en grados, de forma que los 0° y los 360° corresponden al norte, los 90° al este, los 180° al sur y los 270° al oeste.

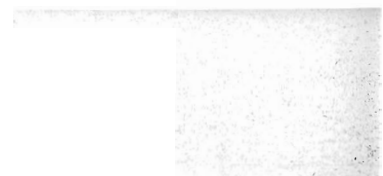
El siguiente paso en el proceso de creación de las unidades es la normalización de los valores de las tres capas de información, para que los distintos rangos que presentan no influyan en la clasificación estadística posterior. El proceso de normalización consiste en restar a cada valor la media de todos los valores y dividir por la desviación estándar. Así, los valores de las tres capas digitales de información son ya comparables entre sí, y se puede proceder con la clasificación estadística.

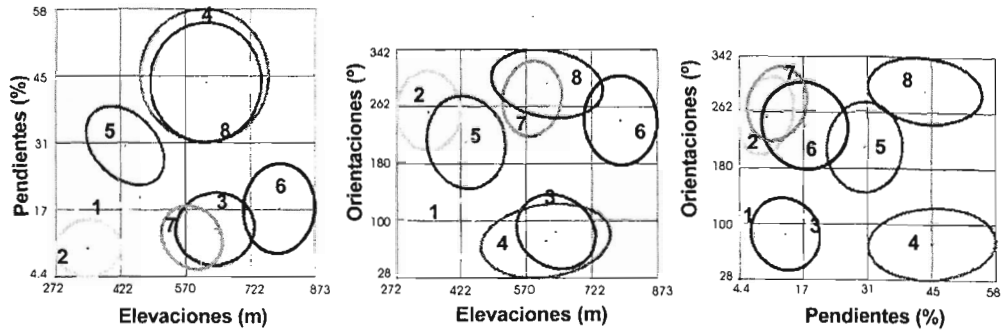
En este caso, y después de diversas pruebas, se llevó a cabo una clasificación multivariante no supervisada en ocho clases a partir de altura, pendiente y orientación, que acabó definiendo, tras un proceso de depuración, las unidades morfológicas del relieve definitivas.

El perfil de las ocho clases obtenidas es el siguiente:

- 1- Zonas bajas y llanas orientadas al este.
- 2- Zonas bajas y llanas orientadas al oeste.
- 3- Zonas medias con pendientes bajos y orientadas al este/noreste
- 4- Zonas medias con pendientes moderados y orientadas al noreste/este
- 5- Zonas bajas o medias con pendiente suave y orientadas al sur/sudoeste
- 6- Zonas altas con pendientes bajos y orientadas al oeste/sudoeste
- 7- Zonas medias y planas orientadas al oeste/noroeste
- 8- Zonas medias con pendientes moderados y orientadas al noroeste/oeste

Los tres gráficos que se muestran a continuación representan la posición de cada clase (elipse) en el espacio bidimensional de cada una de las tres posibles combinaciones de altura, pendiente y orientación:





### Indicadores calculados

#### Por unidad morfológica

- Área: la superficie total de la unidad. Se obtiene directamente del SIG.
- Perímetro: el perímetro total de la unidad. Idem.
- No. de polígonos: el nombre de polígonos de hábitats que caen dentro de cada unidad. Se obtiene a partir del cruce de la capa de unidades y la de hábitats.
- Riqueza de hábitats: representa el nombre de hábitats distintos presentes y se ha calculado a partir del cruce de las unidades con los hábitats, contando cuantos hábitats distintos hay en cada unidad.
- Diversidad de hábitats: mide lo diverso que es un paisaje, obteniéndose valores más altos cuantos más hábitats distintos haya y cuando éstos se presenten en la misma proporción sobre el territorio. Se ha medido con el índice de Shannon:

$$H = - \sum_{i=1}^s P_i (\ln P_i) \quad [\text{O'NEILL et al. (1988) y TURNER (1989)}]$$

donde  $P_i = n_i/N$ ,  $n_i$ =superficie del hábitat  $i$  ;  $N$ =superficie total unidad

Se ha calculado también a partir del cruce unidades-hábitats y, a diferencia del indicador anterior, al tratarse de proporciones de superficie de hábitat respecto la superficie total de la unidad, el diferente tamaño de las unidades no afecta directamente al resultado final.

- Dominancia normalizada de hábitats: indica cuanto un hábitat o una serie de hábitats dominan el paisaje. Una dominancia de 0 significa que todos los hábitats son equiprobables, mientras que una dominancia de 1 representa que hay un único hábitat que ocupa el 100% de la superficie. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$D = (H_{\max} - H) / H_{\max} \quad [\text{O'NEILL et al. (1988) y TURNER (1989)}]$$

donde  $H_{\max}$  es la diversidad máxima= $\ln n_{\text{clas}}$  ( $n_{\text{clas}}$ =número de clases -hábitats- distintos)

- Fragmentación de hábitats: este indicador mide la razón entre el número de hábitats presentes y el número de manchas o polígonos que los representan, de forma que la unidad menos fragmentada es aquella que, para cada hábitat distinto, haya un solo polígono (índice de fragmentación = 1). Se calcula, también, a partir del cruce unidades-hábitats.
- Forma de las unidades: es la relación entre el perímetro y el área. Da una idea de su forma, ya que un valor elevado corresponde a una unidad alargada o con más o menos lóbulos (donde el efecto borde será mayor) y, por contra, un valor bajo corresponde a una unidad más redondeada. La medida de este indicador, pero, tiene más interés cuando se calcula por polígono de hábitat.
- Compacidad de las unidades: esta medida deriva de la anterior, pero presenta la ventaja que no se ve afectada por el distinto tamaño de las unidades. Se calcula mediante la siguiente fórmula, que deriva de la comparación del área del polígono a medir con el área de una circunferencia de igual perímetro:

$$K = [2\sqrt{(\pi A)}] / p \quad [\text{BOSCH (1978), DAVIS (1986)}]$$

donde A=área i p=perímetro

Los valores altos responden a unidades más compactas, es decir más cercanas a la circunferencia, y viceversa. Igual que la forma, la compacidad es más interesante medida por polígono de hábitat.

- Cantidad de ecotonos: se ha calculado la longitud de bordes de contacto entre hábitats distintos por unidad de superficie de cada unidad morfológica (metros ecotono /hectárea de unidad). Al ponderar por el área, esta medida tampoco se ve afectada por el distinto tamaño de las unidades. Su cálculo se efectúa sobre la unión de unidades y hábitats, contando para cada unidad la longitud de arcos (líneas) entre hábitats que existen. Paralelamente se elaboran unas tablas que

caracterizan los tipos de contacto (entre qué hábitats se dan y que longitud tiene cada tipo distinto).

#### *Por hábitat*

- Área: la superficie total que ocupa cada hábitat.
- Perímetro: el perímetro total de cada hábitat.
- Proporción respecto del total: porcentaje de la superficie de cada hábitat respecto todo el municipio.
- Nombre de polígonos que forman cada hábitat.
- Polígono de área mínima: es la superficie del menor polígono de cada hábitat.
- Polígono de área máxima: es la superficie del mayor polígono de cada hábitat.
- Área media de los polígonos: para cada hábitat, la media de la superficie de todos los polígonos que lo forman.
- Desviación estándar del área.
- Estado medio de conservación: este indicador se recoge durante el trabajo de campo para la delimitación cartográfica de los hábitats. Se trata de un parámetro para cada polígono de hábitat aceptado a nivel europeo, a pesar de que se reconoce que es limitado por sí mismo y que contiene una fuerte carga subjetiva. Puede tomar los valores 1 (estado de conservación bajo), 2 (estado de conservación medio) y 3 (estado de conservación alto), y se ha calculado, en este caso, la media aritmética de todos los polígonos para cada hábitat distinto.
- Porcentaje de cada estado de conservación: son las proporciones que ocupa cada estado de conservación sobre el área de cada hábitat. Sirve para dar una idea más realista del estado de un hábitat que la media aritmética, y permite, además, realizar una representación gráfica de los hábitats sobre tres ejes que representen el porcentaje de cada estado de conservación.

#### *Por polígono de hábitat*

- Área.
- Perímetro.
- Forma: se calcula tal como se ha explicado para las unidades, siendo más interesante en este caso con el fin de evaluar el efecto borde de cada polígono de hábitat.

- **Compacidad:** igual que para las unidades, elimina el problema del distinto tamaño de los polígonos.
- **Distancia al vecino más cercano (COLVILLE, 1995):** es un tipo de medida de conectividad, que consiste en calcular, para cada polígono de hábitat, cual es la mínima distancia a la que se encuentra otro polígono de la misma clase. Este procedimiento lo lleva a cabo el SIG calculando, para todos los vértices de cada polígono, la distancia al resto de los vértices y eligiendo, posteriormente, la mínima distancia obtenida, excluyendo, obviamente, los otros vértices del mismo polígono.

*Por municipio (medidas globales)*

- **Área total.**
- **Nombre de polígonos:** los polígonos de hábitat en los que se divide el municipio.
- **Riqueza de hábitats:** exactamente lo mismo que para las unidades, pero para el conjunto municipal.
- **Diversidad de hábitats:** ídem.
- **Dominancia de hábitats:** ídem.
- **Fragmentación de hábitats:** ídem.
- **Longitud de ecotono por hectárea:** ídem.

*Otros indicadores*

- **Hábitats de interés comunitario:** es una selección de los hábitats del área de estudio que están catalogados en la directiva europea Habitat (Directiva 92/43/UE, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres).
- **Hábitats raros a nivel local:** son aquellos hábitats que ocupan menos de un 5% de la superficie municipal. Cuando se disponga de la información a nivel de comarca se incluirá también el mismo indicador a esta escala.
- **Clasificación de las unidades según su composición de hábitats:** consiste en una clasificación en conglomerados jerárquicos que acabaron definiendo 10 clases de unidades estadísticamente significativas, según su composición de hábitats. Esto permite dar una idea de las tipologías de paisaje que contiene el municipio, y en el futuro, la comarca, reduciendo de forma importante la cantidad de información aportada por los hábitats y ayudando a la interpretación del paisaje.



- Entorno de los cursos fluviales (100 m.): en este caso, se ha usado la función de "buffer" de los SIG para crear unos polígonos de las zonas que se encuentran en un entorno 100 metros alrededor de los cursos fluviales, que corresponde a la zona de protección de la legislación de aguas vigente (Ley 29/1985, de 2 de agosto, de aguas).
- Entorno del espacio agrario (200 m.): incluye las zonas a menos de 200 m. de cualquier cultivo. Se ha calculado también con la función de "buffer" y da una idea del área de influencia de los cultivos.
- Entorno del espacio forestal (200 m.): igual que el anterior, pero de cualquier bosque o matorral.
- Entorno del espacio urbano (200 m.): igual, pero para las zonas urbanas o similares (urbanización, industria...).
- Entorno de los hábitats raros a nivel local (200 m.): igual, pero a partir de los hábitats raros.

### **Criterios de valoración**

Para la selección de criterios a utilizar para la valoración global del medio natural y del paisaje, se han usado varios conceptos de la ecología del paisaje, que conducen a la idea de red ecológica, que cada vez toma más importancia, dada la progresiva fragmentación del paisaje y el aislamiento de las áreas naturales. Una red ecológica no es más que una matriz interconectada de espacios naturales, donde hay una serie de polígonos de tamaño variable que albergan buena parte de los hábitats a conservar, y unos corredores o espacios o espacios que conectan estos polígonos, con una función primordial de pasillo. Para más referencias pueden consultarse FORMAN & GODRON, 1986; BIELSA, 1996; FORMAN, 1997; PINO i RODÀ, 1997.

Así, se eligieron los siguientes criterios, sobre la base de un interés intrínseco de conservación, de un mantenimiento del fondo o matriz del paisaje y, finalmente, de la conectividad en el paisaje:

- **INTERÉS INTRÍNSECO DE CONSERVACIÓN**

**Interés comunitario** (por hábitat).

**Rareza** (por hábitat / contexto municipal). Umbral: porcentaje de superficie respecto el total municipal < 5%.

- **ESTRUCTURA DEL FONDO DEL PAISAJE**

**Superficie** (por polígono de hábitat). Umbral: área > 150 ha.

**Estado de conservación** (por polígono de hábitat). Umbral: los mejor conservados (Estado de conservación medio o alto).

- **CONECTIVIDAD DEL PAISAJE**

**Continuidad del fondo del paisaje**

**Conectividad según la red hidrográfica** (entorno de los cursos fluviales – 100 m.)

**Entorno de los hábitats de interés intrínseco** (200 m.)

Esta primera aproximación se contrasta posteriormente con lo que hemos denominado configuración del paisaje, que viene definida por los distintos dominios o grandes espacios del paisaje (forestal, agrario, urbano, fluvial, de comunicaciones...) y sus entornos de 200 metros, que permiten evaluar las interacciones que existen de todos estos dominios con los hábitats naturales y especialmente, con aquellos seleccionados por su interés intrínseco. Finalmente, y para la jerarquización final de los espacios de interés, pueden entrar en juego los distintos indicadores de caracterización ecológica del paisaje (diversidad, dominancia, fragmentación...) que dan el último refinamiento a la valoración.

## **CONCLUSIONES**

Uno de los primeros aspectos a destacar de estos trabajos que aquí se presentan es la elevada utilidad que han demostrado los Sistemas de Información Geográfica para poner en práctica las teorías de la ecología del paisaje y llevar a cabo cálculos y análisis que, de otra forma, serían imposibles de realizar. Otra cosa que se hace evidente es el hecho de que, una vez los SIG nos ofrecen los resultados, debe llevarse a cabo una interpretación minuciosa de los mismos, examinando con detalle cada uno de los mapas, con un mínimo conocimiento del terreno, y no debe caerse en el error de aceptar a ciegas lo que nos ofrece la máquina.

Esta fase piloto ha servido, en primer lugar, como etapa exploratoria de la información disponible, por un lado, de la calidad y utilidad de la cartografía de hábitats producida, y de la metodología de análisis y los instrumentos desarrollados para implementarla. De todos modos, se ha hecho evidente también que los resultados no pueden considerarse definitivos hasta que no puedan repetirse los análisis con una cierta continuidad



territorial (los municipios vecinos), ya que los ecosistemas no entienden de fronteras municipales, y cuando se disponga del contexto comarcal, para añadir o recalcular indicadores (por ejemplo, rareza en el ámbito comarcal, espacios de conexión entre áreas naturales protegidas...). A pesar de esto, debe destacarse el valor de la aproximación realizada, en cuanto a la calidad y detalle del fondo de información constituido, a la identificación de los casos y situaciones relevantes para una posterior formulación de propuestas en una etapa futura del Plan, y al desarrollo de los instrumentos necesarios para generar y ensayar propuestas, así como la automatización de la mayoría de procesos de cálculo para facilitar posteriores replicaciones de la metodología.

En definitiva, los trabajos aquí presentados abordan la valoración natural de un territorio de forma integral y exhaustiva, aprovechando las capacidades analíticas y de cálculo de los SIG sin olvidar, al mismo tiempo, los patrones de valoración establecidos por la ecología, y en concreto la ecología del paisaje. Así, se han obtenido unos resultados suficientemente interesantes por sí solos, pero que permiten, además, detectar los aspectos a mejorar para acabar definiendo una verdadera metodología de análisis del medio natural y del paisaje a nivel regional.

## REFERENCIAS

BIELSA, I. Designing ecological networks at regional scale with GIS. A case study in the Ebro basin (NE Spain). Proyecto fin del máster "Geographical Information Systems for rural applications". Wageningen Agricultural University, 1996.

COLVILLE, D. Ecological landscape analysis using GIS. En "Landscape ecology in land use planning. Methods and practice". Domon, G. & Falardeau, J. (eds.) Canadian Society for Landscape Ecology and Management. Polyscience Publications Inc. Morin Heights, Canada, 1995.

FORMAN, R.T. & GODRON, M. Landscape ecology. John Wiley & sons, New York, 1986.

FORMAN, R.T. Land mosaics. The ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press, Cambridge, 1997.

PINO, J. i RODÀ, F. Fonaments teòrics de l'ecologia del paisatge per a la definició de xarxes ecològiques. CREA, 1997.