



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA  
DE MINAS Y ENERGÍA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



*Trabajo Fin de Máster*

**Análisis del criterio medioambiental en la  
metodología para la determinación del índice  
de explotabilidad mediante sistemas de  
información geográfica**

**(Analysis of the environmental criteria in the  
methodology for the determination of the  
exploitability index through geographic  
information systems)**

Para acceder al Título de  
**MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INGENIERÍA DE MINAS**

**Autor: Benito Ramiro Salas Menocal**  
Director/es: Julio Manuel de Luis Ruíz  
Gema Fernández Maroto  
Junio -2020



## Índice

<b>1. ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2. OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>6</b>
1.2.1. Objetivo general.....	6
1.2.2. Objetivos específicos .....	6
1.2.3. Alcance .....	7
<b>2. ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1. RECURSOS MINEROS Y SU PROSPECCIÓN MINERA .....</b>	<b>7</b>
2.1.1. Método de exploración integral.....	7
2.1.2. Método de los polos extractivos .....	8
<b>2.2. FACTORES DE EXPLOTABILIDAD .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3. ÍNDICE DE EXPLOTABILIDAD.....</b>	<b>14</b>
2.3.1. Díaz de Terán y González Lastra .....	14
2.3.2. Muñoz de la Nava.....	16
2.3.3. Fernández Maroto .....	18
2.3.3.1. <i>Morfología del Terreno .....</i>	<i>21</i>
2.3.3.2. <i>Accesos por Carretera y Ferrocarril.....</i>	<i>22</i>
2.3.3.3. <i>Meteorización Superficial y Suelo.....</i>	<i>22</i>
2.3.3.4. <i>Reservas .....</i>	<i>23</i>
2.3.3.5. <i>Impacto ambiental .....</i>	<i>25</i>
2.3.3.6. <i>Cálculo del Índice de Explotabilidad. ....</i>	<i>26</i>
<b>2.4. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....</b>	<b>27</b>
2.4.1. Introducción .....	27
2.4.2. Los comienzos del análisis espacial.....	28
2.4.3. Definición .....	31
2.4.4. Funciones de los SIG .....	31
2.4.5. Bases de datos de los SIG .....	32
2.4.5.1. <i>Datos Geográficos.....</i>	<i>33</i>
2.4.5.2. <i>Datos Temáticos.....</i>	<i>34</i>
2.4.6. Tipos de SIG.....	36



2.4.6.1. SIG Vectorial .....	36
2.4.6.2. SIG Ráster.....	37
<b>2.4.7. Aplicaciones de los SIG .....</b>	<b>41</b>
2.4.7.1. Aplicaciones de los SIG Vectoriales .....	42
2.4.7.2. Aplicaciones de los SIG Ráster .....	42
<b>2.4.8. Principales softwares en SIG.....</b>	<b>43</b>
2.4.8.1. ArcGIS.....	43
2.4.8.2. Grass.....	44
2.4.8.3. Qgis .....	44
2.4.8.4. Geomedia .....	45
2.4.8.5. Mapinfo.....	46
2.4.8.6. gvSIG.....	47
2.4.8.7. Sextante .....	47
<b>3. EL NUEVO MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>48</b>
3.1. INTRODUCCIÓN .....	48
3.2. FACTORES AMBIENTALES.....	48
3.3. DEFINICIÓN DE COMPONENTES .....	52
3.3.1. Aire.....	52
3.3.2. Tierra-suelo .....	52
3.3.3. Agua.....	53
3.3.4. Vegetación.....	53
3.3.5. Fauna .....	53
3.3.6. Paisaje .....	54
3.3.7. Uso del suelo.....	54
3.3.8. Población.....	55
3.3.9. Infraestructura viaria .....	55
3.3.10. Planeamiento urbanístico .....	55
3.4. PROPUESTA METODOLOGICA .....	56
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>59</b>
4.1. INTRODUCCIÓN .....	59
4.2. ÁMBITO DE REFERENCIA, AFLORAMIENTOS Y DATOS GEOGRÁFICOS .....	59
4.3. MATRIZ DE PARES COMPARADOS Y PONDERACIÓN DE FACTORES .....	61



<b>4.4. DETERMINACION DE LOS MAPAS DE IMPACTO .....</b>	<b>65</b>
4.4.1. Mapa de impacto Aire.....	67
4.4.2. Mapa de impacto tierra-suelo. ....	70
4.4.3. Mapa de impacto Agua.....	74
4.4.4. Mapa de impacto Vegetación.....	76
4.4.5. Mapa de impacto Fauna. ....	79
4.4.6. Mapa de impacto Ecosistemas especiales.....	85
4.4.7. Mapa de impacto Paisaje. ....	90
4.4.8. Mapa de impacto usos del suelo.....	93
4.4.9. Mapa de impacto patrimonio cultural. ....	96
4.4.10. Mapa de impacto población.....	100
4.4.11. Mapa de impacto infraestructuras.....	103
4.4.12. Mapa de impacto planeamiento urbanístico.....	107
<b>4.5. MAPA DEL ÍNDICE DE IMPACTO AMBIENTAL.....</b>	<b>110</b>
<b>4.6. VALIDACIÓN DEL MODELO .....</b>	<b>113</b>
4.6.1. Resultados parciales del impacto por componentes .....	113
4.6.2. Análisis y validación de resultados .....	115
<b>5. DISCUSIÓN .....</b>	<b>118</b>
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>119</b>
<b>7. REFERENCIAS.....</b>	<b>120</b>



# 1. ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN

## 1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo de la sociedad está ligado a la explotación de los recursos mineros, pero con el objetivo de hacer sostenible la explotación de recursos, cada vez es más usual que antes de llevar a cabo cualquier operación minera se realicen análisis cada vez más detallados sobre la viabilidad de las explotaciones mineras y sus posibles afecciones.

En los últimos tiempos, se ha empezado a utilizar un concepto denominado “Índice de Explotabilidad”, el cual, como su nombre indica, pretende reflejar el potencial de explotabilidad de un recurso minero teniendo en cuenta una serie de factores, que dependiendo de los autores pueden ser de lo más variados, comunicaciones, impacto ambiental, legislación minera, inversión económica, etc.

Los factores que influyen en el Índice de Explotabilidad pueden ser muy variados y de hecho tienen muchos componentes, el análisis de dichos componentes y su influencia, hasta hace poco tiempo, venían desarrollándose de forma manual con herramientas meramente analógicas en las que el investigador desarrollaba un algoritmo a través de diferentes tablas que permitían asignar a cada yacimiento un determinado valor que orientaba y por lo tanto ayudaba a la toma de decisiones. No hace falta decir, que el hecho de que el procedimiento fuera manual, condicionaba el número de factores y componentes que permitían la determinación del Índice de Explotabilidad y su correspondiente aproximación a la realidad.

La irrupción en Minería de herramientas informáticas ha permitido a lo largo del tiempo, establecer análisis multivariantes en los que se hacían cosas muy parecidas a las planteadas en el párrafo anterior, pero es sin duda alguna con la consolidación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) cuando todos los análisis para la determinación del Índice de Explotabilidad se pueden vincular al territorio y esto es lo que hace que estas herramientas permitan llevar a cabo los tan ansiados análisis territoriales.

Todo ello debido a la combinación de información que estas herramientas son capaces de llevar a cabo de una base cartográfica numérica y una base de datos temática, con el añadido de que la base de datos temática puede conllevar el análisis de todos los factores y componentes que se considere oportuno, dado que todo el procedimiento se encuentra informatizado y por tanto con toda la capacidad de cálculo que sea necesaria.

En este sentido, los SIG se han convertido en herramientas informáticas transversales a muchas de las áreas de actividad del ser humano, en las que la combinación de la información disponible permite la toma de decisiones más apropiada, no solamente en minería, sino en muchas de las actividades que el ser humano desarrolla en el territorio. De alguna de estas decisiones depende en muchos casos el éxito o el fracaso de un proyecto o bien la mejora considerable de la productividad de una empresa. Todo lo anterior justifica la relevancia que estas tecnologías están adquiriendo para el mundo científico y empresarial, tanto en organismos públicos como privados.

El corto espacio de vida y la rápida evolución de estas herramientas, han producido que no se encuentren convenientemente desarrolladas la mayor parte de las metodologías que permiten el tipo de análisis planteados anteriormente y constituyen el nexo central de esta investigación, la determinación de una metodología que permita la determinación de un Índice de Explotabilidad en el que se consideren los factores



clásicos y otros nuevos que se puedan plantear, así como sus componentes y que permita la toma de decisiones sobre la explotación de un determinado recurso minero.

## **1.2. OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1. Objetivo general**

Partiendo de la definición del Índice de Explotabilidad, como el indicador que permite determinar la viabilidad en la explotación de un determinado recurso minero, generalmente de escaso valor económico (áridos industriales, rocas ornamentales, etc.) a través de la ponderación de diferentes criterios, como pueden ser las reservas, los accesos, la meteorización etc. y entre los que destaca el criterio medioambiental, se pretende estudiar en más detalle este último, ya que, el criterio medioambiental es el que más peso tiene en el establecimiento del índice de explotabilidad.

Como actualmente no existe una metodología que permita fijar los componentes del medio más apropiados para el estudio del criterio medioambiental, el objetivo general de esta investigación persigue el establecimiento de los componentes del medio más adecuados e influyentes, para el estudio óptimo del criterio medioambiental en la determinación del índice de explotabilidad de un determinado recurso minero. Una vez elegidos los componentes intervinientes en esta investigación, también se pretende establecer el factor de peso de estos a tener en cuenta, mediante un análisis jerárquico de los factores y crear un modelo regional de impacto ambiental para las actividades extractivas en la comunidad de Cantabria.

Una vez establecidos los componentes fundamentales de este criterio medioambiental se pretende contrastar los resultados en un supuesto real como es la determinación de del Índice de Explotabilidad en las Ofitas en Cantabria.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

La primera fase de la investigación, el análisis de las metodologías que se emplean en la actualidad, requiere los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Análisis de los criterios que se utilizan en la actualidad y su incidencia en la determinación del Índice de Explotabilidad.
- ✓ Análisis de los componentes del criterio medioambiental que se utilizan en la actualidad y su incidencia en la determinación del Índice de Explotabilidad.

En la segunda fase de la investigación, nueva propuesta metodológica, requiere de los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Análisis de los posibles nuevos componentes del criterio medioambiental, así como las posibles ponderaciones, con sus ventajas e inconvenientes.
- ✓ Propuesta metodológica para la correcta determinación del Índice de Explotabilidad con componentes del criterio medioambiental más realistas.

La tercera y última fase de la investigación, contraste de la propuesta en un caso real, requiere los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Validación de la metodología propuesta. El objetivo es aplicar dicha metodología a un caso real como es la potencial explotabilidad de los afloramientos ofíticos en Cantabria. Para ello, se propone calcular el índice de explotabilidad tanto a través de métodos tradicionales como la metodología fruto de esta investigación.



Esta validación se propone llevarla a cabo con Sistemas de Información Geográfica (SIG).

- ✓ Análisis de los resultados obtenidos y si se considera oportuno, proponer mejoras del sistema sobre los componentes propuestos.
- ✓ Discusión sobre las debilidades del modelo y sus posibles mejoras.

### **1.2.3. Alcance**

Se persigue que el alcance de esta investigación permita mejorar la determinación del Índice de Explotabilidad, que a su vez sirva como una herramienta para que las empresas tanto públicas, privadas y/o administraciones, puedan obtener información estratégica, antes de iniciar o autorizar un proyecto de prospección minera que determine una posible explotación de un determinado recurso minero, con todos los costes económicos que conlleva una operación minera de este tipo.

## **2. ESTADO DEL ARTE**

### **2.1. RECURSOS MINEROS Y SU PROSPECCIÓN MINERA**

La explotación racional de los recursos mineros es, hoy en día, uno de los objetivos más importantes que se plantea el hombre, ya que ello permite, por un lado, el aprovechamiento del recurso con todas las connotaciones que tiene para el bienestar de la sociedad, y por otro, el respeto y preservación del medioambiente y la sostenibilidad de éstos. Cada vez es más habitual considerar los recursos mineros como otro elemento a proteger en los planes de ordenación del territorio (cotos mineros), todo ello con el objeto de evitar restricciones innecesarias, en áreas con alto potencial en recursos minerales, que pudieran inhabilitar zonas con recursos de alta calidad.

El conocimiento de la distribución territorial de los recursos potencialmente explotables es la clave para conseguir la integración de la minería en la ordenación del territorio, y la mejor forma de salvaguarda de los minerales y rocas industriales, frente a actividades y usos del suelo que comprometan su aprovechamiento en el futuro. Tradicionalmente los recursos minerales se han definido mediante proyectos de prospección e investigación minera, que generalmente aglutinan los métodos de prospección de yacimientos que se pueden reducir a dos grandes tipos de métodos, el método de la exploración integral y el método de los polos extractivos.

#### **2.1.1. Método de exploración integral**

El método de la exploración integral es un procedimiento deductivo, que contempla todas las áreas de terreno considerado cuyo objetivo es la clasificación y selección de todas las potencialmente explotables, definiendo prioridades de producción y los factores a los que se ve sometido el yacimiento. De esta forma, ante variaciones de demanda y exigencias medioambientales, puede dar una respuesta rápida y objetiva sobre la explotación. [15]

Un resumen de sus fases puede ser el siguiente:

- ✓ Realización del mapa de áreas potencialmente explotables.
- ✓ Realización de los mapas de compatibilidad.
- ✓ Clasificación de los yacimientos.
- ✓ Búsqueda de la cubicación que satisfaga la demanda.



- ✓ Análisis y solución de las posibles situaciones de conflicto.
- ✓ Clasificación de la explotabilidad de las áreas.
- ✓ Definición de las disposiciones legales y normas.

La técnica es la elaboración de mapas temáticos simples, cada vez más específicos para su superposición posterior. Los mapas temáticos compuestos son el resultado de superponer el mapa de las áreas explotables con el de compatibilidad. El mapa de compatibilidades es el resultado de la superposición de los temáticos con los distintos factores a tener en cuenta y de la clasificación de las zonas del terreno con distintos niveles de compatibilidad posible entre las posibles canteras y los factores limitantes.

Los principales criterios para la clasificación son:

- ✓ *Jerárquicos*: las relaciones se ordenan en un gráfico y cada zona se le asigna el nivel de compatibilidad del vínculo de mayor grado.
- ✓ *Cuantitativo simple*: cada zona se caracteriza por el número de relaciones presentes y al mayor número le corresponde el máximo nivel de incompatibilidad.
- ✓ *Cuantitativo ponderado*: a cada relación se le asigna un factor de peso y cada zona asume la puntuación de la suma de las relaciones presentes y la de mayor puntuación obtiene un mayor nivel de incompatibilidad.

Independientemente del criterio elegido, es aconsejable adoptar pocas clases para la elaboración del mapa de compatibilidad, dejando la obtención de objetivos específicos a la normativa existente.

El criterio jerárquico, está limitado a pocas clases, da una buena y comprensible clasificación y se puede coordinar con la normativa presente.

El resultado de la superposición del mapa de compatibilidades con el de áreas explotables se el mapa de explotabilidad, donde se define la división en áreas del terreno y estableciendo los perímetros de dichas áreas clasificándolas en:

- Áreas extractivas
- Áreas condicionadas o de prioridad secundaria
- Áreas no explotables

Este método de exploración integral aborda la temática teniendo en cuenta las necesidades territoriales. Todas las posibles canteras se someten a los mismos criterios y desde el mismo enfoque normativo. Necesita de muchos datos y su elaboración puede ser costosa económicamente hablando, aunque se justifica en la planificación de canteras para todos los recursos mineros. Ya empezamos a observar la importancia del SIG en todas estas labores y su enorme potencialidad en minería.

### **2.1.2. Método de los polos extractivos**

El método de los polos extractivos es un método inductivo, totalmente inverso conceptualmente al método integral. Su análisis tiene el origen en las canteras en explotación existentes, buscando en su entorno las condiciones favorables para su expansión y desarrollo.

La primera fase consiste en la individualización en la zona de referencia de los polos extractivos, donde hay concentración de canteras, las cuales suelen estar en el mismo yacimiento. Un estudio profundo sobre las empresas del sector permite conocer su estructura y sus necesidades comunes de infraestructuras, servicios, escombreras, etc.



y así definir su política de desarrollo. Al centrarse en yacimientos conocidos, su caracterización se realiza por un examen directo y abierto.

Las cubriciones de reservas para la producción se encuentran aledañas a los puntos de extracción activos y solo se analizan los posibles conflictos con la normativa vigente de tarde en tarde. Esta posibilidad de concentrar los esfuerzos en zonas restringidas reduce costes y profundiza de modo independiente en cada factor temático.

Esta búsqueda de soluciones específicas lleva hacia un tratamiento discordante de los distintos polos extractivos con condiciones desequilibradas y en concreto con postura ambiental frente a la normativa vigente. Como el análisis está limitado a la zona del entorno productivo, no permite una planificación con todas las reservas del terreno, no nos da una imagen de los posibles yacimientos no estudiados o sobre los no viables en la actualidad.

## 2.2. FACTORES DE EXPLOTABILIDAD

Es muy habitual que cuando en un territorio existe un recurso minero, habitualmente suelen existir diferentes afloramientos en un ámbito regional, lo que requiere una toma de decisiones en el sentido de decidir cuál de ellos se pone en explotación. El Índice de Explotabilidad es una herramienta que ayuda en la toma de esa decisión, con el objeto de que la decisión sea lo más adecuada en función de diferentes criterios, que como parece obvio, serán los que posteriormente permitan parametrizar y determinar el Índice de Explotabilidad. Como posteriormente se analizará, los criterios se pueden aglutinar en dos grandes grupos, los que permanecen invariables en cortos periodos de tiempo como pueden ser las características físico-químicas del recurso, estado de fracturación, etc., y los que pueden variar en periodos de tiempo cortos, como son los de carácter económico, social y medioambiental. El equilibrio entre todos estos criterios es el que hace posible la puesta en marcha de la explotación minera de un determinado recurso.

La extracción de recursos minerales, en especial la de los minerales industriales, entra en conflicto con otros usos del suelo. Para evitar estas incompatibilidades es necesaria una planificación territorial, que minimice los impactos acumulativos y tenga en cuenta todos los criterios que intervienen en el proceso. Es en la planificación territorial, donde hasta este momento, se acumulan los esfuerzos de estudio e investigación conjugándose con las potentes herramientas informáticas surgidas en las últimas décadas, los Sistemas de Información Geográfica.

Los primeros trabajos que analizaron el potencial de los recursos geológicos considerando además factores ambientales, se desarrollaron en Alemania en la década de 1970 por el servicio Geológico de Hannover (Barettino, 2002), consistentes en mapas geoambientales o geocientíficos de fácil comprensión para los planificadores del territorio. Estos conjuntos de mapas llevan información geológica, geotemática y la de otros factores como la de usos del suelo, vegetación, paisaje, etc. Las publicaciones, estudios e investigaciones que se vienen realizando hasta ahora, basadas en las aplicaciones de los sistemas de información geográfica, para la creación de modelos de predicción, seguimiento y control en el ámbito minero están principalmente encaminadas al impacto ambiental y conservación del medio.

Por ejemplo, desde 1993, el Instituto Geológico y Minero de España, viene desarrollando lo que denomina “ordenación minero-ambiental de los recursos minerales”, con el fin de sentar las bases para la optimización de la explotación de los recursos mineros y la minimización del impacto ambiental. Con esto ha diseñado un nuevo mapa de ordenación minero-ambiental soportada en SIG, siguiendo una metodología de



impacto/aptitud (Gómez Orea, 1994) ante la actividad minera, el cual establece la base sobre los estudios que nos encontramos de investigación, donde aparecen ya los conceptos de exclusión e inclusión y análisis zonal.

El sistema metodológico tiene dos fases o etapas fundamentales denominadas diagnóstico territorial y zonificación del territorio. Para dar cobertura a este sistema hay que disponer de información y cartografías temáticas de los distintos factores que constituyen el medio, los cuales integran el inventario ambiental, también se necesita una caracterización geológica y tecnológica de los diferentes tipos de recursos potencialmente explotables, junto con su delimitación geográfica en un mapa de recursos. De igual forma se necesita disponer de la caracterización técnica y ambiental de la explotación minera de los recursos con el fin de identificar la problemática que ésta induce desde ambos puntos de vista. Es entonces necesario tener una cartografía e información de calidad y detalle. En el inventario ambiental se recogen los datos disponibles sobre el medio geológico, el clima, la hidrología, los suelos, la vegetación, la fauna, los usos del suelo, el paisaje, el medio socioeconómico, etc. La información relativa, a todos aquellos factores del medio susceptibles de ser cartografiados, se plasman en los correspondientes mapas, que se gestionan con SIG (Martínez Plédel, B. 2006).

Se debe destacar que los primeros mapas geocientíficos a escala 1:50.000 que se desarrollan en España a partir de 1975, fueron realizados por el Grupo de Investigación de Geodinámica Externa de la Universidad de Cantabria, perteneciente al Departamento de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada, liderado por los Doctores Antonio Cendrero Uceda y José Ramón Díaz de Terán profesores de esta Escuela. Estos mapas, proporcionaban representaciones geográficas, de las cualidades significativas de los factores ambientales importantes de cara a la planificación territorial. La metodología consiste en una aproximación analítica, elaborando mapas temáticos geológicos, de depósitos superficiales, de usos del suelo, vegetación, población, geomorfológicos, geomecánicos, de pendientes, altitudes, etc. Todos los valores obtenidos se integran en cada sector del territorio dividido en cuadrículas, realizando un análisis territorial mediante un modelo de impacto-aptitud, aplicando coeficientes de ponderación. La delimitación de los recursos mineros se realizó mediante un trabajo de interpretación de la información geológica y el reconocimiento de la actividad extractiva existente (Hernández-Durán, G. et al. 2014).

El esquema metodológico seguido por el IGME, para la elaboración de estos mapas de Ordenación Minero-Ambiental se puede apreciar en la figura número 1.

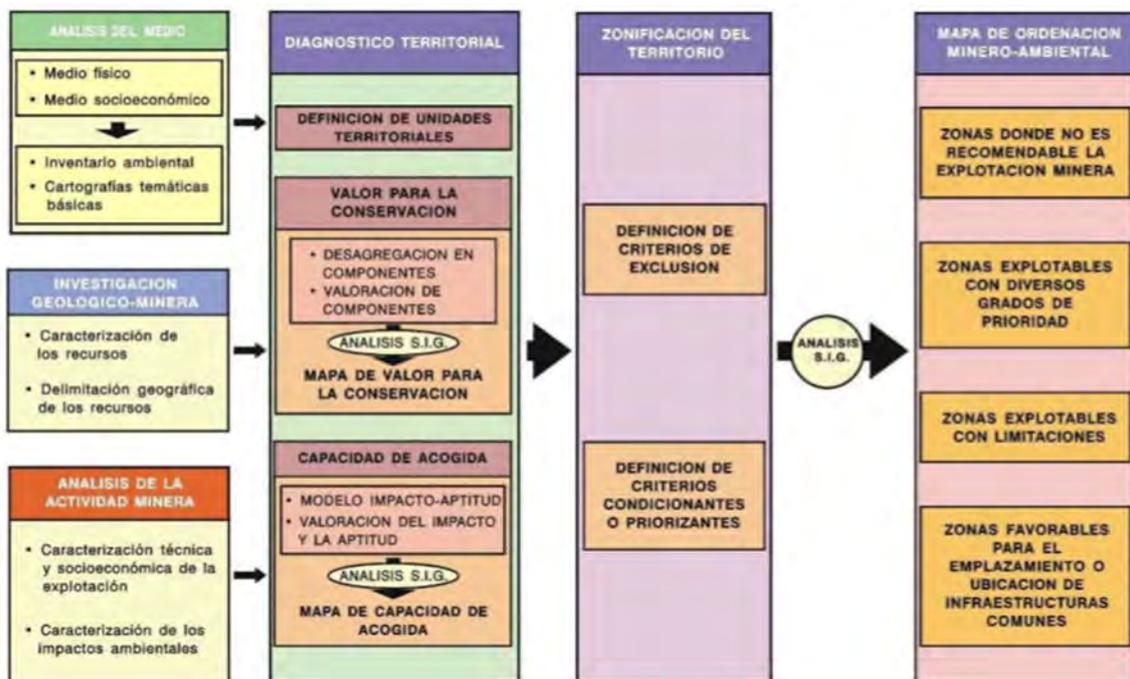


Figura Número 1. Esquema metodológico para la ejecución de mapas de ordenación Minero-Ambiental. (IGME, 1995)

Estos Mapas de Ordenación Minero-Ambiental son el soporte cartográfico fundamental para la integración de los recursos minerales y la actividad minera en la planificación territorial. Este mapa representa una zonificación del territorio soporte de los recursos mineros, en función de la viabilidad de la explotación y de acuerdo con criterios mineros y ambientales. Los estudios realizados siguiendo esta metodología publicados por el IGME se recogen en la tabla número 1:

Estudio	Recurso	Resultados
La Cabrera (León) 1993-1995	Pizarra para techar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapa de Ordenación Minero-Ambiental (84.450 ha; escala 1:25.000)</li> <li>• Modelos de Explotación</li> <li>• Modelos de Restauración</li> </ul>
Alhaurín de la Torre (Málaga) 1998-2000	Áridos de machaqueo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapa de Ordenación Minero-Ambiental (3.200 ha; escala 1:10.000)</li> <li>• Modelos de Explotación</li> <li>• Modelos de Restauración</li> <li>• Plan Director (1.368 ha; escala 1:5.000)</li> </ul>
Camargo (Cantabria) 1999-2002	Áridos de machaqueo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapa de Ordenación Minero-Ambiental (3.946 ha; escala 1:10.000)</li> <li>• Modelos de Explotación</li> <li>• Modelos de Restauración</li> <li>• Plan Director (1.120 ha; escala 1:5.000)</li> </ul>
Región de Murcia 2002-2005	Mármol comercial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapas de Ordenación Minero-Ambiental (199.600 ha; escala 1:50.000)</li> <li>• Modelos de Explotación</li> <li>• Modelos de Restauración</li> </ul>

Tabla Número 1. Alcance de los estudios realizados por el IGME de ordenación Minero-Ambiental. (Julio César Arranz-González, 2015)



En los últimos años los sistemas de información geográfica se han convertido en una herramienta habitual para la evaluación de impactos y gestión de recursos naturales. Así se pueden encontrar estudios para posibles usos del suelo en zonas de minería abandonada y posterior a su restauración, en resumen, a todo lo que a la ordenación y planificación territorial compete. También se tiende a la ejecución de cartografía evolutiva de densidad de explotación minera en diferentes países, distribución de contaminantes en accidentes mineros, creación de mapas de riesgo en la contaminación de acuíferos en la minería del carbón, mapeo de áreas de posible subsidencia en zonas de explotaciones subterráneas, creación de modelos 3D de estructuras geológicas, creación y seguimiento de catastro minero, etc.

En cuanto a la explotación de recursos, actualmente se vienen utilizando aplicaciones SIG para la explotación de aguas subterráneas, así como estudios para la ubicación de graveras y extracción de arena, estudios de distribución de minerales metálicos utilizando herramientas estadísticas, etc. Por lo parecido al objeto de este trabajo se debe destacar el trabajo:

*“Exploitability of constructions materials in the calcareous dorsal of de Haouz Mountain rango in the region of Tangier-Tetouan, Morocco”  
(Hatim Deller, Younes El Karim et al., 2017) [13]*

Este es un caso de similares características al planteado en este trabajo, utilizando herramientas SIG, se busca las posibles áreas para la ubicación de canteras de caliza, en una zona rica en estas formaciones de Marruecos. El análisis multicriterio, se hace en base a una serie de factores geométricos, legislativos y sociales con diferentes ponderaciones, pero enfocándolo sólo al impacto medioambiental, creando un modelo en base a cuatro rangos de explotabilidad, que van de menor a mayor grado de impacto ambiental, usando dos algoritmos diferentes con las herramientas de SIG y comparando resultados.

La metodología empleada consiste en un análisis previo y recopilación de la información geológica y geomorfológica, del contexto ecológico y del contexto social de la zona de estudio. Posteriormente se definen los criterios que condicionan y restringen la localización de áreas explotables. A continuación, se realizan los siguientes mapas:

- 1- Mapa con las formaciones litológicas explotables.
- 2- Mapa de delimitaciones según la densidad de población (construcciones/Km<sup>2</sup>).
- 3- Mapa de delimitaciones según la clase de cobertura vegetal.
- 4- Mapa de delimitaciones según la distancia a infraestructuras.
- 5- Mapa de delimitaciones según la distancia a acuíferos y ríos.

Una vez efectuados estos se les asigna un peso según unos rangos determinados y finalmente se obtiene el mapa de superposición final según el algoritmo elegido, en este caso usa la suma y la multiplicación para finalmente comprobar los resultados obtenidos y ver el grado de coincidencia. En la figura número 2, se puede apreciar el esquema metodológico empleado.

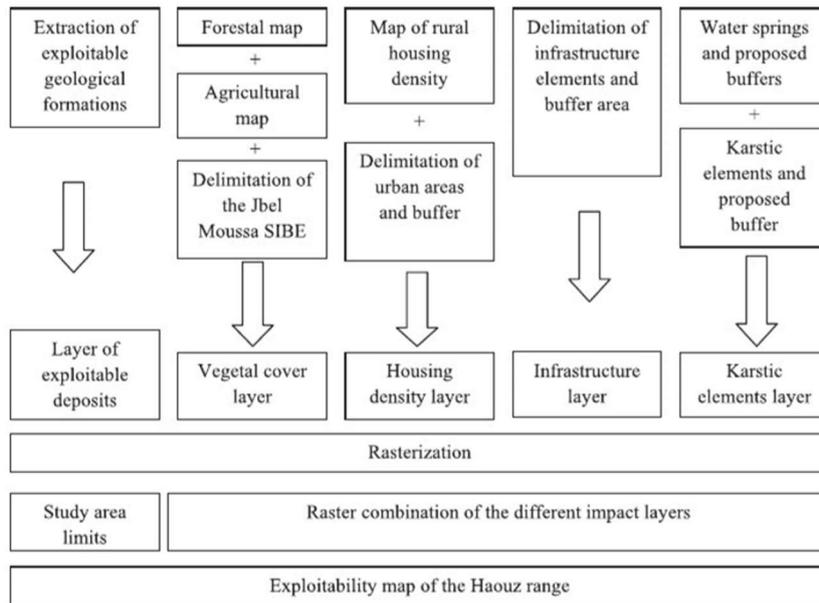


Figura Número 2. Organigrama del estudio. (Dellero.H, El Kharim.Y, 2017)

En la figura número 3, se aprecia el resultado obtenido con cada uno de los dos algoritmos utilizados:

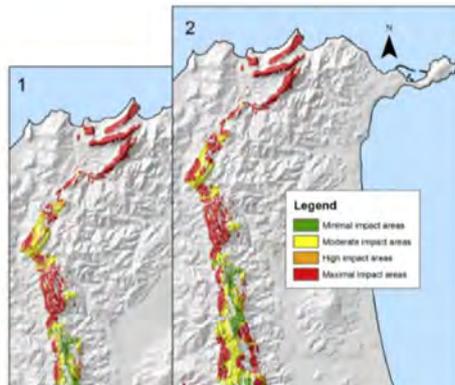


Figura Número 3. Comparación entre los dos modelos de explotabilidad de calizas en Marruecos. (Dellero.H, El Kharim.Y, 2017)

Después de una pormenorizada revisión bibliográfica, se puede asegurar que el análisis multicriterio utilizado en esta investigación ya ha sido empleado y contrastado para el caso de las ofitas en Cantabria. Esto permite tener un análisis de partida con el que contrastar las variaciones que se obtienen al modificar los componentes del criterio medioambiental, que es sin duda alguna el que más peso tiene, tal y como se ha demostrado en los párrafos anteriores.

La elaboración de un análisis multicriterio de estas características requiere, como su nombre indica, la combinación de diferentes criterios con diferentes componentes, en las que se tienen componentes con diferentes connotaciones técnicas, sociales y políticas. Precisamente es en este campo donde se mueve la presente investigación, el análisis del comportamiento de los diferentes componentes que influyen en el criterio



medioambiental, que es el que tiene más peso de todos los que se utilizan en este tipo de análisis multicriterio.

La elaboración de una investigación de este tipo a escala regional debe ser dinámica, flexible, revisable y adaptarse a las distintas situaciones que se puedan plantear, pero siendo rigurosa en sus principios conceptuales.

### **2.3. ÍNDICE DE EXPLOTABILIDAD**

El concepto de explotabilidad, se define como la posibilidad de beneficiar un recurso minero existente, teniendo en cuenta una serie de criterios objetivos inherentes al afloramiento y otros subjetivos de carácter socioeconómicos. [16]

Existen diferentes modelos, pero análogos entre sí. No existe un método universal y único para este tipo de estudios, ya que influyen muchos aspectos particulares de cada zona de investigación y de cada recurso (no es lo mismo una gravera que una explotación de pizarras, etc.). Lo que hay es una tendencia a emplear conceptos como aptitud o potencial geológico-minero, para mejorar la simple delimitación de las zonas que contienen recursos, y que estos factores o conceptos son imprescindibles para la valoración de la idoneidad del territorio y su planificación minero-ambiental (Hernández-Durán. G, *et al.* 2014).

La determinación de la posibilidad de explotación, de un área específica que contiene un recurso minero, se realiza aplicando un índice de explotabilidad, el cual se obtiene a razón de los parámetros que influyen en la viabilidad de la explotación del propio yacimiento. Por medio de este índice se jerarquizan las zonas de estudio o la zona de estudio en 4 o 5 grados “muy buenos”, “buenos”, “aceptables”, “malos”, “imposibles” o en los grados que se estimen oportunos. En la actualidad, existen varios autores que establecen metodologías para el establecimiento de dicho índice.

#### **2.3.1. Díaz de Terán y González Lastra**

Para la jerarquización de un yacimiento, se puede utilizar la metodología que José Ramón Díaz de Terán y José Ramón González Lastra, presentaron en la primera reunión de geología ambiental y ordenación del territorio celebrada en Santander en el año 1980, cuyo esquema metodológico es el siguiente:

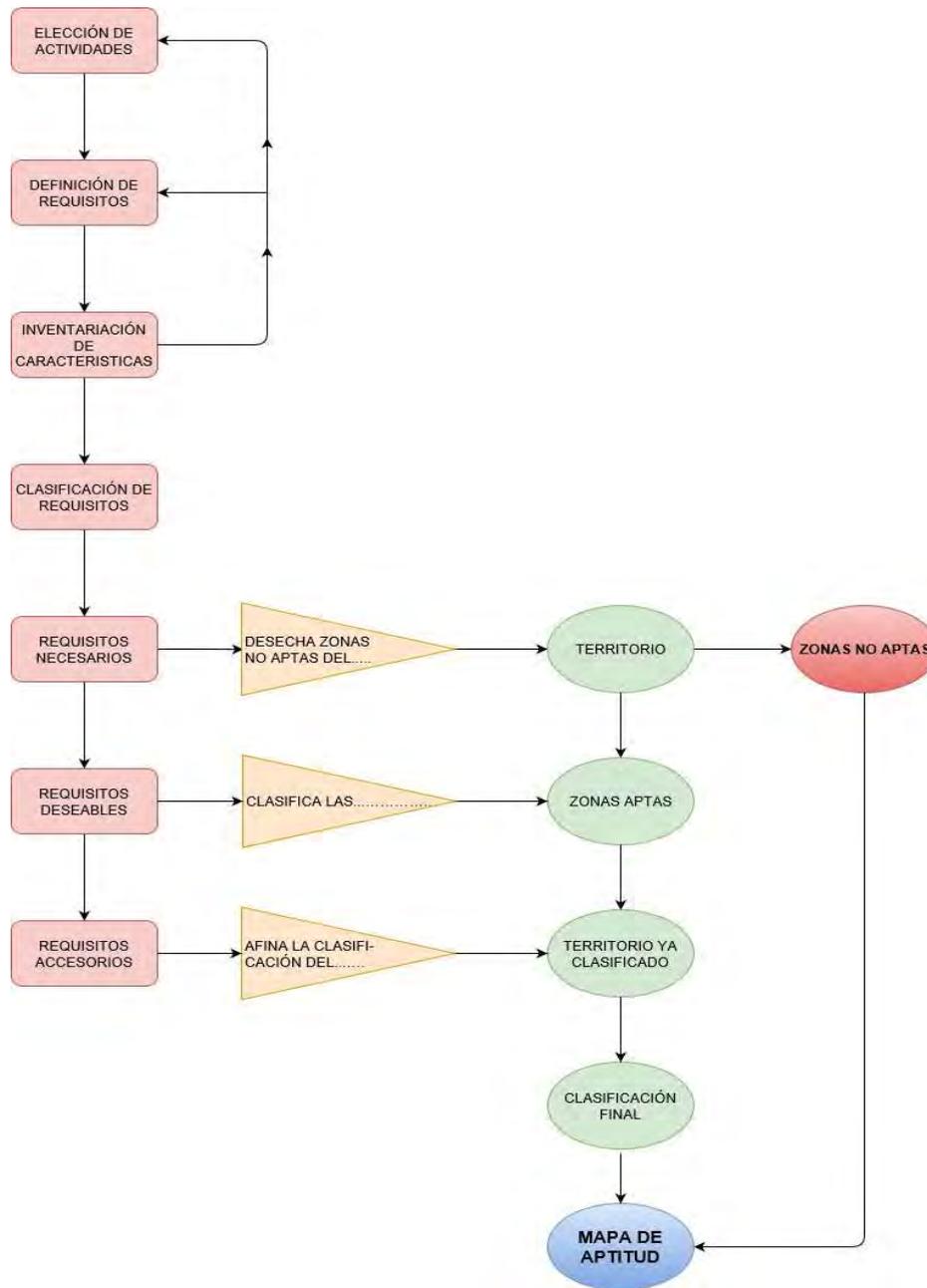


Figura Número 4. Esquema metodológico. (Terán y Lastra, 1980)

Una vez realizada una planificación previa del territorio donde se encuentra el yacimiento a estudiar y conocidas sus relaciones con las zonas circundantes y su impacto en el medio, se procede a seguir el esquema de la siguiente forma:

1. Se realiza la *elección de actividades*, esta consiste en seleccionar los usos a los que se van a destinar las rocas de la zona de estudio.
2. Se procede a la *definición de requisitos*, consistente en reconocer las características físicas y socio-ambientales del yacimiento:
  - Características Geológicas (tipos de roca, uniformidad, grado de alteración, fracturación y diaclasado, espesor de recubrimiento, cavidades, taludes, etc.)



- Características Económicas Internas (reservas, tipo de explotación).
- Características Económicas Externas (accesibilidad, demanda, proximidad a centros de consumo, tipo de mercado).
- Características Socio-Ambientales (impacto sobre el medio, usos futuros posibles de la zona, usos actuales de la zona, cercanía a núcleos urbanos).

La mayor parte de estas características son cartografiables. Una vez establecidas las características, se define el requisito para estas características, que es el valor que determina la explotabilidad de la zona.

3. En este punto se realiza el *Inventario de Características*, cartografiando las mismas una vez establecidos los requisitos.
4. Por último, para *La Clasificación de Requisitos y su Valoración*, se agrupan estos en las siguientes cuatro clases:
  - Requisitos necesarios (los que son imprescindibles y se desechan las zonas que no los tengan)
  - Requisitos deseables (todos los que son importantes, pero no imprescindibles, se ponderan de mayor a menor adecuación las zonas, en función del uso)
  - Requisitos accesorios (se incluyen los que restringen a los anteriores, afinando la clasificación anterior)
  - Requisitos finales (son los variables en el tiempo y definen el valor de oportunidad de la explotación)

Para la valoración de los requisitos y el cálculo del índice de explotabilidad, se sigue la metodología de Muñoz de la Nava para rocas ornamentales, el cual se puede modificar y adaptar, para los distintos casos particulares. En este punto se procede a la valoración de las áreas establecidas para seleccionar las más favorables. [8]

### **2.3.2. Muñoz de la Nava**

La jerarquización de un yacimiento, consiste en establecer unos parámetros numéricos que cuantifiquen de forma racional y científica el rango de explotabilidad de estos. Lo que se pretende es seleccionar áreas de interés, este proceso se puede situar en la fase dos de la metodología de investigación de las rocas ornamentales realizada por Muñoz de la Nava. P, en 1989. [18]

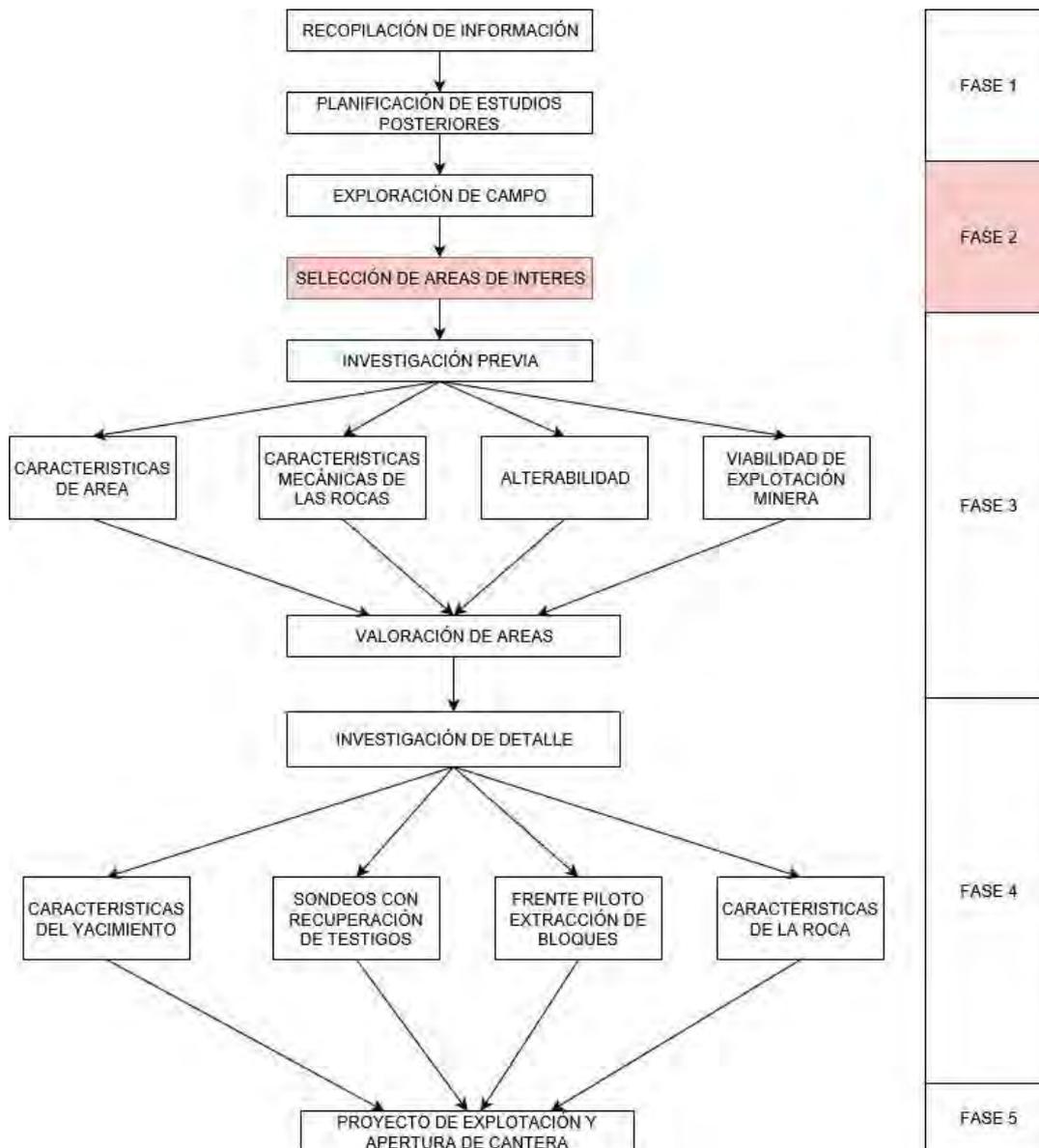


Figura Número 5. Esquema general del plan de trabajo para la investigación de rocas ornamentales. (López Jimeno. C, 1989)

En términos generales, esto supone la transformación de las propiedades estudiadas en índices numéricos contruidos a partir de la cuantificación de los requisitos que definen las características de los yacimientos.

Cada parámetro se valora según una escala  $V_i$  de 0 a 9 (siendo 9 el de peor calidad y 0 el de mejor calidad) y de acuerdo al grado de importancia que tiene en cada área, se le asigna un peso de ponderación por medio del factor  $K_i$  que depende de la importancia que se le dicho parámetro, en la valoración de áreas y que es igual para todas ellas.

El índice de explotabilidad se estima mediante la siguiente expresión:



$$I_e = \frac{\sum K_i * V_i}{V_{m\acute{a}x} * \sum n_i} * 100$$

Siendo:

$I_e$  = índice de explotabilidad.

$V_i$  = valoración del parámetro estudiado o coeficiente de jerarquización.

$K_i$  = coeficiente corrector.

$$V_{m\acute{a}x} = 9 * \frac{\sum K_i}{\sum n_i}$$

$n_i$  = parámetros considerados.

Tras la asignación de valores  $V_i$  a los parámetros y la aplicación, de los coeficientes correctores  $K_i$  se obtiene el índice de valoración cualitativa final según el yacimiento a estudiar. También es recurrente la elección de matrices de doble entrada con los coeficientes correctores y los valores de importancia relativa como los que se pueden apreciar en la tabla número 2:

CARACTERÍSTICAS DEL AFLORAMIENTO (morfología, recubrimientos, vegetación, etc.)														
LITOLOGÍA														
CRITERIOS DE VALORACIÓN (Vi)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Coef.Ki	Valor Ki*Vi	Observaciones
CRITERIOS SELECCIÓN PREVIA	Topografía											3		
	Accesos											6		
	alteración a escala del yacimiento											7		
	Fracturación, diaclasado posibilidad extracción y tamaños de bloques											8		
CRITERIOS DE CANTERABILIDAD PREVIA	Oxidaciones											10		
	discontinuidades (gabros, diques, enclaves, bandeados, filones, etc.)											9		
	Tamaño del yacimiento											2		
	Impacto ambiental											4		
	Existencia de canteras o minas											5		
	infraestructura industrial											1		
<b>VALORACIÓN ÁREA Ki*Vi</b>														

Tabla Número 2. Ficha para la valoración de áreas canterables (López Jimeno, C. 1980)

### 2.3.3. Fernández Maroto

La propuesta metodológica hecha por la profesora Dña. Gema Fernández Maroto en su tesis doctoral titulada “Comportamiento como árido para pavimento de ofitas de Cantabria” [10], requiere en primer lugar llevar a cabo una integración de la posible explotación en el entorno territorial, priorizando aquellas con menor impacto ambiental. Para ello, se ha tomado como referencia el método de Terán y Lastra (Díaz de Terán and González Lastra, 1980), en el que se catalogan los distintos afloramientos de acuerdo con sus posibilidades de explotación y sus interacciones socioeconómicas. En la tabla número 3, se esquematizan todos los criterios utilizados en la jerarquización de afloramientos.



<b>CRITERIOS PARA LA JERARQUIZACIÓN DE AFLORAMIENTOS</b>		
<b>DEFINICIÓN DE REQUISITOS</b>	<input type="checkbox"/> <b>Características geológicas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tipo de roca</li><li>• Uniformidad lateral y vertical</li><li>• Grado de alteración de la roca</li><li>• Fracturación y Diaclasado</li><li>• Espesor del recubrimiento</li><li>• Cavidades</li><li>• Taludes naturales</li><li>• Otras características</li></ul>
<b>INVENTARIO DE CARACTERÍSTICAS</b>	<input type="checkbox"/> <b>Características Económicas Internas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Reservas</li><li>• Tipo de explotación susceptible de aplicar al yacimiento</li></ul>
	<input type="checkbox"/> <b>Características Económicas Externas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Accesibilidad del yacimiento</li><li>• Demanda</li><li>• Proximidad a centros comerciales de consumo</li><li>• Tipo de mercado al que se destina el producto</li></ul>
	<input type="checkbox"/> <b>Características Socio-Ambientales</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Impacto de la explotación sobre el medio</li><li>• Usos futuros de posible implantación en la zona</li><li>• Usos actuales en la zona</li><li>• Proximidad a núcleos urbano</li></ul>
<b>CLASIFICACIÓN DE REQUISITOS</b>	<input type="checkbox"/> <b>Requisitos</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Requisitos necesarios</li><li>• Requisitos deseables</li><li>• Requisitos accesorios</li><li>• Requisitos finales</li></ul>

Tabla Número 3. Metodología para la evaluación y jerarquización de afloramientos de materiales rocosos para su explotación (Díaz de Terán and González de Lastra, 1980).

En lo relativo a las posibilidades de explotación, en primer lugar, se caracteriza geológicamente el yacimiento para lo que se hace necesario definir las propiedades geológicas del propio yacimiento como el tipo de roca, la uniformidad del yacimiento, el grado de alteración de la roca, la fracturación y diaclasado, el espesor del recubrimiento, las posibles cavidades, los taludes naturales, etc.

En lo relativo a las interacciones socioeconómicas y una vez fijadas las premisas anteriores, el siguiente proceso a contemplar es el análisis del inventario en que se incluirían las características económicas internas, externas y socioambientales.

- En las características económicas internas, hay que destacar el cálculo de reservas y el tipo de explotación. La primera está suficientemente desarrollada en la literatura actual y la segunda depende del tipo de explotación, de exterior o interior. Esta investigación se centra exclusivamente en explotaciones mineras de exterior o a cielo abierto.



- En las características económicas externas, la Accesibilidad del yacimiento incide notablemente en el valor del producto, así como la Proximidad a centros comerciales de consumo, siendo un factor condicionante la distancia entre el afloramiento y el punto de abastecimiento. También se debe reseñar como parámetros a tener en cuenta el medio de transporte existente y el tipo de mercado al que se destina el producto obtenido, fundamentalmente con la tasa de demanda como factor decisivo.
- En los condicionamientos Socio-Ambientales, destacan cuestiones como la densidad de población, la proximidad a núcleos urbanos, los usos del suelo actuales y previstos en la ordenación del territorio, las actividades económicas en el entorno, etc.

En lo relativo a la clasificación de requisitos, en cada actividad extractiva se agrupan los requisitos y se ordenan en cuatro clases. Aquellos que son imprescindibles para el establecimiento del uso considerado, denominados Requisitos necesarios (volumen adecuado de reservas, características físico-mecánicas favorables, mínimo impacto ambiental). Los Requisitos deseables son importantes, pero no imprescindibles para el establecimiento del uso en cuestión (alteración de la roca, proximidad de los accesos por carretera y ferrocarril, etc.). Los Requisitos accesorios, aquellos que complementan y restringen los anteriores (p.ej. la existencia próxima de una estación de ferrocarril). Por último, los Requisitos finales que son variables en el tiempo y deciden la oportunidad de la explotación de un recurso (demanda, variaciones del mercado y precio, etc.). Para un caso dado los requisitos citados se expresan numéricamente mediante índices comparables entre los distintos afloramientos. El método de valoración de algunos criterios es sin duda subjetivo, pero sometiendo a todos los afloramientos a la misma subjetividad, adquieren más importancia los parámetros de valor absoluto.

Siguiendo las metodologías propuestas por Oliveira Sousa (Oliveira, 2005) y Muñoz de la Nava (Muñoz, et al, 1989) en cada uno de los afloramientos se deben establecer seis parámetros que los estudios de campo y consideraciones económicas demostraron ser los más importantes para caracterizar su explotabilidad.

De entre las múltiples variables que pueden intervenir, las más relevantes a la hora de poner en explotación un recurso son: la calidad del material (propiedades de la roca); la situación geográfica del afloramiento (proximidad de población y accesos), el tamaño del mismo, la morfología del terreno y el grado de meteorización superficial.

Fruto de esta investigación y la combinación de los métodos descritos anteriormente se ha introducido un nuevo factor, el acceso por ferrocarril, por el interés que tiene en el caso de los áridos industriales, y se ha suprimido el de la macrofracturación, muy importante en la explotación de las rocas ornamentales, pero que carece de mayor interés en las rocas para áridos. Sin embargo, sí se hace mucho hincapié en el impacto ambiental, dada la sensibilidad existente en la sociedad ante la instalación de nuevas explotaciones mineras.

Con lo que finalmente se establecen seis criterios fundamentales para los que cada uno tiene asignado una serie de valores  $V_i$  (coeficiente de jerarquización), de acuerdo con datos espaciales y observaciones sobre el terreno. Para todos ellos se han considerado rangos que van desde el más favorable ( $V_i=0$ ) al más desfavorable ( $V_i=4$ ). Cada uno de ellos se encuentra afectado por un coeficiente ( $K_i$ ) que depende del peso relativo atribuible a cada criterio al estimar los diferentes afloramientos, y que es específico de cada uno de ellos (Tabla Número 4). El valor de  $K_i$  tiene en cuenta las características especiales de las rocas y las condiciones socioeconómicas del entorno.



CRITERIO	$V_i$ $K_i$	0	1	2	3	4
Morfología del terreno	1	Muy Favorable	Favorable	Aceptable	Desfavorable	Muy Desfavorable
Accesos carretera	2	Muy Buenos	Buenos	Aceptables	Malos	Muy Malos
Accesos ferrocarril	3	Muy Buenos	Buenos	Aceptables	Malos	Muy Malos
Meteorización	2	Muy Baja	Baja	Aceptable	Elevada	Muy Elevada
Reservas	3	Muy elevadas	Elevadas	Razonables	Bajas	Muy Bajas
Impacto ambiental	5	Muy Bajo	Bajo	Aceptable	Elevado	Muy Elevado

Tabla Número 4. Importancia relativa de los coeficientes  $K_i$  (coeficiente corrector) y  $V_i$  (coeficiente de jerarquización).

La determinación del valor de  $K_i$  se ha realizado bajo una visión de conjunto, teniendo en cuenta los procesos de extracción, tratamiento y comercialización, lo que pretende incorporar estos criterios para su correcta ponderación.

El tratamiento de los criterios propuestos es el siguiente:

### 2.3.3.1. Morfología del Terreno

A diferencia de lo que ocurre con las rocas ornamentales, la superficie del terreno en las canteras de áridos puede presentar mayor inclinación, pues la instalación de la cantera resulta más favorable (Blachowski, et al, 2014). La topografía varía desde  $V_i=0$  para una explotación situada en el flanco de un montículo, con una pendiente adecuada (30-40°) a  $V_i=4$ , en un área plana. En este último caso, las dificultades de acometer una explotación en embudo, se incrementan al no disponer de pendientes aprovechables. En la tabla número 5 se cuantifican los coeficientes de jerarquización en función de la pendiente del terreno.

PENDIENTE DEL TERRENO (°)		$V_i$
0 – 5	85 - 90	4
5 – 15	75 – 85	3
15 – 25	65 - 75	2
25 -35	55 - 65	1
35 – 55		0

Tabla Número 5. Valores de  $V_i$  para la Morfología del terreno.



### 2.3.3.2. Accesos por Carretera y Ferrocarril

La existencia de redes viarias y su calidad son aspectos muy importantes que deben ser tenidos en cuenta antes de la apertura de una explotación minera (Blachowski, 2015), ya que representan una inversión asociada a la fase productiva y que es preciso amortizar a lo largo de la vida de la explotación, al contrario de lo que ocurre con el incremento del gasto producido por la morfología del terreno, el cual se diluye entre los gastos de explotación. [6]

Se han considerado dos tipos de accesos para el transporte de este tipo de material: carretera y ferrocarril, en ambos la proximidad de los mismos facilita la exportación del propio material, aunque se debe reseñar que, en el caso del ferrocarril, lo que realmente condiciona no es la vía sino la estación de carga.

La jerarquización de los accesos por carretera se considera de buena calidad ( $V_i=0$ ) cuando el afloramiento está situado próximo a una carretera pavimentada o con acceso fácil, y de mala calidad ( $V_i=4$ ) cuando la zona carece de carretera pavimentación o su emplazamiento está muy lejos. Los valores  $V_i=1, 2$  y  $3$  se asignan a accesos de pista con condiciones aceptables según las estaciones del año. En la tabla número 6 se indican los valores de  $V_i$  para las distintas distancias del afloramiento a la estación de ferrocarril más próxima.

TIPO Y CALIDAD DE LOS ACCESOS POR CARRETERA	$V_i$	TIPO Y CALIDAD DE LOS ACCESOS POR FERROCARRIL	$V_i$
Zona con carretera a menos de 200 m	0	Zona con ferrocarril a menos de 1000 m	0
Zona con carretera entre 200 y 500 m	1	Zona con ferrocarril entre 1000 y 5000 m	1
Zona con carretera entre 500 y 1000 m	2	Zona con ferrocarril entre 5000 y 10000 m	2
Zona con carretera a más de 10000 m	3	Zona con ferrocarril a más de 10000 m	3
Zona con acceso difícil	4	Zona con acceso difícil	4

Tabla Número 6. Valores de  $V_i$  para los accesos por carretera y por ferrocarril.

### 2.3.3.3. Meteorización Superficial y Suelo

Este proceso en las rocas industriales puede dar lugar a un recubrimiento producto de la meteorización de la roca, de espesor variable según las zonas y la morfología del terreno. El índice de meteorización aproximado, se basa por tanto en estimaciones de campo (Volkov, et al, 2015), asignándose un  $V_i=0$  cuando la roca fresca tiene una cobertera de alteración de pocos centímetros de potencia y tomando el valor  $V_i=4$  cuando la superficie está intensamente meteorizada y el suelo alcanza potencias superiores a 5 metros.

Dada la dificultad de cuantificación macroscópica de la profundidad de la alteración es necesario extrapolar estos espesores con zonas adyacentes lo que complica, este



análisis y estimación real de este parámetro. En la tabla número 7 se cuantifica el coeficiente de jerarquización para la meteorización superficial.

ZONA DE METEORIZACIÓN Y SUELO	$V_i$
Zona sin alteración y sin suelo	0
Zona algo alterada a lo largo de las fracturas, con suelo < 1 m	1
Zona con algo de alteración (1-3 m) presentando localmente algo de suelo	2
Zona muy alterada (3-5 m) con suelo	3
Zona intensamente alterada ( $\geq 5$ m) con suelo continuo y espeso	4

Tabla Número 7. Valores de  $V_i$  para la Meteorización superficial.

Se debe reseñar que este criterio, a diferencia de los anteriores, no tiene un carácter espacial con lo que la información es difícil de implementar en un SIG. Para su determinación se deben visitar los afloramientos en campo y asignar los valores de  $V_i$  con los criterios establecidos.

#### 2.3.3.4. Reservas

Las reservas son la base esencial para la explotabilidad de cualquier yacimiento, de ellas depende el tonelaje a extraer, la duración de la explotación y el tiempo de recuperación de la inversión efectuada. La evaluación de las reservas de un afloramiento precisa de una cartografía detallada y la ejecución de sondeos que acoten el yacimiento en profundidad para poder ser debidamente tratados en SIG (Wallsten, et al, 2015). Dado que la estimación de las reservas se realiza a partir, generalmente, de observaciones obtenidas en superficie, se consideran datos inferidos o estimativos, por lo que la estimación ha de ser necesariamente cualitativa. Así, los yacimientos se agrupan en pequeños, grandes o muy grandes y para este parámetro, se han establecido 5 valores de  $V_i$ . Siendo  $V_i=0$  cuando las reservas son muy elevadas, y  $V_i=4$  para las reservas muy bajas.

Dada la dificultad de estimar las reservas disponibles durante la fase de “estudios previos” se cuantifica el tamaño de las reservas necesarias para que la Tasa Interna de Retorno (TIR) sea aceptable, en la figura número 6 se puede apreciar la relación entre el TIR y las reservas necesarias para hacer sostenible económicamente una explotación de recursos de escaso valor económico.

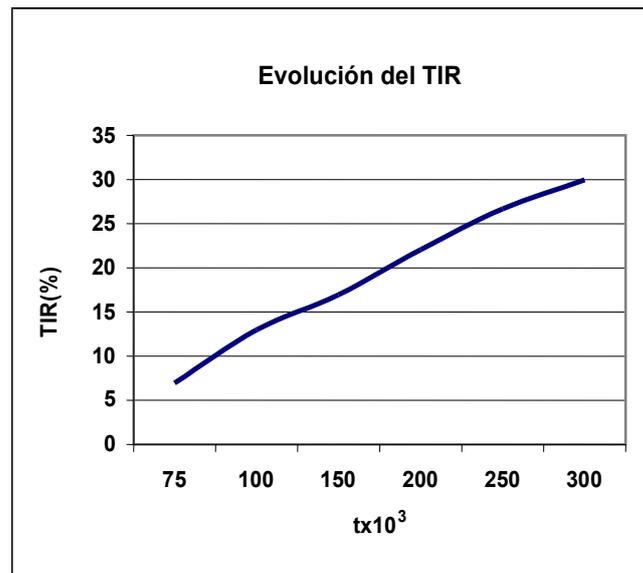


Figura Número 6. Evolución del TIR en las diferentes hipótesis (Fernández Maroto, 2002).

Tal y como se puede apreciar en la figura anterior (Figura Número 6), para alcanzar un TIR aceptable, es preciso extraer un mínimo de 75.000t/año. Si se acepta el período de vida mínimo establecido (15 años), el valor crítico se fijaría en 1.125.000t. A reservas menores, se les dará un valor del índice  $V_i=4$ , siendo  $V_i=0$  cuando el tonelaje es superior a 6.000.000 de toneladas. En la tabla número 8 se pueden apreciar los diferentes valores de  $V_i$  en función de las reservas.

RESERVAS (Toneladas)	$V_i$
<1.125.000	4
1.125.000-2.500.000	3
2.500.000-4.000.000	2
4.000.000-6.000.000	1
>6.000.000	0

Tabla Número 8. Valores de  $V_i$  para las reservas.

Se debe reseñar que este criterio, al igual que el anterior es de difícil implementación en un SIG. Para su determinación se deben visitar los afloramientos en campo, hacer la estimación de reservas tal y como se ha descrito anteriormente y posteriormente asignar los valores de  $V_i$  con los criterios establecidos.



### 2.3.3.5. Impacto ambiental

Uno de los criterios más importantes para evaluar la explotabilidad de una explotación minera a cielo abierto es el impacto ambiental, referido tanto a la distancia entre la explotación y los núcleos urbanos más próximos, que condicionan la contaminación acústica, polvo, etc., como el impacto visual (Gorniak and Pactwa, 2016). Los aspectos paisajísticos relativos a la vegetación, fauna, cursos de agua, etc. tienen, a su vez, una importancia relativa por ser transitorios e incidir sólo en zonas puntuales. Otro factor determinante en la concesión de autorizaciones es la existencia de patrimonio cultural, arqueológico, etc.

En consecuencia, un impacto ambiental es poco importante y toma el valor  $V_i=0$  cuando la zona carece de restricciones legales para implantar una explotación minera y está situada lejos, a más de 500 m de poblaciones o carreteras, si bien puede ocurrir que variando la orientación de la explotación se minimice el impacto visual. Un  $V_i=4$  corresponde a un afloramiento próximo a poblaciones o carreteras, donde el impacto visual puede ser muy alto, o bien tiene en sus proximidades monumentos de interés o fauna y vegetación protegidas a los que puede afectar, por lo que está sometida a restricciones legales para la instalación de la misma. Además de los factores enumerados pueden existir otros, tales como la proximidad de un abastecimiento de agua o de líneas eléctricas, que impedirían también la ubicación de una cantera. En la tabla número 9 se establecen los diferentes valores del coeficiente de jerarquización en función de la afección ambiental de la explotación minera.

RESTRICCIONES AMBIENTALES	$V_i$
Zona alejada de poblaciones o carreteras, sin restricciones legales	0
Zona alejada de poblaciones o carreteras, con restricciones legales	1
Zona próxima a poblaciones o carreteras, sin restricciones legales	2
Zona próxima a poblaciones o carreteras, con restricciones legales	3
Zona próxima a poblaciones o carreteras, con restricciones legales y sin canteras en actividad	4

Tabla Número 9. Valores de  $V_i$  para el impacto ambiental.

Este criterio, aunque tiene una clara componente espacial también contempla otros factores de difícil implementación en un SIG. Para su determinación se deben tener en cuenta todos los factores descritos anteriormente y posteriormente asignar los valores de  $V_i$  con los criterios establecidos.



### 2.3.3.6. Cálculo del Índice de Explotabilidad.

Tanto con los criterios espaciales, cuyos valores se obtienen del SIG, como los establecidos en campo subjetivamente y que constituyen otra aportación de esta investigación, se propone calcular los valores del  $I_e$  siguiendo una metodología que combina la propuesta hecha por Muñoz de la Nava, Oliveira y los autores de esta investigación.

$$I_e = \frac{\sum(K_i \cdot V_i)}{I_{max}} \cdot 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:  $I_e$  = Índice de explotabilidad  
 $K_i$  = Coeficiente de ponderación  
 $V_i$  = Coeficiente de jerarquización  
 $I_{max} = 4 \cdot \sum K_i$

Una vez determinados los valores de  $V_i$  para cada uno de los parámetros y aplicados los coeficientes de ponderación ( $K_i$ ) correspondientes, se calcula el  $I_e$  (Ec. 1), para cada afloramiento, lo cual posibilita finalmente llegar a una evaluación cualitativa.

Esta evaluación permite clasificar los yacimientos analizados según los factores o criterios establecidos a través del valor  $I_e$  de cada yacimiento teniendo en cuenta la clasificación también cualitativa descrita en la tabla número 10.

VALOR DE $I_e$ TOTAL	CLASIFICACIÓN
0 - 20	Muy bueno
20 - 40	Bueno
40 - 60	Aceptable
60 - 80	Malo
80 - 100	Muy malo

Tabla Número 10. Clasificación del índice de explotabilidad.

Los SIG son herramientas perfectamente capaces de tratar, combinar e interpretar datos incluidos en una o varias tablas, lo que les convierte en el software ideal para llevar a cabo análisis multicriterio. Dado que estas herramientas están perfectamente desarrolladas, se propone que toda la información se trate adecuadamente en cualquiera de las plataformas existentes, lo que además permite referenciar en el espacio todos los resultados que se puedan obtener.



## 2.4. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

### 2.4.1. Introducción

Los sistemas de información geográfica permiten hacer un análisis exhaustivo del territorio en los ámbitos más diversos. Son herramientas versátiles, con un amplio campo de aplicación en cualquier actividad que conlleve un componente espacial.

Así, la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica puede ser utilizada para investigaciones científicas, para gestión de los recursos y activos, en arqueología, en evaluación del impacto ambiental, para la planificación urbana, en cartografía, sociología, geografía histórica, marketing o logística, por citar sólo algunos ámbitos de aplicación.

Los SIG se están convirtiendo en herramientas indispensables en la toma de decisiones en las que la información espacial tiene una especial relevancia. De alguna de estas decisiones depende en muchos casos el éxito o el fracaso de un proyecto o bien la mejora considerable de la productividad de una empresa. Teniendo en cuenta esto resulta fácil comprender la relevancia que estas tecnologías están adquiriendo para el mundo científico y empresarial. Las nuevas tecnologías han hecho de los SIG herramientas indispensables. En la actualidad son implementadas tanto en organismos públicos como en entidades privadas.

Su principal hecho diferenciador se fundamenta en la combinación de una base cartográfica numérica y una base de datos temática. La primera contiene los datos de posicionamiento (coordenadas), georreferenciados y la segunda almacena datos alfanuméricos referidos a los atributos de cada una de las entidades cartográficas. La relación entre cartografía y la base de datos es la que permite el desarrollo de las distintas herramientas para la obtención de los parámetros adecuados en todas las posibles líneas de investigación y además potencia el análisis más eficiente en el desarrollo del modelo.

En el objeto de esta investigación, el desarrollo e implementación de un modelo SIG confiere una serie de ventajas frente a los modelos tradicionales, como pueden ser:

- ✓ Actualización y corrección inmediata sin límite.
- ✓ Almacenaje de la información en formato digital.
- ✓ Posibilidad de difusión en plataformas digitales.
- ✓ Posibilita el uso de los datos contenidos para futuras investigaciones.
- ✓ Sirve como modelo y herramienta para la investigación de otros recursos.

La evolución sufrida por los SIG desde sus orígenes hasta día de hoy es exponencial y va de la mano a la aparición de los ordenadores. Comienza en los inicios de la década de los sesenta y surge por la necesidad creciente del momento de información geográfica y su gestión. Es entonces que gracias a los esfuerzos de todas las disciplinas que se nutren de los SIG, como al reclamo de las nuevas tecnologías, han hecho la evolución y el planteamiento actual de los mismos. A pesar de todo, las líneas de desarrollo que identifican el núcleo principal de un SIG se conservan desde los inicios, siendo estos mismos factores los que han continuado impulsando el avance de los SIG. [19] (Olaya, V. 2014)

Aunque SIG es un término tecnológico, que puede hacer pensar que se trata de una tecnología que ha surgido recientemente, no es del todo cierto. Los SIG tienen su origen



en la cartografía tradicional con la que presentan una importante similitud y dos diferencias sustanciales.

La similitud radica en que ambos sistemas, SIG y cartografía tradicional, trabajan con mapas a los que se puede añadir datos adicionales, mientras que la diferencia es una cuestión cuantitativa, estriba en la cantidad de datos que se pueden añadir. En los SIG estos son ilimitados, por contra en la cartografía tradicional está limitada por el propio tamaño físico del mapa. La segunda diferencia es la capacidad que tienen los SIG de generar análisis derivados, capacidad de la que carece un mapa tradicional.

El desarrollo de los SIG ha tenido varias etapas o fases:

- ✓ La primera fase corresponde al periodo comprendido entre la década de 1960 y a mediados de la década de 1970, donde unas pocas personas y organismos realizaron las investigaciones que permitieron el surgimiento de los SIG.
- ✓ La segunda fase, desde mediados de 1970 a principios de 1980, la tecnología SIG comenzó a ser adoptada por agencias y organismos nacionales, esto fue lo que permitió su desarrollo exponencial.
- ✓ La tercera fase, entre 1982 y finales de la década de los 80, consistió en el surgimiento y explotación del mercado comercial que rodea SIG.
- ✓ La última fase, desde finales de los 80 hasta hoy en día, donde se busca implementar mejoras en los SIG que permitan una mayor usabilidad y practicidad por parte del usuario.

Es un hecho contrastado que en las primeras etapas del desarrollo de los SIG durante el Siglo XX las investigaciones no gozaron de la colaboración internacional entre los diferentes organismos en busca de un desarrollo conjunto que permitiese un mayor avance. Este periodo inicial se caracterizó por líneas de investigación separadas. Harvard Laboratory, el Canada Geographic Information System, el Environmental Systems Research Institute y el Experimental Cartography Unit del Reino Unido fueron los principales desarrolladores de los SIG.

La unidad en el desarrollo de los SIG no aparece hasta que se comenzó a comercializar la tecnología para un uso profesional y privado. La empresa ESRI (Environmental Systems Research Institute), fundada en 1969, se convirtió en la referencia de los SIG bajo licencia. Hay que esperar hasta 1985 para que aparezca el primer software SIG libre, GRASS, y hasta el 2002 para la primera versión de QGIS.

#### **2.4.2. Los comienzos del análisis espacial**

Una de las capacidades fundamentales de los SIG es la realización de análisis espacial, los resultados se representan mediante diferentes colores o gradientes de un mismo color. La primera representación cartográfica documentada en la que se usaron gradientes de color para representar datos, fue el mapa realizado en 1832 por el geógrafo francés Charles Picquet que plasmó los datos epidemiológicos del cólera de los 48 distritos de París.

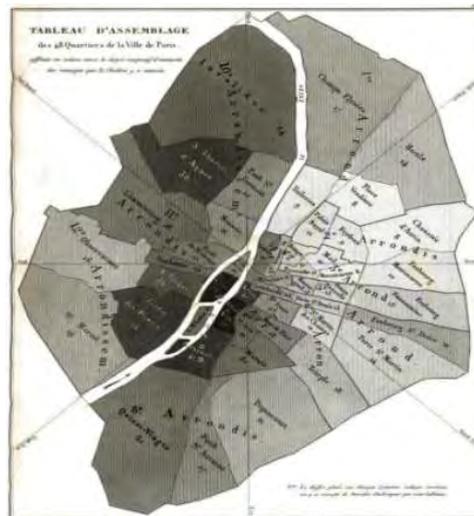


Figura Número 7. Mapa de París con las ratios de cólera cada 1000 habitantes (geospatialworld.net)

Este sirvió, para detectar la fuente de origen, a John Snow, que representó las muertes por cólera en Londres en 1854 mediante el uso de puntos en un mapa. El mapa de John Snow tuvo la importancia, de que no solamente se plasmaban datos, sino que, realizó un análisis de la distribución de los datos del mapa, por este motivo se consideró el primer análisis espacial.



Figura Número 8. Mapa con los casos de cólera y las fuentes de agua de Londres (Wikipedia)

El siguiente paso importante en el desarrollo de los sistemas de información geográfica, consistió en la utilización de la técnica de impresión conocida como fotozincografía que permite separar las diferentes capas de un mapa. La vegetación, el agua o la tierra podían ser impresos como temas separados. Aunque tiene la apariencia de un SIG, no llega a serlo, ya que carece de la capacidad de analizar datos. (Tate, L et al., 2018)

Así se llega a la primera referencia de los SIG en el año 1959, cuando Waldo Tobler, define los criterios de un sistema el cual denominó MIMO (Map In Map Out), con el objetivo de la aplicación de los ordenadores en el campo cartográfico, con ello estableció los principios de codificación, análisis y representación de datos geográficos en sistemas informáticos a modo de software similar al de los SIG. A los comienzos de los 60 Roger Tomlinson desarrolló la herramienta CGIS (Canadian Geographical information

Systems) para el Departamento Federal de Energía y Recursos con el fin de realizar un inventario de datos geográficos para su análisis y gestión de territorio. Este nuevo software tenía un problema a la hora de almacenar los datos geográficos, que fue superado por Guy Morton y su desarrollo de la “Matriz de Morton”, lo cual facilitó unidades de almacenamiento de la información, permitiendo su análisis y manejo.

De forma paralela, en 1964 se crea SYMAP en Harvard Laborator. Este software permitía realizar las funciones de entrada de datos en forma de puntos, líneas y aéreas, que es análogo con lo que hoy sería el SIG vectorial. La impresión de los datos generaba mapas en los que se combinaban números y letras, escalas de grises y eran capaz de representar coropletas o isolíneas.

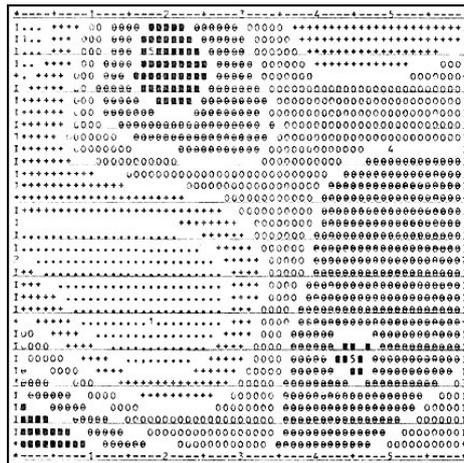


Figura Número 9. Mapa realizado con Sympa (Google)

Así en 1969 en Harvard Laborator, Davis Sinton desarrolla a partir de SYMAP la herramienta GRID, la cual es capaz de realizar tareas de entrada y almacenamiento de la información en forma de cuadrículas, es el inicio del ráster. En los años siguientes empiezan a extenderse dentro del ámbito cartográfico y dejando entrever su alto potencial, dando lugar a la investigación y desarrollo de sus sistemas, recorriendo desde entonces numerosas fases hasta llegar a nuestros días. En la época de los años 80 surgen los primeros softwares comerciales y sus aplicaciones, cuyo uso se reservaba a organismos (medio ambiente, planes forestales, urbanismo).

Aprovechando el potencial de los SIG se funda en 1969 la empresa Enviromental Systems Researchs Instute (ESRI), empresa pionera y líder en el sector hasta la actualidad. Con el paso de los años los sistemas como CGIS y los primeros desarrollos se quedan obsoletos y no pueden competir frente a los lanzados por las nuevas empresas en el mercado. Los nuevos programas se desarrollan rápidamente surgiendo así en 1985 el primer SIG de código libre, GRASS (Geographic Resources Analysis System) que sigue siendo un referente en la actualidad.

El desarrollo de los SIG va en conjunción con la evolución de los ordenadores, adaptándose a los pequeños ordenadores personales más económicos. Esta transición se manifiesta en 1981 cuando la compañía ESRI lanza el software de SIG ArcInfo, el primero utilizado en el área de los ordenadores personales. Este software pasara a distribuirse de manera conjunta al ERDAS en un paquete comercial que aúna el análisis vectorial con el procesamiento de imágenes. La universalidad de los SIG se consagra en 1991 con el lanzamiento de ArcView por parte de la empresa ESRI.

Por último, la aparición de internet y más concretamente de World Wide Web, revoluciona los SIG permitiendo la distribución de cartografía, donde sobresale la



creación de GoogleMaps en el año 2005. Esta aplicación pone a disposición servicios de cartografía en un entorno libre y de código abierto. Permitiendo abrir nuevos horizontes y potenciales a los SIG mucho más allá de lo planteado en sus inicios.

### 2.4.3. Definición

Ante la dificultad de definir un SIG de forma absoluta, se exponen a continuación una serie de definiciones de algunos autores relevantes, generalmente vinculadas a su actividad profesional y ámbito de actuación, en el contexto de los SIG.

- ✓ BURROUGH (1988): Conjunto de herramientas para reunir, introducir, almacenar, recuperar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real para un conjunto particular de objetivos.[4]
- ✓ NCGGIA (1990): Sistema de hardware, software y procedimientos diseñado para realizar la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelización y presentación de datos referenciados espacialmente para la resolución de problemas complejos de planificación y gestión.
- ✓ HEWLETT PACKARD (1993): Un sistema computerizado compuesto por hardware, software, datos y aplicaciones que es usado para registrar digitalmente, editar, modelizar y analizar datos, y presentarlos en forma alfanumérica y gráfica.
- ✓ CALVO MELERO (1993): Conjunto de instrumentos y métodos especialmente dispuestos para capturar, almacenar, transformar y presentar información geográfica o territorial referenciada del mundo real.
- ✓ BOSQUE SENDRA (1998): Conjunto de elementos físicos, lógicos y procedimientos que facilitan un entorno adecuado para la adopción “racional” de decisiones sobre problemas espaciales. [3]

De todas ellas se puede deducir que un SIG es un software específico que permite a los usuarios crear consultas interactivas, integrar, analizar y representar de una forma eficiente cualquier tipo de información geográfica referenciada asociada a un territorio, conectando mapas con bases de datos.

El uso de este tipo de sistemas facilita la visualización de los datos obtenidos en un mapa con el fin de reflejar y relacionar fenómenos geográficos de cualquier tipo, desde mapas de carreteras hasta sistemas de identificación de parcelas agrícolas o de densidad de población. Además, permiten realizar las consultas y representar los resultados en entornos web y dispositivos móviles de un modo ágil e intuitivo, con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión, conformándose como un valioso apoyo en la toma de decisiones.

### 2.4.4. Funciones de los SIG

Como los Sistemas de Información Geográfica no dejan de ser software que gestiona una base de datos cartográfica y otra numérica, gestionado en un hardware, se establecen funciones de varias tipologías:

- *Funciones para la entrada de información:*  
A través de estas se transforma la información de un formato analógico, a un formato digital manejable por el ordenador. Esta conversión tiene que mantener las características espaciales iniciales de la información e introduce mecanismos que detectan y suprimen errores o redundancias.
- *Funciones para la salida y representación cartográfica de la información:*



Estas lo que hacen es extraer la información en distintos soportes, tales como: papel, tablas, gráficos, etc. Mostrando todas las actividades realizadas a los usuarios, incorporando los datos y resultados de las operaciones analíticas o simulaciones efectuadas.

- *Funciones de gestión de la información espacial:*

Estas permiten seleccionar y consultar, de la base de datos, la información necesaria de cada actuación, pudiendo reorganizar todos los datos almacenados.

- *Funciones analíticas:*

Estas facilitan el procesamiento y análisis de los datos disponibles en el sistema, para extraer y generar nueva información para ampliar la existente. Desde estas combinaciones de datos se pueden generar modelos, los cuales se utilizan para la resolución de cuestiones de ámbito espacial.

- *Funciones de edición:*

Son un conjunto de acciones que permiten la modificación de la información. Los datos de partida en un SIG no tienen por qué ser constantes a lo largo del tiempo, por ello la información debe ser susceptible de sufrir variaciones, para así actualizar o corregir el modelo obtenido. Esto permite a SIG ser una herramienta muy flexible y a la vez versátil. Los distintos comandos de los distintos programas funcionan de manera sencilla permitiendo editar geometrías, valores y atributos de todas las capas que intervienen en el modelo.

- *Funciones de visualización:*

Estas permiten el aprovechamiento completo de la información geográfica. Los datos se representan en capas, pudiendo seleccionar aquellos relevantes editando la escala, color, formato... estableciendo relaciones y jerarquías dentro de una misma capa o entre capas, de manera que se facilita a usuario una exploración y análisis visual de la distribución de los datos.

#### **2.4.5. Bases de datos de los SIG**

Todos los datos gestionados por un SIG tienen tres posibles componentes:

- *Componente espacial:*

En los SIG es necesario la observación de elemento y sus componentes entorno a su situación espacial. En este ámbito se pueden diferenciar dos aspectos: la localización geométrica o absoluta en base a un sistema de referencia exterior y las relaciones topológicas, un aspecto cualitativo que hace referencia a la relación entre objetos. Esta segunda es una componente fundamental, que diferencia los SIG frente a otras herramientas similares, permitiendo destacar esa información dentro del modelo generando puntos de referencia que, mediante sus relaciones, permite posicionar y referenciar otros.

- *Componente temática:*

Representa las características intrínsecas de los objetos, se denominan atributos, permitiendo definir variables de los elementos de observación. Los valores temáticos tienden a tener mayor similitud entre objetos próximos que entre objetos lejanos. Las variables pueden ser de diversos tipos dependiendo de los valores a tomar. Estas pueden ser continuas (valor dentro de un rango definido, pudiendo adoptar infinitos valores) o discretas (valor entero); o



dependiendo de la inmediatez de su obtención pueden ser fundamentales (obtención directa) o derivadas (procesando datos originales o variables).

- *Componente temporal:*

La componente espacial como la componente temática sufren modificaciones paulatinas a lo largo del tiempo, de modo que se puede prever la generación de cambios, los cuales serán más apreciables cuanto mayor sea el tiempo transcurrido. La componente temporal para poder ser almacenada se discretiza, almacenando los cambios de un estadio temporal a otro mediante tres mecanismos: secuencia de mapas, mapas de diferencias temporales y mapas animados.

Como consecuencia de las diferentes componentes de los datos geográficos, se deriva que el análisis de los mismos se puede afrontar desde diferentes puntos de vista.

#### 2.4.5.1. Datos Geográficos

Los SIG son herramientas informáticas diseñadas para tratar datos con el fin del análisis de los fenómenos espaciales, por lo tanto, la información es la componente fundamental y más importante del SIG, siendo un pilar básico para resolver problemas y contestar las preguntas de forma óptima. La consecución de unos datos que reúna los requisitos exigidos, por lo general supone entre un 60 y 80% del presupuesto de la implantación, siendo la recolección de los datos un proceso largo y tedioso que demora el desarrollo.

Los datos geográficos se deben caracterizar por estar debidamente georreferenciados para lo que es necesario que el sistema tenga perfectamente definido:

- *Coordenadas:*

Conjunto de valores que permiten la determinación de la posición de cualquier punto sobre la superficie terrestre, respecto a un punto que se toma como origen.

- *Datum:*

Parámetro que define la posición del origen, la escala y la orientación de un sistema de referencia.

- *Elipsoide:*

Superficie de revolución generado por la rotación de una elipse sobre un eje.

- *Escala:*

Relación entre las magnitudes de los elementos observables reales y sus representaciones.

- *Modelo digital de terreno:*

Representación de la superficie terrestre a través de una estructura numérica que refleja la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua.

- *Proyección cartográfica:*

Es un sistema de representación gráfica que establece una relación ordenada entre los puntos de la superficie curva de la Tierra y los de una superficie plana.

Una base de datos espacial, es una colección de datos referenciados en el espacio, que actúa como un modelo de la realidad. Las reglas según las cuales se modeliza el mundo real por medio de objetos discretos constituyen el modelo de datos.



La construcción de una base de datos geográfica implica un proceso de abstracción, para pasar de la complejidad del mundo real a una representación simplificada asequible al lenguaje de los ordenadores. Existen dos factores que se deben tener en cuenta antes de decidir el modelo de datos a emplear:

- *Primitivas Gráficas*

La necesidad de abstracción que requieren las máquinas, implica trabajar con primitivas básicas de dibujo, de forma que la compleja realidad pueda ser reducida por un lado a celdas y por otro a puntos, líneas y polígonos.

- *Relaciones Topológicas*

Existen relaciones espaciales entre los objetos geográficos que el sistema no puede obviar; es lo que se denomina topología, que se puede definir como el método matemático-lógico usado para definir las relaciones espaciales entre los objetos geográficos.

#### 2.4.5.2. Datos Temáticos

Una base de datos es un conjunto de datos organizados, estructurados y almacenados de manera, que permita a un programa informático la selección de un subconjunto en función de sus valores, entorno a la consulta realizada. Mientras otros sistemas de información contienen sólo datos alfanuméricos (nombres, direcciones, afiliaciones, etc.), las bases de datos de un SIG han de contener además la delimitación espacial de cada uno de los objetos geográficos.

La estructura de la base de datos varia, dando como resultado distintos modelos de bases de datos, en función de los mecanismos de almacenamiento, organización y métodos de establecer las relaciones, se generan los distintos tipos de bases de datos con sus características particulares que las diferencian. Los principales modelos son los siguientes:

- *Modelo jerárquico:*

Los datos son almacenados en nodos interconectados entres si, de modo que cada elemento se relaciona únicamente con el elemento superior e inferior pero no con los del mismo nivel, pudiendo así un nodo tener un solo padre o ninguno, y un hijo o varios. De este modo se genera una estructura de tipo árbol invertido con dependencia del nodo primitivo o raíz. Es un modelo potente que presenta ciertas carencias. Un problema es la dependencia de los datos, ya que en una consulta se tiene que acceder al nodo raíz pasando por todos hasta el nodo en cuestión. Por otro lado, no permite la introducción de un dato con redundancia ya que un nodo sólo puede tener una raíz, siendo necesaria la introducción de la información como dos registros independientes.

- *Modelo en red:*

Este surge con motivo de solucionar los defectos del modelo previo, permitiendo la interrelación de nodos del mismo nivel y la no dependencia de un solo nodo padre. Este modelo mejora la eficiencia en este aspecto, pero debido a su mayor complejidad dificulta las labores de gestión de la base de datos.

- *Modelo relacional:*

Es el modelo más utilizado y representativo hoy en día. Se desarrolló con el objetivo de solventar los defectos y complejidades de los modelos anteriores.



Este es el modelo más empleado en el campo de los sistemas de información geográfica SIG.

En cualquier modelo cada tabla ha de ser un conjunto único e irrepetible, no pudiendo existir dos filas idénticas. Para ello existe una columna que actúa a modo de identificador, es decir, como un atributo especial que evita la redundancia y permite referirse a otras tablas o relaciones. Es un modelo que cuenta con múltiples ventajas, como su facilidad de implementación y su flexibilidad, que permite la introducción de nuevas tablas y relaciones o modificaciones, así como la capacidad de recuperación de información.

Para obtener el máximo rendimiento de la base de datos es necesario un Sistema Gestor de Base de Datos (SGBD). Son los intermediarios entre la información comprendida entre la base de datos y los programas que la analizan, permitiendo la gestión rápida y adecuada de la información que contiene. Se trata de un software que permite analizar los datos para seleccionar y extraer la información de interés de acuerdo a una serie de procesos, para permitir su aplicación en función de la tarea requerida. Del mismo modo, también permiten realizar las labores de gestión y mantenimiento de la base de datos propiamente dicha, los SGBD proporcionan las siguientes ventajas:

- *Independencia de los datos:*

Los programas de aplicación son independientes de la forma física en que los datos son almacenados, permitiendo al usuario un acceso al dato de manera transparente, sin necesitar de entender la estructura y relaciones que aplican los programas.

- *Control de integridad:*

Permiten realizar controles de contradicciones en la base de datos, así como guardar registro de las transacciones realizadas por los diferentes usuarios.

- *Control de redundancias:*

La base de datos puede ser utilizada por varios usuarios al mismo tiempo, permitiendo sus operaciones sin interferencias con otros usuarios.

- *Seguridad:*

No todos los usuarios pueden tener acceso a toda la base de datos, ni modificar sus contenidos. De esta forma se garantiza una protección de datos, especialmente importante en casos con información confidencial, en la que se deberán interponer mecanismos de acceso en función del permiso y nivel del usuario.

- *Eficiencia:*

El sistema debe responder de forma adecuada, permitiendo un acceso a la información de forma fluida, con independencia del volumen de la información. Este hecho es de especial importancia a partir de la conocida como Big Data.

Las características concretas de cada SGBD dependen en gran medida de la base de datos con la que se pretende implementar el SIG, realizando la lectura y recorrido de la información de manera distinta en función del modelo, y adaptándose a las necesidades funcionales del usuario.

## 2.4.6. Tipos de SIG

### 2.4.6.1. SIG Vectorial

Un SIG vectorial se basa en la representación vectorial de la componente espacial de los datos. Los objetos se representan en dos partes, una que representa sus características espaciales y otra los aspectos temáticos que se le asocian.

Son aquellos SIG, por lo tanto, que para la descripción de los objetos geográficos utilizan vectores definidos por pares de coordenadas relativas a un Sistema de Referencia dado. Con las coordenadas espaciales se gestionan los puntos, con dos puntos se gestionan las líneas y con una agrupación de líneas se forman los polígonos.



Figura Número 10. Representación vectorial de los objetos del territorio

La información almacenada dentro de un SIG vectorial puede ser geométrica, que almacena únicamente la geometría de las entidades, también denominadas “spaghetty” o topológica. Registran tanto la geometría como la topología (relaciones entre objetos próximos). Es importante tener en cuenta que a partir de la geometría se puede generar topología, la cual resulta adecuada para realizar análisis espaciales.

Por consiguiente, la topología resulta más ventajosa que la geometría. El mejor método para obtener una topología vectorial es el método denominado arco-nodo, que presenta una serie de ventajas:

- Asegura que en una posición existe únicamente un elemento.
- Las líneas se cruzan en nodos.
- Los polígonos rellenan el espacio, exhaustivamente.
- Los límites comunes se almacenan una sola vez.
- Permite establecer las relaciones topológicas.

Existen un gran número de relaciones topológicas que pueden establecerse a raíz de lo visto anteriormente, las más importantes y representativas en un SIG son las siguientes:

- **Coincidencia:** Cuando la situación de dos objetos cartográficos es la misma en todo o en parte. Ejemplo: Un tramo de contorno de manzana y un tramo de contorno de parcela.
- **Influencia:** Relación típicamente cartográfica que se puede establecer entre los objetos, por la cual se puede definir quien tiene prioridad en el momento de la presentación. (Visualización, Impresión, etc.)
- **Inclusión:** Cuando un objeto cartográfico queda incluido dentro de otro, sin ser componente de aquél. Pudiendo ser de varios tipos como, por ejemplo: objeto puntual en objeto lineal u objeto de líneas en objeto de superficie.
- **Conectividad:** Cuando existe una conexión directa entre dos o más objetos cartográficos.
- **Superposición:** Cuando los elementos se superponen planimétricamente, pero no altimétricamente, no tienen conexión.

- Proximidad: Se calcula analíticamente cuando es necesario en función de la distancia mínima deseada.

Para la organización de los datos en sus dos componentes existen varias alternativas. En ocasiones el sistema vectorial se forma de dos componentes o programas, pudiendo existir dos bases de datos independientes, cada uno de ellos está asociado a una de las dos bases de datos. Este método se denomina híbrido al enlazar una base relacional (aspectos temáticos) con una topológica (datos espaciales). Esto es posible dado que cada objeto cuenta con un identificador, el cual coincide para ambas bases de datos, permitiendo establecer una relación sencilla que posibilita, al actuar sobre un dato espacial, hacerlo al mismo tiempo en el aspecto temático del mismo. La otra opción existente es la inclusión de ambas componentes en una misma base de datos mixta, que albergue las características espaciales y atributos.

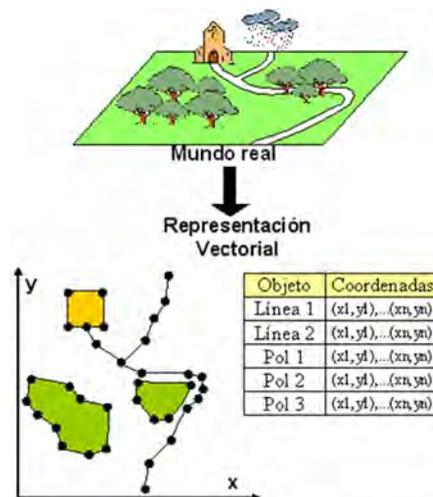


Figura Número 11. SIG Vectorial ([prevencionderiesgosumc.blogspot.com](http://prevencionderiesgosumc.blogspot.com))

#### 2.4.6.2. SIG Ráster

Los modelos Ráster, son aquellos que prestan mayor atención a las propiedades del espacio, que a las representaciones precisas de los elementos que lo conforman. Para ello compartimenta el espacio en una serie de elementos discretos por medio de una rejilla de rectángulos regulares de igual tamaño. Cada uno de esos rectángulos independientes son celdas que se consideran como indivisibles y es identificada por su número de fila y columna, en ella se le codifica el valor de la variable del punto del espacio a evaluar. La información temática de cada celda es única y se asigna respecto de un valor relativo a la variable que está representando. Del mismo modo, la regularidad de la retícula permite establecer relaciones topológicas entre los puntos cercanos entre sí.

Los conceptos básicos que se deben tener en cuenta al hablar de modelos Ráster son:

- **Resolución:** Dimensión lineal mínima de la unidad más pequeña del espacio geográfico para la que se recogen datos.
- **Orientación:** Ángulo formado por el Norte y la dirección definida por las columnas de la retícula.
- **Valor:** Ítem de información almacenado en cada celda de una capa. Profundidad del pixel (1/8/24/... Bits).
- **Zona:** Conjunto de celdas contiguas que toman el mismo valor.



- *Clase*: Celdas que poseen el mismo valor.
- *Localización relativa*: Número de fila y columna relativa que se utiliza para identificar cada celda y situarla en relación a las demás.
- *Localización absoluta*: Las esquinas del mapa se referencian sobre el espacio de acuerdo con un sistema de coordenadas georreferenciado.

Cada uno de las celdas que conforman el modelo Ráster, suele denominarse *pixel*, y es la unidad mínima de almacenamiento de información del modelo a la que puede asignarse un atributo ya sea espacial o temático. Por ello, para obtener una mayor resolución de la imagen se requiere una mayor precisión en la toma de datos, lo cual genera un mayor volumen de los mismos a almacenar. Los datos Ráster se almacenan según dos estrategias metodologías diferentes, en función de la tipología de los ficheros: estructuras simples o jerárquicas.

Las estructuras simples se dividen dependiendo del proceso de almacenamiento. Una tipología es la enumeración exhaustiva, en la que el valor de cada celda o pixel es registrado individualmente uno por uno hasta completar la totalidad, comenzando por la esquina superior izquierda y sin aplicar ninguna metodología en casos en los que un mismo valor es repetido seguidamente.

Otra opción son las estructuras run-length, la cual aprovecha la característica de auto correlación espacial, por la cual las celdas contiguas tienen una alta probabilidad de poseer atributos similares, por lo que un mismo valor puede aparecer cubriendo amplios espacios. En estos casos esta metodología concatena la información y la compacta permitiendo reducir el volumen de información cuanto mayor es la redundancia de atributos. En esta estructura el orden de lectura puede variar en función de las órdenes de almacenamiento.

La otra posibilidad son las estructuras jerárquicas, el modelo más extendido son las estructuras quadtree. Es un método que basa el almacenamiento en el uso de rejillas irregulares, en la que el tamaño de las celdas varía en función de las aéreas de atributos. Es el equivalente a trabajar con resolución variable y se ve reforzado como consecuencia de la correlación espacial. En un mismo modelo permitirá tener resolución de celdas más pequeñas cuando los datos tienen poca correlación y pixeles de mayor tamaño cuando existe mayor redundancia. De este modo, se realiza una ordenación de las celdas compactando la información y facilitando el acceso a los valores temáticos.

El cálculo del valor de cada una de las celdas es una de las principales labores que deben tenerse en cuenta en la generación de este tipo de modelos. El problema surge debido a que la información no se encuentra inicialmente en formato Ráster, por lo que es necesario transformarla. Este procedimiento se denomina rasterización, y permite generar modelos en formato Ráster a partir de información en otros formatos. Es una labor tediosa y complicada ya que es necesario obtener una estructura regular de la información desde datos que no lo son, como modelos TIN, puntos o líneas entre otros.

Para ello es necesario el uso de métodos de interpolación, los cuales permiten estimar el valor del atributo desconocido de un punto o celda de coordenadas dadas, en función de los valores de los puntos conocidos circundantes. La bondad de la interpolación dependerá de diversos factores, como el método elegido, la calidad de los datos iniciales y la variable o valor a interpolar. Los principales métodos utilizados en el ámbito de los SIG son los siguientes [Olaya, V. 2014]:



- **Vecindad:**

Es el método más sencillo, por el cual se asigna al punto el mismo valor que el punto más cercano, el logaritmo utilizado simplemente determina cual es el punto más próximo para darle el mismo valor. La problemática de esta metodología es que los modelos tienen saltos radicales.
- **Ponderación por distancia:**

Esta interpolación permite determinar los valores del punto a partir de una media ponderada de los puntos de un área de influencia, estableciendo los pesos en función de la inversa de la distancia. El método permite determinar valores dentro del rango de los puntos cercanos, no dando nunca valores extremos de modo que no refleja los valores en tendencia.
- **Superficies de tendencia:**

El algoritmo consiste en generar una ecuación matemática de una superficie, la cual contenga al punto de interés, la bondad de la aproximación de la superficie a la realidad dependerá del número de puntos y orden de la ecuación. Una vez determinada la superficie se hace intersectar la proyección del punto sobre esta para obtener el valor del atributo. Estos modelos, por lo general, mejoran con el aumento del orden del polinomio, pero a su vez aumenta la complejidad del proceso además de poder obtenerse valores fuera de contexto y no lógicos, que no se corresponden con el objeto a representar.
- **Curvas adaptativas (splines):**

Modelo muy similar al anterior, con la peculiaridad que, en lugar de utilizar un único polinomio, se utilizan varios que se combinan entre sí a fin de mejorar la aproximación a la realidad.
- **Kriging:**

Es uno de los métodos más utilizados, se basa en la geoestadística para determinar el valor con mayor probabilidad y menor error o desviación, para ello se base en la correlación espacial dando mayor peso en los cálculos a los puntos cercanos que a los lejanos.

Lo más habitual es partir de un modelo con información codificada en formato vectorial para obtener el Ráster. Esto supone tener que localizar cada uno de los elementos vectoriales: puntos, líneas y polígonos; para determinar si éstos se encuentran en el interior de una de las celdas del modelo Ráster, asignado a ésta el valor del objeto vectorial dentro del dominio, en caso afirmativo. El primer problema a solventar consiste en la interpretación de los datos con distintos sistemas de coordenadas. En los modelos vectoriales el origen se encuentra en la esquina inferior izquierda, y en los Ráster en la esquina superior izquierda. Los dos modelos principales son la rasterización de puntos, en los que el valor del pixel es el del punto contenido y la rasterización de líneas y polígonos en la que es necesario intersectar las fronteras de los elementos vectoriales con las líneas de la rejilla para así identificar su posición relativa a la celda (Bosque, J. 1992).

Un factor importantísimo de los modelos Ráster es el álgebra de mapas, es decir, el conjunto de operadores aritméticos y lógicos, así como procedimientos, que permiten obtener una nueva capa de salida con información no disponible hasta entonces, generada a partir de capas de entrada existentes (con información distinta a la de salida). Esta técnica de obtención de información derivada, y contenida en nuevas capas



Ráster, puede ser aplicada a capas de entrada vectoriales, pero debido a la estructura y formato, las Ráster son más susceptibles a los algoritmos utilizados obteniéndose mejores resultados.

Los operadores se pueden clasificar en función de las celdas implicadas en el cálculo, apareciendo los operadores locales, los operadores de vecindad, los operadores zonales y los operadores globales:

1. *Los operadores locales*, que son aquellos que trabajan únicamente con los valores de una única celda. Se calculan valores para cada posición de una nueva capa en función de los valores de esa misma posición en una o más capas preexistentes. Dentro de esta clasificación se pueden diferenciar dos posibilidades:

- *Reclasificación*: operaciones que a partir del valor de una celda de un mapa o capa de entrada determinan el valor de la nueva celda en la capa o mapa de salida. En función del tipo de dato de trabajo, pueden realizar las operaciones con variables cualitativas o cuantitativas teniendo ciertas peculiaridades en las operaciones a realizar.
- *Superposición de mapas*: operaciones realizadas con valores de varias capas, que se combinan celda a celda para obtener el valor de la capa resultante. Puede ser superposición lógica (condicionantes lógicos), superposición aritmética (mediante ecuaciones matemáticas) o a partir de parámetros estadísticos.

2. *Los operadores de vecindad*, son aquellos que trabajan con los valores de una celda y sus celdas colindantes. El cálculo del valor de la celda en la nueva capa se determina en función de los valores de las celdas próximas en una o varias capas fuente. Dentro de esta clasificación se pueden diferenciar dos posibilidades:

- *Vecindad inmediata*: Son operaciones en las que el valor de una celda en un nuevo mapa está en función de los valores de las celdas situadas en su vecindad inmediata, celdas contiguas a ella bien a través de un lado o de un vértice. Se pueden distinguir dos operaciones principales:
  - *Filtrado de mapas*: Permite trabajar con ventanas móviles y a la celda central de cada ventana se le asigna en el nuevo mapa un valor que suele ser una media de los valores de todas las celdas de la ventana. Se puede producir dos efectos: suavizados y realces.
  - *Pendientes*: Se trabaja con ventanas en las que el valor de la celda central de la ventana se obtiene a partir del cálculo del valor de las pendientes existentes entre esa celda y las celdas vecinas.
- *Vecindad extendida*: Son operaciones en las que se relaciona una celda con otra u otras que ya no tienen que estar contiguas a ellas. Pudiendo realizar diferentes operaciones:
  - *Distancias euclídeas*: para la realización de análisis de proximidad, que permiten conocer la celda a una cierta distancia conocida o generación de polígonos de Thiessen con el objetivo de la división del espacio en base a la teselación de Voronoi.
  - *Superficies de fricción*: El espacio no es isotrópico, el efecto de la fricción de la distancia varía en función de distintos criterios como el tipo de relieve, la existencia de láminas de agua, etc.

- *Análisis de intervisibilidad*: A partir de un mapa de elevaciones del terreno es posible determinar que celdas son visibles o no desde una determinada celda.
3. *Los operadores zonales*, trabajan con las celdas de una determinada zona en la capa o capas de entrada con las que realiza las operaciones necesarias para obtener los valores de la celda en la capa de salida. Dentro de esta clasificación se pueden diferenciar dos posibilidades:
- *Identificación de zonas*: el sistema se encarga de comparar todas las celdas de la zona, para determinar aquellas con un mismo valor para identificarlas y relacionarlas en la capa de salida.
  - *Mediciones espaciales*: con las zonas determinadas, estas se identifican y codifican permitiendo realizar sobre ellas mediciones espaciales.
4. *Los operadores globales*, que son aquellas que trabajan con la totalidad de las celdas y sus valores permitiendo obtener la capa resultado de salida.

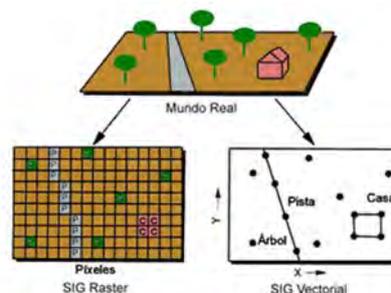


Figura Número 12. Comparativa modelo ráster y modelo vectorial. (concurso.cnie.mec.es)

#### 2.4.7. Aplicaciones de los SIG

Los SIG pueden ser utilizados en numerosas aplicaciones y las podemos agrupar en los siguientes campos:

- *Científicas*:  
Posibilidad de uso en investigación y desarrollo de modelos empíricos, cartográficos y dinámicos, tratamiento de grandes volúmenes de información obtenida mediante teledetección etc.
- *Organización de datos*:  
La sustitución de “cartotecas analógicas” por “cartotecas digitales”: reducción de espacios, no deterioro del soporte, recuperación de datos, reproducción rápida, barata y precisa, etc.
- *Visualización de datos*:  
Permite la selección de los niveles de información seleccionados, para facilitar la capacidad de análisis del ojo humano.
- *Gestión*:  
Ordenación del territorio, planificación urbana, gestión de información pública, evaluación de recursos, seguimiento de actuaciones, etc.



- *Análisis territorial:*

Combinando información diferente, seleccionando la necesaria para establecer patrones o relaciones.

Estas aplicaciones genéricas, deben su utilidad, principalmente, al modelo SIG sobre el cual se trabaja y debe seleccionarse siempre de acuerdo a las necesidades del proyecto a realizar. Dependiendo del trabajo a realizar se debe elegir el modelo vectorial o ráster.

#### 2.4.7.1. Aplicaciones de los SIG Vectoriales

Las aplicaciones más usadas de los SIG vectoriales se clasifican según los campos para los que actúan, y las podemos numerar de la siguiente forma:

- *Archivo espacial:* utilización de los SIG como almacenamiento de grandes volúmenes de datos espaciales. Uno de los objetivos por los cuales se desarrolló en los años setenta. Esta aplicación fue muy usada por organizaciones públicas forzadas a tratar gran cantidad de información espacial, siendo guardada en archivos dentro del sistema, y facilitando el acceso a los usuarios. A pesar de que simplemente acaricia el potencial del sistema, es una de las aplicaciones más habituales en la actualidad gracias a los programas comerciales disponibles para ordenadores.

- *Planificación y gestión urbana:*

El SIG facilita las labores de los gobiernos y ayuntamientos en labor diaria, llegando a usarse en el pasado para mantenimiento de infraestructuras, recaudación de impuestos o como padrón. En la actualidad las aplicaciones más comunes se basan en inventarios de recursos y equipamientos (edificios, parques, plazas, carreteras...), cartografía actualizada y rápida e incluso análisis y modelado cartográfico.

- *Catastro:*

Siendo el catastro un registro de la propiedad y extensiones de terreno, la implementación de los SIG es de gran utilidad. Las parcelas se delimitan mediante líneas o se representan mediante polígonos, que representan la componente espacial, la cual está asociada a la base de datos temática, que posee información sobre el propietario, tamaño, valor catastral... adaptándose a la perfección a las características de los SIG.

- *Demografía y marketing:*

Los SIG permiten registrar información demográfica, social y económica, la cual estudiada de manera correcta permite realizar estudios de mercado enfocados a la localización de negocios, áreas de influencia de productos o determinación de la localización óptima de nuevos comercios.

- *Transporte:*

Realización de aplicaciones que permiten la determinación de la ruta óptima entre dos puntos, con un funcionamiento similar al del GPS, conteniendo información relacionada con la ruta e infraestructuras.

#### 2.4.7.2. Aplicaciones de los SIG Ráster

Los usos de los modelos ráster, se utilizan principalmente para los siguientes dos campos:



- *Uso del suelo:*

Son utilizados en planes de ordenación del territorio, permite la división del suelo en función de los atributos asignados a las diferentes celdas, uso del aspecto temático, permite la clasificación del territorio con el objetivo de determinar zonas urbanas, industriales, residenciales, etc. De igual manera puede usarse conteniendo información de la litología, topografía, temperaturas o múltiples variables permitiendo infinitos estudios del territorio para su clasificación.

- Evaluación de impacto ambiental:

Similar a la aplicación de uso del suelo, concretamente aplicada a la alteración que puede generarse como consecuencia de la actividad humana de cualquier proyecto, obra, industria, etc. Permite establecer un grado de afección para cada acción y caracterizar el terreno con atributos de sensibilidad para cada celda, de manera que pueden identificarse aéreas afectadas y poder simular diferentes escenarios.

## **2.4.8. Principales softwares en SIG**

### **2.4.8.1. ArcGIS**

El software de pago desarrollado y comercializado por la empresa ESRI (Environmental Systems Research Institute). En este momento es la herramienta más extendida y utilizada por usuarios en todo el mundo. Confeccionada por la agrupación de aplicaciones para el análisis, diseño, tratamiento y visualización de datos cartográficos, engloba herramientas como ArcReader, ArcMap, ArcCatalog. En la actualidad la versión ArcGis Pro ofrece al usuario prestaciones mejoradas, como la visualización 3D.

Diseñada para un uso extendido al mayor número de ámbitos posibles, es por ello que es utilizada en sectores como el gobierno, empresas privadas, educación e investigación, debido a su multitud de prestaciones. Del mismo modo está presente en todo tipo de dispositivos electrónicos como tabletas, Smartphone o computadoras a través de un servicio Web, permitiendo la publicación de información geográfica accesible a todos los usuarios. La herramienta ArcGis, de acuerdo con la información de la página Web propia, indica lo siguiente respecto a sus capacidades de uso y aplicación:

*“Personas de miles de organizaciones de muchos sectores diferentes emplean ArcGIS en una variedad de aplicaciones, entre las que se incluyen de planificación y análisis, administración de activos, comprensión del funcionamiento de las operaciones, operaciones de campo como inspección móvil e implementación de respuestas, investigación de mercado, administración de recursos, logística, educación y divulgación...”*

ArcGIS permite:

- Crear, compartir y utilizar mapas inteligentes.
- Compilar información geográfica.
- Crear y administrar bases de datos geográficas.
- Resolver problemas con el análisis espacial.
- Crear aplicaciones basadas en mapas.
- Dar a conocer y compartir información mediante la geografía y la visualización”



El precio de la licencia de ArcGis depende del nivel, es decir, una clasificación propia que depende del número de usuarios posibles simultáneos bajo una misma licencia. [11]

#### 2.4.8.2. Grass

La herramienta SIG GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) de código libre, es líder a nivel mundial y es el software más extendido entre los usuarios. Permite a los usuarios total acceso al código fuente de la plataforma. Desarrollado en la década de 1980 en Estado Unidos por los Laboratorios de investigación de Ingeniería de la construcción pertenecientes al Ejército de los Estados Unidos, la herramienta surgió ante la necesidad del Departamento de Defensa, el cual necesitaba un software SIG para hacer frente a las labores de supervisión y gestión medioambiental del territorio. El programa se puso a disposición de los usuarios públicos por primera vez en 1991, tras varias versiones fue en 1999 cuando GRASS versión 5.0 libera el código con licencia GNU. Debido a su uso gubernamental en varios países y su carácter académico, tuvo gran penetración a escala mundial en poco tiempo.

En la actualidad GRASS es un SIG mucho más extenso que el desarrollado en su origen, convirtiéndose en una herramienta poderosa con multitud de aplicaciones, usada en diversas áreas y que contribuye a la investigación y desarrollo científico. Tal es su potencial que es uno de los programas empleados en agencias relevantes como la NASA (National Aeronautics and Space Administration), NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), DLR (Centro aeroespacial alemán) o UGGS (United States Geological Survey).

Según indica su página Web propia, GRASS es una herramienta capaz de realizar funciones como:

- Análisis Ráster convencional y 3D.
- Análisis vectorial.
- Análisis de información puntual (Triangulación de Delaunay, interpolación, polígonos de Thiessen...).
- Procesamiento de imágenes.
- Análisis DTM.
- Geocodificación.
- Creación de mapas.
- Soporte SQL.
- Modelos de erosión, análisis estructural del paisaje, soluciones de transporte y análisis de cuencas.

A pesar de todo, GRASS es un software original de plataforma GNU/Linux, pero que cuenta con versiones adaptadas a Microsoft Windows a través de un programa conocido como winGRASS GIS. A día de hoy la última versión disponible es GRAS GIS 7 desde 2015, que mejora el análisis vectorial, la visualización y la topología 2D/3D de manera ostensible respecto a la versión anterior. [5]

#### 2.4.8.3. Qgis

Este SIG con licencia GNU, fue desarrollado por OSGeo (Open Source Geospatial Foundation) está implantado en todas las plataformas informáticas, ofreciendo total



disponibilidad a los usuarios, lo cual, sumado a su versatilidad, números formatos y velocidad de cálculo, lo que le convierte en uno de los softwares libres de referencia.

La aplicación QGIS Desktop permite crear, editar, visualizar, analizar y publicar información espacial en plataformas como Windows, Mac, Linux, BSD y en la extensión más reciente, Android, aunque se encuentra en comienzos de la fase de incubación estando disponible la primera versión beta. La accesibilidad a los datos de información es total, permitiendo a través del Navegador QGIS la previsualización los datos y metadatos, aunque estos no pueden ser modificados desde el navegador. Además, permite la publicación de los datos en servidores de la nube, facilitando su comunicación y accesibilidad.

Las principales características de QGIS son las siguientes:

- Visualización de datos.
- Explorar datos y componer mapas.
- Crear, editar, gestionar y exportar datos.
- Analizar datos.
- Publicar mapas en Internet.
- Extensión de funcionalidades.

La gran ventaja de esta herramienta reside en el último punto, en la extensión de funcionalidades, debido a que el programa permite libre acceso al código fuente, existen multitud de complementos y extensiones del programa desarrollados por la comunidad de usuarios, estas extensiones fácilmente accesibles a través de un repositorio oficial y el instalador de complementos Python integrado. Por otro lado, se dispone de un acceso directo a una consola Python, un interfaz que permite el desarrollo de script propios y ejecutables dentro del mismo, lo que permite automatizar tareas y un potencial sin límite. El único problema reseñable a grandes rasgos es la limitación en Linux del número de archivos ejecutados simultáneamente, lo cual puede generar errores en el tratamiento de proyectos de gran envergadura con múltiples capas de información, aunque puede solucionarse mediante una reprogramación a través de la consola para cada nuevo archivo. [5]

#### 2.4.8.4. Geomedia

Geomedia es una herramienta compuesta por un paquete SIG capaz de cubrir el amplio espectro de necesidades funcionales a la hora de la producción de mapas. La herramienta no trabaja con datos geográficos propios, si no que esta enlazada directamente a fuentes de datos externas adheridas a estándares y normas como las definidas por Open Geospatial Consortium. Esto le convierte en una herramienta destinada a la organización Web, con un fácil acceso y logística de la información. GeoMedia dispone además de un conjunto de comandos, funciones y herramientas para el análisis y edición de la información, de manera que se proporciona a los usuarios una visión geoespacial global integrada.

En la Web del servicio técnico propio de la herramienta, se especifican los siguientes beneficios:

- Captura y distribución de datos efectiva.
- Acceso e integración de información proveniente de cualquier fuente de datos.
- Generación de productos cartográficos de alta calidad.



- Mejora de la eficiencia debida a los flujos de trabajos optimizados.

El paquete de GeoMedia solo se encuentra disponible para Windows, e incluye los siguientes softwares:

- *GeoMedia Viewer*: aplicación sin coste destinada a la visualización de mapas, análisis poco complejos y salida de datos.
- *GeoMedia*: software de licencia comercial, los softwares de esta categoría se dividen en 3 dependiendo de las capacidades funcionales y características, el orden ascendente en base a la complejidad y potencial es el siguiente:
  - *GeoMedias Essentials*: esta versión permite realizar análisis más complejos, trabajar con datos vectoriales georreferenciados y generar mapas de mayor calidad.
  - *GeoMedia Advantage*: a las características del modelo anterior le añade la capacidad de generar MDT y mejorar los análisis y edición de datos geográficos.
  - *GeoMedia Professional*: es la versión más completa que aglutina todas las características previas y añade funciones que optimizan la gestión de la información.

Las licencias comerciales tienen un coste de adquisición de entorno a los 14.000 €, al que se le suma un coste de mantenimiento anual de la licencia de 2.250 €.

#### 2.4.8.5. Mapinfo

Software SIG desarrollado por Pitney Bowes. Este software (anteriormente conocido por el nombre de MapInfo Corporation), fue creado por una de las compañías líder en software informáticos de localización y posicionamiento geográfico.

Concretamente MapInfo Professional es el primer software SIG comercial de escritorio en el salir a mercado en 1986, bajo el nombre original de MapCode en plataforma DOS. Para el año 1990 vio la luz la segunda versión, ya con el nombre definitivo MapInfo, esta vez para sistema operativo Microsoft Windows mejorando la interacción con los usuarios.

La herramienta al igual que el resto, permite la edición, análisis e interpretación de datos geográficos, pero entre sus características cabe destacar:

- *Potencia*: gran capacidad para el tratamiento y manejo de grandes volúmenes de datos.
- *Rapidez*: visualización de datos, capas, temas y leyendas con gran agilidad.
- *Sencillez*: la interfaz diseñada para ser lo más intuitiva posible agiliza las tareas del día a día, y uso de nuevos usuarios.
- *Compatibilidad*: capaz de tratar información de las bases de datos más comunes en la actualidad, independientemente del sistema de referencia, así como bases de datos espaciales y relacionales.

La última versión en el mercado es MapInfo Professional v16.0 sigue mejorando la interfaz interactiva con el usuario, destacando la rapidez y el carácter intuitivo del software.

Los precios de compra de la licencia varían en función de la versión y número de usuarios, la versión más básica y con mínimo número de usuarios tiene un precio que ronda los 2.500 €, con precio de mantenimiento anual de unos 500 €.



#### 2.4.8.6. gvSIG

El programa en lenguaje Java, cuyo desarrollo fue impulsado por la Comunidad de Valencia en colaboración con universidades, administraciones institutos geográficos y tecnológicos, dentro de un plan de instalación de software en toda la organización en el año 2010. Se trata de una potente herramienta para la gestión, manipulación, análisis y actividades relacionadas con la información geográfica.

Es un Software de código libre, lo que significa un coste cero además de tener acceso al propio código en lenguaje Java, lo que permite poder estudiarlo y editarlo a voluntad. Es una herramienta que puede ser instalado en Linux, Microsoft Windows, Mas OS y una versión para dispositivos móviles gvSIG mobile, también está disponible para android (gvSIG Mini), además de estar traducido a más de 25 idiomas.

Estas características hacen que gvSIG sea una de las plataformas con mayor crecimiento en relación al software convencional como ArcGis o QGIS. Los usuarios de muy diversos sectores trabajan además en la mejora y corrección de los errores del programa, poniendo al acceso del usuario las nuevas modificaciones y extensiones y mejoras de usos.

Al igual que el resto de SIG permite el tratamiento de datos geográficos de diversos ámbitos, además de implementar edición cartográfica de precisión, teledetección, morfometría e hidrología. El software funciona bajo los parámetros de regulación y estándares de OGC y es compatible con los formatos propios de programas como AutoCAD, MicroStation y ArcView.[12]

#### 2.4.8.7. Sextante

Herramienta orientada al análisis espacial de la información forestal, impulsada en 2004 por la comunidad autónoma de Extremadura. Es uno de los softwares más relevantes en el ámbito forestal, debido a su gran capacidad de análisis dentro de este, muestra algunas carencias para otras aplicaciones de distintas índoles menos específicas distintas a las de diseño.

Aunque en su origen comenzó siendo un SIG convencional, posteriormente en 2008 se integró en gvSIG, actuando a modo biblioteca de algoritmos de análisis espacial, permitiendo el manejo de información geográfica vectorial y ráster, aunque su mayor rendimiento se encuentra en el análisis de datos espaciales ráster. En la actualidad es una biblioteca de código libre que puede ser implementada en otras herramientas SIG.

Su nombre SEXTANTE proviene del Sistema EXTremeño de Análisis Territorial, y como este indica permite análisis de relieve, hidrológicos, de visibilidad, iluminación, vegetación, geoestadística... que están orientados en mayor medida a la gestión ambiental.



Figura Número 13. Logos de los principales softwares del mercado.



### 3. EL NUEVO MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

En la minería, a diferencia de otros tipos de actividades humanas en las que se puede estudiar y analizar la localización óptima para su implantación dentro de un ámbito territorial, la puesta en marcha de toda actividad extractiva está condicionada por la localización y existencia de los recursos mineros.

En la minería metálica y energética la localización de la actividad viene prefijada por la ubicación de los recursos, determinando la situación geográfica de los yacimientos el espacio físico donde implantar la explotación minera. Cuando se presentan estos casos no cabe más análisis que el de la viabilidad económica y ambiental del proyecto minero en la única localización posible, que es aquella donde se ubica el yacimiento.

Sin embargo, existen algunas clases de rocas y minerales industriales que se presentan en la naturaleza con una distribución más abundante, es en estos casos donde se puede plantear el estudio y análisis de alternativas de localización de la actividad minera dentro del ámbito a escala regional, en función de todos los factores del medio social, físico, económico, medioambiental, geográfico y los intrínsecos del recurso a explotar así como del grado de compatibilidad de su localización con los otros usos de los recursos naturales y de la legislación existente.

El desarrollo de la investigación propuesta en este trabajo se apoya en la investigación previa desarrollada por los tutores de este Trabajo Fin de Máster, titulada "*Multicriteria analysis for the determination of the exploitability index of industrial aggregate outcrops*", publicada en la revista "*Archives of Mining Sciences*", perteneciente a Journal Citation Reports (JCR) y que perseguía encontrar una metodología para establecer un índice de explotabilidad dependiente de varios componentes. Se debe reseñar que, de todos los componentes establecidos en esa investigación, el Impacto Ambiental es el que tiene mayor peso y esta investigación lo que persigue precisamente es ahondar o desagregarlo de forma más pormenorizada con el objeto de mejorar la metodología en general.

#### 3.2. FACTORES AMBIENTALES

Bajo el concepto de factores ambientales, se agrupan los diversos componentes del Medio Ambiente, entre los que se desarrolla la vida en el planeta y dan sustento a toda actividad humana. Estos factores son susceptibles de ser modificados por el ser humano, estas modificaciones pueden ser lo suficientemente grandes como para ocasionar graves problemas en el entorno, los cuales son generalmente difíciles de valorar, dado que habitualmente suelen surgir a medio o largo plazo, pero también pueden ocasionar problemas menores fácilmente solucionables o soportables.

Los factores ambientales considerados por los organismos competentes de la UE son:

- El hombre, la flora y la fauna.
- El suelo, el agua, el aire, el clima y el paisaje.
- Las interacciones entre los anteriores.
- Los bienes materiales y el patrimonio cultural.



Estos factores ambientales se pueden desagregar en todos aquellos componentes susceptibles de recibir algún tipo de impacto, negativo o positivo, según el tipo de actividad a desarrollar.

Los principales factores ambientales a considerar en cualquier análisis medioambiental, según Gómez Orea. D (1998), se dividen en tres grandes grupos, que a su vez se vuelven a subdividir en otros subgrupos y a su vez estos se vuelven a subdividir en otros subgrupos, los cuales deben seleccionarse de acuerdo a criterios de relevancia, fiabilidad y conmensurabilidad y que no conviene superar los cuatro niveles de desagregación, los cuales se ajustan bien a la mayoría de los proyectos. [12]

El primero es el medio socioeconómico, el cual se refiere a la población y sus atributos en cuanto fuerza de trabajo, consumidora de bienes y servicios y sujeto de relaciones sociales y actividades de tipo cultural. En la siguiente tabla se puede apreciar sus subdivisiones posteriores.

SUBSISTEMA SOCIOECONÓMICO.	POBLACIÓN.	Dinámica Poblacional.	Movimientos inmigratorios.
			Movimientos migratorios.
		Estructura Poblacional.	Población ocupada por ramas de actividad.
			Empleo.
		Características culturales.	Población ocupada según situación profesional.
			Estilos de vida.
			Interacciones sociales.
	Aceptabilidad social del proyecto.		
		Estructura de la propiedad.	
		Tradiciones.	
	Densidad de Población.	Densidad de población.	
	ECONOMÍA.	Renta.	Renta per cápita.
			Distribución de la renta.
			Valor del suelo rústico.
Finanzas y sector público.		Indemnizaciones.	
		Presión fiscal.	
Actividades y relaciones económicas.		Actividades económicas afectadas.	
		Actividades económicas inducidas.	
	Áreas de mercado.		

Tabla Número 11. Clasificación del sistema socioeconómico

El segundo es el sistema de núcleos e infraestructuras, constituido por los asentamientos humanos, infraestructuras y sus relaciones de intercambio. En la siguiente tabla se pueden apreciar sus subdivisiones posteriores.



<b>SUBSISTEMA DE NÚCLEOS E INFRAESTRUCTURAS.</b>	<b>INFRAESTRUCTURAS Y SERVICIOS.</b>	<b>Infraestructura viaria.</b>	Densidad de la red viaria.
			Accesibilidad de la red viaria.
			Riesgo de accidentes.
			Viarío rural.
			Otro viario.
		<b>Infraestructura no viaria.</b>	Infraestructura hidráulica.
			Saneamientos y depuración.
			Infraestructura energética.
			Infraestructura de comunicación no viaria.
	<b>Equipamientos.</b>	Servicios comerciales.	
		Equipamiento deportivo-esparcimiento y recreo.	
		Equipamientos turísticos.	
		Equipamiento docente.	
		Servicios oficiales.	
		Transporte y comunicaciones.	
		Vivienda.	
		Equipamiento sanitario.	
		Equipamiento asistencial.	
<b>ESTRUCTURA ESPACIAL DE NÚCLEOS.</b>		<b>Estructura horizontal de núcleos.</b>	Modelo de distribución espacial.
	Índice de uniformidad.		
	<b>Estructura vertical de núcleos.</b>	Jerarquía de los núcleos.	
<b>ESTRUCTURA URBANA.</b>	<b>Interacciones.</b>	Interacciones entre núcleos.	
		<b>Morfología.</b>	Trama urbana.
			Disciplina urbanística.
	Escena urbana.		
	<b>Planeamiento Urbanístico.</b>	Alteración del planeamiento vigente.	
		Disciplina urbanística.	

Tabla Número 12. Clasificación del sistema de núcleos urbanos e infraestructuras

El tercero y posiblemente el más relevante es el medio físico, el cual está constituido por el territorio y sus recursos, tal como se encuentra en la actualidad. En la siguiente tabla se puede apreciar sus subdivisiones posteriores.



SUBSISTEMA FÍSICO NATURAL	MEDIO INERTE	Aire.	Nivel de monóxido de carbono. Nivel de óxidos de nitrógeno. Nivel de óxidos de azufre. Nivel de hidrocarburos. Nivel de otros contaminantes. Confort sonoro diurno. Confort sonoro nocturno.
		Clima.	Régimen térmico. Régimen pluviométrico. Régimen de vientos. Régimen de radiación. Índices de aptitud climática.
		Tierra/Suelo.	Relieve y carácter topográfico. Recursos minerales. Recursos culturales. Contaminación del suelo y subsuelo. Capacidad agrícola del suelo.
		Agua.	Cantidad del recurso. Régimen hídrico. Calidad físico-química. Calidad biológica. Distribución en el terreno. Temperatura.
		Procesos.	Dinámica de cauces. Salinización. Transporte de sedimentos. Eutrofización. Incendios. Dinámica litoral. Recarga de acuíferos. Drenaje superficial. Inundaciones. Erosión. Deposición, sedimentación y precipitación. Estabilidad: deslizamientos, desprendimientos, hundimientos. Compactación y asiento.
	MEDIO BIÓTICO	Vegetación.	Especies vegetales protegidas. N.º unidades de vegetación natural. Praderas. Majadales. Pastizales. N.º unidades de cultivos.
		Fauna.	Especies protegidas y/o singulares. Especies y poblaciones en general. Corredores. Puntos de paso o rutas migratorias. N.º de hábitats faunísticas de especies silvestres.
		Procesos del Medio Biotico.	Cadenas alimentarias. Ciclos de reproducción. Movilidad de especies. Pautas de comportamiento. Perturbaciones.
		Ecosistemas Especiales.	
	MEDIO PERCEPTUAL	Paisaje intrínseco.	N.º de unidades de paisaje.
		Intervisibilidad.	Potencial de vistas. Incidencia visual.
		Componentes singulares del paisaje.	Componentes singulares naturales. Componentes singulares artificiales.
	USOS SUELO RÚSTICO	Recreativo al aire libre.	Caza. Pesca. Baño. Áreas de picnic, excursiones, etc. Acampada.
		Productivo.	Uso agrícola. Uso ganadero. Uso forestal. Minas y canteras. Uso industrial.
		Conservación de la naturaleza.	Espacios protegidos.
		Viviario rural.	Vías pecuarias y descentradas. Caminos, sendas o atajos.

Tabla Número 13. Clasificación del sistema físico natural

### 3.3. DEFINICIÓN DE COMPONENTES

La elección de los factores ambientales y sus componentes, se realiza en función de las acciones impactantes, tanto en la fase de extracción como en la fase de recuperación, que provocan las industrias extractivas de áridos. En función de la escala de trabajo a nivel regional, los componentes a utilizar, tienen que ser acordes con los datos de estudio disponibles, además de poderse plasmar en herramientas tipo SIG, es decir deben ser datos con vinculación geográfica. Fruto de la investigación realizada, a continuación, se establecen los componentes más significativos en los estudios de impacto ambiental en ámbitos mineros y que en definitiva constituyen la propuesta metodológica de esta investigación. Como se puede comprobar en la siguiente tabla sólo se usan tres niveles de desagregación, por considerarse más que suficiente.

SUBSISTEMA FÍSICO NATURAL	MEDIO INERTE	Aire
		Tierra-suelo
		Agua
	MEDIO BIÓTICO	Vegetación
		Fauna
		Ecosistemas especiales
	MEDIO PERCEPTUAL	Paisaje
		Recursos científico-culturales
	USOS DEL SUELO	Productivo
	SUBSISTEMA SOCIOECONÓMICO	POBLACIÓN
SUBSISTEMA DE NUCLEOS E INFRAESTRUCTURAS	INFRAESTRUCTURAS Y SERVICIOS	Infraestructura viaria
	ESTRUCTURA URBANA	Planeamiento urbanístico

Tabla Número 14. Clasificación de los componentes utilizados en la investigación.

#### 3.3.1. Aire

Este factor se refiere a la calidad del aire expresada en términos del grado de pureza de los niveles de inmisión de los contaminantes existentes, incluyendo la energía disipada en forma de ruido.

La minería afecta a este componente fundamentalmente por la emisión de partículas sólidas, polvo, gases y contaminación acústica durante los procesos de aperturas de huecos, acopios de materiales, creación de escombreras y por el tráfico de maquinaria pesada de carga y transporte.

#### 3.3.2. Tierra-suelo

En el estudio de la Tierra hay que distinguir el suelo como parte sólida de la corteza terrestre y el suelo como soporte de la vegetación. El primero se interpreta a través de tres factores, los materiales, las formas y los procesos, esto queda recogido en los mapas geomorfológicos.

Los materiales pueden ser afectados en sus propiedades y características, tanto para las rocas del sustrato como para los materiales de cobertura, en su potencial de aprovechamiento de recursos minerales no renovables y en los recursos culturales, sitios o lugares de especial interés geológico, geomorfológico o paleontológico.



La minería afecta a este componente de forma irreversible el suelo fértil por la creación de huecos, escombreras, construcción de pistas, edificios y plantas de tratamiento. Tiene efectos negativos edáficos en el entorno de la explotación debido a la acumulación de residuos, elementos finos y polvo.

### **3.3.3. Agua**

Es uno de los recursos más valioso del medio ambiente, el agua se encuentra relacionado con la mayoría de los factores ambientales y condiciona la existencia de los componentes. En su estudio se puede tratar como recurso y como ecosistema, donde se desarrolla la vida de vegetales y animales. El agua se presenta en aguas continentales superficiales y subterráneas y agua marina.

La minería afecta las aguas superficiales provocando turbiedad por partículas sólidas, elementos tóxicos disueltos, acidificación derivada de la oxidación e hidratación de elementos piríticos, etc. Todo esto derivado de las escombreras, tráfico de maquinaria, implantación de viales e infraestructuras.

Los acuíferos se pueden ver alterados en su régimen de caudales derivados de la creación de huecos, excavaciones y bombeos de agua de las labores efectuadas por debajo del nivel freático y contaminación de acuíferos por aceites e hidrocarburos procedentes de la maquinaria pesada.

### **3.3.4. Vegetación**

La vegetación es uno de los indicadores más importantes de las condiciones ambientales del territorio, del estado del ecosistema, porque es el resultado de la interacción entre los demás componentes del medio, el productor primario del que dependen, directa o indirectamente, todos los demás organismos y contiene gran información del conjunto. Su estabilidad en el espacio permite identificar unidades cuya fisonomía y composición florística se corresponde con unas condiciones ecológicas homogéneas. La vegetación es fácilmente reconocible y cartografiable por técnicas de teledetección.

La minería afecta a la vegetación eliminando o reduciendo la cobertura vegetal, provoca dificultades para la regeneración de la vegetación, por la pérdida de elementos fértiles, debido a los aumentos drásticos de la pendiente y de la erosión.

### **3.3.5. Fauna**

Es un factor difícil de cartografiar, valorar y predecir su evolución, debido a su movilidad en el espacio y en el tiempo, a la diferencia que puede existir entre lugares de alimentación, nidificación, reproducción o estancia, a la enorme cantidad de especies existentes difíciles de detectar por percepción remota o teledetección y al carácter migratorio de muchas de ellas. Su estudio se facilita gracias a que muchas comunidades faunísticas están ligadas a determinados biotopos, a la vegetación existente, a la geomorfología, por la existencia de agua, o por actuaciones antrópicas. También existen especies que son indicadores de la comunidad y el estado de conservación del medio. En este punto toman relevancia los ecosistemas especiales.

La minería afecta a la fauna principalmente al alterar sus hábitats vegetales terrestres, desplazamientos o concentración de especies o individuos, por la apertura de huecos, la apertura de pistas y sobre todo por la creación de escombreras, además de cambios en las pautas de comportamiento de la fauna por las perturbaciones causadas por el tráfico de maquinaria pesada y por la creación de pistas e infraestructuras. [14]



### 3.3.6. Paisaje

Este componente es un factor del medio, un recurso, cada vez más escaso, difícilmente renovable y fácilmente depreciable. Por paisaje entendemos la expresión externa y perceptible del medio. El estudio del paisaje presenta dos enfoques principales. Uno considera el *paisaje total* e identifica el paisaje con el conjunto del medio, contemplando a éste como indicador y síntesis de las interrelaciones entre los elementos inertes (rocas, agua y aire), y vivos (plantas, animales y hombre), del medio. Otro considera el *paisaje visual*, como expresión de los valores estéticos, plásticos y emocionales del medio natural. En este enfoque el paisaje interesa como expresión espacial y visual del medio. Para su valoración hay que tener en cuenta:

- *La visibilidad*

Se refiere al territorio que puede apreciarse desde un punto o zona determinado (cuenca visual)

- *La calidad paisajística*

Incluye tres elementos de percepción:

- Características intrínsecas del punto (morfología, vegetación, presencia de agua, ...)
- Calidad visual del entorno inmediato (500 – 700 m), (litología, formaciones vegetales, grandes masas de agua...)
- Calidad del fondo escénico (intervisibilidad, altitud, formaciones vegetales y su diversidad, geomorfología...)

- *La fragilidad*

Es la capacidad del paisaje, para absorber los cambios que se produzcan en él. Está conceptualmente unida a los atributos anteriormente descritos.

- *Frecuentación humana*

La población afectada incide en la calidad del paisaje, por lo que se tendrán en cuenta núcleos urbanos, carreteras, puntos escénicos, zonas de población temporal dentro de la zona de visibilidad. [7]

La minería origina perturbaciones de carácter global en el paisaje, generalmente grave en el caso de escombreras, severa en el caso de los huecos de explotación y temporales en los impactos de construcciones, edificios y la implantación de infraestructuras.

### 3.3.7. Uso del suelo

Las modificaciones de los factores ambientales acaban afectando a los usos del suelo, la capacidad agrológica de los suelos es la adaptación que presentan estos a determinados usos específicos. Nos da la información acerca de la aptitud para el cultivo de la zona considerada. El territorio se clasifica según las limitaciones que presenta respecto a los usos agrícolas, praterales y forestales.

Este factor se incluye en el subsistema físico-natural, pero se puede incluir en el socioeconómico, porque el uso del suelo no es sino la expresión física de una actividad económica, por esta razón el suelo rústico productivo lo desglosamos en los siguientes subfactores:

- Uso agrícola
- Uso ganadero



- Uso forestal
- Minas y canteras
- Uso industrial.

Es evidente que la actividad minera, sino se desarrolla en una zona específica para esta, necesita un cambio de clasificación del mismo y sus grados de protección.

### **3.3.8. Población**

La población es el eje básico de todo el sistema socioeconómico, es el receptor último de las variaciones y alteraciones derivadas de los otros componentes del medio. Es la fuerza del trabajo, la productora de bienes de equipo y servicios, la consumidora y protagonista de actividades culturales y relaciones sociales. La actitud de la población respecto a un proyecto determinado, da origen a un importante factor ambiental denominado *aceptación social*. La determinación del volumen de la población afectada, sus características estructurales, cualitativa y cuantitativamente, así como su tendencia evolutiva, son los parámetros necesarios para establecer una proyección demográfica. Esto es importante en aquellas áreas con demografía en declive como son las zonas rurales deprimidas, donde el mantenimiento de unos efectivos poblacionales mínimos, son necesarios para la conservación de ecosistemas y paisajes.

Los proyectos mineros, que logran aceptación social, tienen impacto positivo económicamente hablando y de forma negativa, puede haber alteración de lugares significativos como son los de patrimonio cultural y social por su valor singular.

### **3.3.9. Infraestructura viaria**

La red de carreteras y comunicaciones, se puede ver alterada por el establecimiento de un proyecto de estas características. Estas vías pueden ser estatales, autonómicas o locales. Hay que tener en cuenta la normativa específica de cada una en materia de zonas de servidumbre, zona de dominio público, zona de afección y la conexión de nuevos viales e instalación de edificaciones necesarias para el proyecto a ejecutar.

La actividad minera conlleva el aumento de la densidad de tráfico sobre las vías públicas pone en peligro a la población ante posible aumento de accidentes, deterioro de firmes y embarrado de carreteras. También zonas deprimidas se pueden ver beneficiadas por la construcción de nuevas infraestructuras necesarias para el desarrollo de dicha actividad.

### **3.3.10. Planeamiento urbanístico**

Para la apertura de un proyecto minero, la viabilidad de esta tiene que pasar tres filtros básicos legislativos, la legislación minera, la legislación ambiental y la legislación urbanística. Por una parte, están las parcelas catastrales, que nos dan información de sus propietarios, para proceder a su compra o arrendamiento y por otra la clasificación de los suelos, que los ayuntamientos con planeación urbanística los tendrán des arrollado y los que no, hay que consultar las normas subsidiarias de la comunidad autónoma, lo que necesitamos saber es la compatibilidad urbanística de la actividad que se pretende instalar.

En ocasiones el proyecto minero necesita un cambio de la disposición del suelo, donde zonas de suelo rústico con algún tipo de protección, son desprotegidos debido al impacto positivo del proyecto y en la fase de restauración se producen cambios de uso que revalorizan el valor del mismo.



### 3.4. PROPUESTA METODOLOGICA

La propuesta metodológica se basa en el algebra de mapas, que es una de las potencialidades de las herramientas SIG. Se pretende realizar un modelo gráfico para el cálculo, a escala regional, del índice de impacto ambiental que una explotación de extracción de áridos o rocas ornamentales produce en su localización y su zona de influencia, el cual sirve para ser introducido en la fórmula de cálculo del índice de explotabilidad del proyecto, siempre a escala regional y poder realizar una primera selección antes de introducir el proyecto a una escala local.

El modelo se construye alrededor del impacto sobre 12 componentes del medio, propuestos en el epígrafe anterior y que constituyen los más significativos en el ámbito de estudio. En primera instancia se realizará un mapa de zonificación de cada impacto para cada componente del medio ambiente elegido, una vez obtenidos los mapas de impacto, se realizará una superposición aritmética de todos los mapas obtenidos.

Para la superposición se propone utilizar el operador suma, pero ponderada por un factor de peso. Este coeficiente de ponderación se introduce debido a que todos los impactos posibles no pueden tener el mismo grado de afección, ya que unos son reversibles y otros no lo son, en otros se pueden introducir medidas correctoras y en otros no es posible, etc.

La expresión aritmética es la siguiente:

$$\text{modelo impacto total} = \sum_i^n K_i * \text{mapa impacto parcial}_i$$

$K$  = coeficiente de ponderación (%) / 100

Mapa impacto parcial = mapa de impacto de cada componente

El factor de peso se introduce en tanto por uno para no variar la escala de valores

Para obtener este factor de ponderación se realiza una matriz de pares comparados y su matriz normalizada para realizar un proceso analítico jerárquico (método multicriterio AHP de Thomas Saaty).

El AHP permite realizar mediciones de factores tanto subjetivos como objetivos a partir de estimaciones numéricas, verbales o gráficas, lo cual le provee una gran flexibilidad, permitiendo esto, gran variedad de aplicaciones en campos tan distintos unos de otros.

El hecho de tener definida una escala general, aplicable a cualquier situación, permite la universalidad del método y lo hace sencillo de aplicar para quien toma la decisión [17]. Además, la escala es clara y provee una gran amplitud para las comparaciones.

Los valores de importancia elegidos para realizar la matriz se corresponden con la siguiente relación propuesta por el autor, en la que los valores 2, 4, 6 y 8 se utilizan cuando no se puede definir con claridad la preferencia entre los factores.



ESCALA	DEFINICIÓN	EXPLICACIÓN
1	Igual importancia	Los dos criterios contribuyen igual al objetivo
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen un poco a un criterio frente al otro
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un criterio frente al otro
7	Importancia muy grande	Un criterio es favorecido muy fuertemente sobre el otro. En la práctica se puede demostrar su dominio
9	Importancia extrema	La evidencia favorece en la más alta medida a un factor frente al otro

Tabla Número 15. Escalas de comparación de Saaty [20].

Una vez se han definido los componentes de la matriz, se realiza el análisis por pares, es decir, se comparan cada una de las alternativas frente a cada uno de los criterios de manera biunívoca, es decir, par a par. Después de haber realizado las comparaciones de todos los factores, estas matrices son normalizadas, es decir, se divide cada término de la matriz sobre la suma de sus columnas.

Una vez normalizada la matriz de comparaciones pareadas, se suman sus filas y se promedia cada suma para obtener el vector media de sumas o de prioridades globales. Se realiza el producto de la matriz original por el vector de prioridades globales o media de sumas y se obtiene el vector fila total, este vector fila se divide por el vector de prioridades globales o media de sumas calculado anteriormente, obteniendo de este cociente una matriz columna. Se suman todos los elementos de esta matriz columna y se promedia. El número promedio obtenido es,  $\lambda_{max}$ .

Calculado  $\lambda_{max}$  y teniendo en cuenta el número de variables utilizadas (n) en la matriz, se calcula el coeficiente de inconsistencia (CI).

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)}$$

El CI obtenido se compara con los valores aleatorios de CI, que son el valor que debería obtener CI si los juicios numéricos introducidos en la matriz original (la que está midiendo su consistencia) fueran aleatorios dentro de la escala 1/9, 1/8, 1/7...1/2, 1, 2, ...7,8,9. Los valores de la consistencia aleatoria en función del rango de la matriz son los que aparecen en la siguiente tabla:



n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ICA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535

Tabla Número 16. Valores de la consistencia aleatoria (Aguarón y Moreno Jiménez, 2001) [2]

En función de n se elige la consistencia aleatoria apropiada. El cociente entre el CI calculado y la consistencia aleatoria, dará la ratio de consistencia (RC).

$$RC = \frac{CI}{ICA}$$

Se considera que existe consistencia cuando no se superan los porcentajes que aparecen en la tabla:

TAMAÑO DE LA MATRIZ	RATIO DE CONSISTENCIA
3	≤ 5%
4	≤ 9%
≥ 5	≤ 10%

Tabla Número 17. Consistencia en función del tamaño de la matriz. (Aznar, J. y Guijarro, F. 2005) [1]

Es claro, que el método propone una solución, pero quien finalmente toma la decisión es la persona o grupo encargado de hacerlo. Antes de concluir este análisis, debe calcularse el coeficiente de consistencia, el cual valida que los juicios no tengan errores entre ellos, es decir, que no se haya producido contradicciones en los mismos. Un valor de este coeficiente menor o igual a 0.10 es considerado aceptable. Para aquellos casos en que sea mayor, las opiniones y los juicios deben ser reevaluados.

Lo que permite definir una escala de trabajo para dar valores a las áreas de influencia que se pretende utilizar en cada componente del medio ambiente elegido para el modelo, considerándose de forma habitual los valores de impacto recogidos en la siguiente tabla:

CRITERIO	VALOR
MUY BAJO	1
BAJO	2
MODERADO	3
ALTO	4
MUY ALTO	5

Tabla Número 18. Índice de impacto ambiental



## 4. RESULTADOS

### 4.1. INTRODUCCIÓN

El ensayo de la metodología propuesta se desarrolla para el estudio de ofitas en Cantabria, dado que es un importante recurso económico existente en la región, para su uso como áridos para carreteras y balasto para ferrocarriles. Para ello se parte del estudio de evaluación de los afloramientos de ofitas de Cantabria, para su uso como árido, realizado por la profesora Dña. Gema Fernández Maroto.

La metodología propuesta en su investigación, ampliamente desarrollada en el estado del arte, no busca la mejor ubicación, como se valora en la mayoría de los estudios existentes. Lo que hace es dotar de un índice de explotabilidad al recurso dentro de su ubicación geográfica, en base a una serie de criterios.

Dentro de estos criterios el más importante es el impacto ambiental, el cual, en el estudio citado se le da mayor peso, pero se estima que los componentes tomados en él, se deben desagregar con más detalle, que es lo que precisamente se ha realizado en esta investigación. Esto permitirá, partiendo de unos resultados previos, reintroducir en la matriz los nuevos datos, fruto de la presente investigación y comparar las diferencias, si las hubiere y analizar si la metodología propuesta en este estudio, implementada en SIG, es válida.

### 4.2. ÁMBITO DE REFERENCIA, AFLORAMIENTOS Y DATOS GEOGRÁFICOS

La escala de trabajo va a ser regional y para ciertos parámetros municipal. Partimos del estudio de todos los afloramientos ofíticos de Cantabria realizado por la profesora Dña. Gema Fernández Maroto, en el que se hace una agrupación de los afloramientos siguiendo criterios de proximidad y semejanza, estableciendo las siguientes zonas:

- 1- ZONA DE LAREDO. Esta engloba los afloramientos más al norte de la región, diferenciándose cuatro afloramientos distintos.
  - L1 (El Canto)
  - L2 (Peña Lucía)
  - L3 (Colindres)
  - L4 (Limpias)
- 2- ZONA DE OREJO. Esta zona agrupa los siguientes cinco afloramientos.
  - O1 (Orejo)
  - O2 (Solares)
  - O3 (Sobremazas)
  - O4 (Anaz)
  - O5 (Hermosa)
- 3- ZONA DE CENTRO. Podemos distinguir los cuatro afloramientos.
  - C1 (San Román)
  - C2 (Esles)
  - C3 (Sandoñana)



- C4 (Escobedo)
- 4- ZONA DE ALSA.
- A1 (Cueto Pando)
  - A2 (Embalse del Alsa)
- 5- ZONA DEL EBRO. Aquí se encuentran los afloramientos cercanos al embalse del Ebro.
- E1 (Embalse del Ebro)
  - E2 (La Población)
- 6- ZONA SUR. Esta zona se concentran el mayor número de afloramientos.
- S1 (San Martín de Hoyos)
  - S2 (Olea)
  - S3 (Castrillo del Haya)
  - S4 (Rebolledo)
  - S5 (Camesa)
  - S6 (Matarrepudio)
  - S7 (El Haya)

Para implementarlos en SIG, se introducen como un punto por sus coordenadas UTM30, y con estos confeccionamos el siguiente mapa base del trabajo:

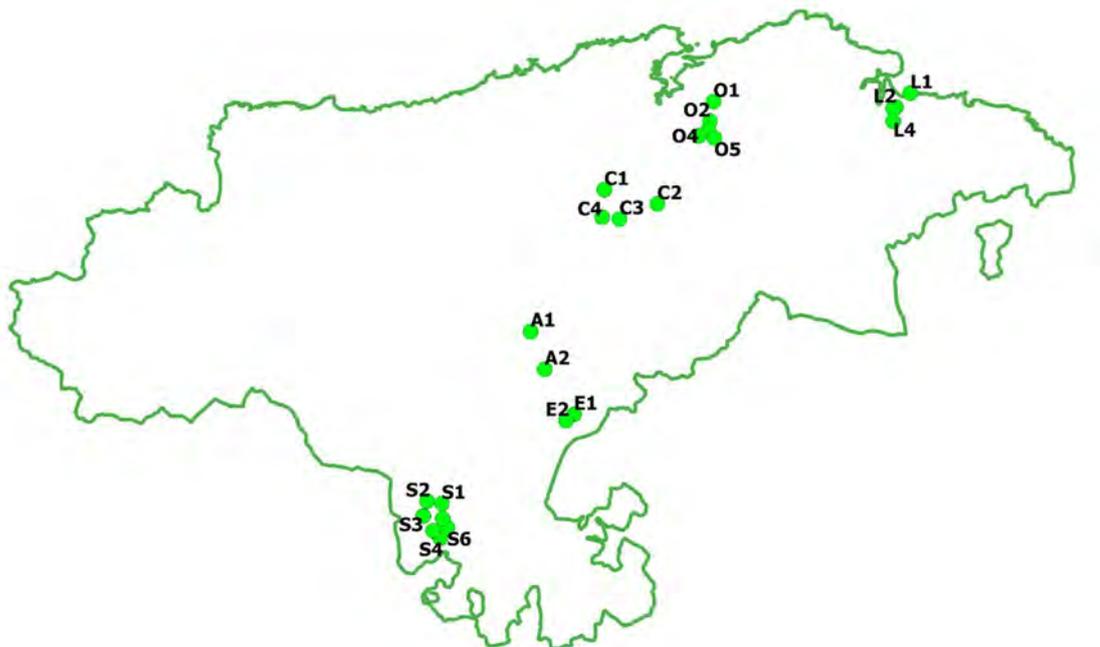




Figura Número 14. Mapa nº1 de afloramientos.

Lo cual también se puede visualizar en la siguiente tabla resumen:

ZONA	NOMBRE	X UTM30	Y UTM30	PONDERACIÓN						le Total	VALORACIÓN TOTAL
				1	2	3	2	3	5		
				JERARQUIZACIÓN							
				Morf	Distcar	DistFC	Meteor	Reserv	Impac		
LAREDO	L1	466.596	4.807.248	0	1	2	3	2	4	62,50	Malo
	L2	464.736	4.805.381	0	0	1	2	2	4	51,56	Aceptable
	L3	464.373	4.805.197	2	0	1	3	3	4	62,50	Malo
	L4	464.370	4.803.527	2	0	1	3	4	4	67,19	Malo
OREJO	O1	440.996	4.806.134	2	0	1	3	0	4	48,44	Aceptable
	O2	440.544	4.803.559	2	0	0	4	3	4	60,94	Malo
	O3	440.314	4.802.393	3	1	1	4	4	2	59,38	Aceptable
	O4	439.051	4.801.610	3	1	1	3	4	2	56,25	Aceptable
	O5	441.103	4.801.335	0	1	1	3	0	2	32,81	Bueno
CENTRO	C1	426.780	4.794.575	2	0	1	4	0	2	35,94	Bueno
	C2	433.684	4.792.702	1	0	3	3	0	0	25,00	Bueno
	C3	428.748	4.790.714	1	0	2	3	0	2	35,94	Bueno
	C4	426.511	4.790.954	1	0	1	2	0	2	28,13	Bueno
ALSA	A1	417.193	4.775.999	2	1	1	4	0	0	23,44	Bueno
	A2	419.030	4.771.093	2	1	4	4	4	1	64,06	Malo
EBRO	E1	422.833	4.765.166	2	0	3	3	2	4	67,19	Malo
	E2	421.818	4.764.334	2	0	3	3	3	4	71,88	Malo
SUR	S1	405.647	4.753.471	2	2	2	2	0	0	25,00	Bueno
	S2	403.719	4.753.778	1	1	2	2	0	1	28,13	Bueno
	S3	403.213	4.751.824	2	0	1	1	2	0	20,31	Aceptable
	S4	405.430	4.748.928	1	1	1	2	4	1	42,19	Aceptable
	S5	404.522	4.749.890	1	1	1	2	4	1	42,19	Aceptable
	S6	406.357	4.750.296	2	1	0	1	2	0	18,75	Muy Bueno
	S7	405.756	4.751.498	2	1	1	2	2	4	57,81	Aceptable

Tabla Número 19. Índice de explotabilidad de los distintos afloramientos (Fernández Maroto. G)

### 4.3. MATRIZ DE PARES COMPARADOS Y PONDERACIÓN DE FACTORES

La matriz de pares comparados es una matriz cuadrada, que cumple con las siguientes propiedades:

- Reciprocidad, si  $a_{ij} = x$ , entonces  $a_{ji} = \frac{1}{x}$
- Homogeneidad, si i y j son igualmente importantes, entonces  $a_{ij} = a_{ji} = 1$ , además,  $a_{ii} = 1$  para todo i.
- Consistencia, la matriz no debe contener contradicciones en la valoración realizada.

En este caso se comparan componentes de igual nivel jerárquico y se han establecido las relaciones de pares, en base a la experiencia adquirida, siguiendo criterios de



importancia de un elemento sobre otro, según aspectos concernientes a la legislación vigente, a la duración de los impactos y de las medidas correctoras que se puedan aplicar para minimizar dichos impactos.

Una vez confeccionada la matriz de pares comparados, se normaliza estableciendo una nueva matriz del mismo orden que la matriz comparada, para obtener los componentes de la nueva matriz cada  $a_{ij}$  de esta matriz es igual a cada  $a_{ij}$  de la matriz comparada dividido por la suma total de los valores de la columna de la matriz comparada, que le corresponde. Una vez confeccionada la nueva matriz, se realiza la media aritmética de cada fila y se obtiene el vector columna con los valores de ponderación, la suma de todos los valores de este vector columna debe ser igual a la unidad. Posteriormente se comprueba la razón de consistencia de la matriz normalizada y una vez comprobada la consistencia se calcula el vector propio de la matriz normalizada, siguiendo el proceso descrito en la propuesta metodológica de esta investigación.

En las siguientes tablas se reflejan los resultados obtenidos:



MATRIZ DE COMPARACIÓN PAREADA DE FACTORES												
	AIRE	TIERRA-SUELO	AGUA	VEGETACION	FAUNA	ECOSISTEMAS ESPECIALES	PAISAJE	PRODUCTIVO	ZONAS DE INTERES CULTURAL Y CIENTIFICO	DENSIDAD DE POBLACIÓN	INFRAESTRUCTURA VIARIA	PLANEAMIENTO URBANISTICO
AIRE	1	1	1/3	1/3	1/3	1/5	1/3	1	1/5	1	1	1/5
TIERRA-SUELO	1	1	1/3	1	1	1/5	1/2	2	1/5	2	1/2	1/5
AGUA	3	3	1	2	1	1/5	3	3	1/2	2	5	1/3
VEGETACION	3	1	1/2	1	1	1/5	2	2	1/3	2	2	1/3
FAUNA	3	1	1	1	1	1/4	2	2	1/3	2	2	1/3
ECOSISTEMAS ESPECIALES	5	5	5	5	5	1	5	5	1	5	5	5
PAISAJE	3	2	1/3	1/2	1/2	1/5	1	3	1/4	2	3	2
PRODUCTIVO	1	1/2	1/3	1/2	1/2	1/5	1/3	1	1/4	1	2	1/3
ZONAS DE INTERES CULTURAL Y CIENTIFICO	5	5	4	4	4	1	4	5	1	5	5	4
DENSIDAD DE POBLACIÓN	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1/5	1/2	1	1/5	1	1/2	1/4
INFRAESTRUCTURA VIARIA	1	2	1/5	1/2	1/2	1/5	1/3	1/2	1/5	2	1	1/3
PLANEAMIENTO URBANISTICO	5	5	3	3	3	1/5	1/2	3	1/4	4	3	1
SUMA TOTAL	32,00	27,00	16,53	19,33	18,33	4,05	19,50	28,50	4,72	29,00	30,00	14,32

Tabla Número 20. Matriz de pares comparados.



MATRIZ DE PARES COMPARADOS NORMALIZADA													PROMEDIO	VECTOR PROPIO
AIRE	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,05	0,02	0,04	0,04	0,03	0,03	0,01	2,91%	2,74%
TIERRA-SUELO	0,03	0,04	0,02	0,05	0,05	0,05	0,03	0,07	0,04	0,07	0,02	0,01	4,02%	3,76%
AGUA	0,09	0,11	0,06	0,10	0,05	0,05	0,15	0,11	0,11	0,07	0,17	0,02	9,14%	8,85%
VEGETACION	0,09	0,04	0,03	0,05	0,05	0,05	0,10	0,07	0,07	0,07	0,07	0,02	5,99%	5,75%
FAUNA	0,09	0,04	0,06	0,05	0,05	0,06	0,10	0,07	0,07	0,07	0,07	0,02	6,35%	6,18%
ECOSISTEMAS ESPECIALES	0,16	0,19	0,30	0,26	0,27	0,25	0,26	0,18	0,21	0,17	0,17	0,35	22,95%	24,08%
PAISAJE	0,09	0,07	0,02	0,03	0,03	0,05	0,05	0,11	0,05	0,07	0,10	0,14	6,74%	6,75%
PRODUCTIVO	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,02	0,04	0,05	0,03	0,07	0,02	3,35%	3,20%
ZONAS DE INTERES CULTURAL Y CIENTIFICO	0,16	0,19	0,24	0,21	0,22	0,25	0,21	0,18	0,21	0,17	0,17	0,28	20,55%	21,14%
DENSIDAD DE POBLACIÓN	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	2,95%	2,87%
INFRAESTRUCTURA VIARIA	0,03	0,07	0,01	0,03	0,03	0,05	0,02	0,02	0,04	0,07	0,03	0,02	3,52%	3,30%
PLANEAMIENTO URBANISTICO	0,16	0,19	0,18	0,16	0,16	0,05	0,03	0,11	0,05	0,14	0,10	0,07	11,52%	11,37%
													100,00%	100,00%

$\lambda$ max	13,25
INDICE DE CONSISTENCIA	0,11
INDICE ALEATORIO	1,535
RAZON DE CONSISTENCIA	0,074

Tabla Número 21. Matriz normalizada, razón de consistencia y vector propio.



Como la razón de consistencia obtenida es  $0.074 < 0.10$ , la matriz es consistente, por lo que los criterios de jerarquización aplicados son asumibles. Igualmente, con la función estadística MMULT de la hoja de cálculo Excel, hallamos el vector propio. Este se realiza multiplicando la matriz por ella misma, se suman las filas y se normaliza cada uno de los elementos con lo que se obtiene una matriz columna y este es el vector propio aproximado de la matriz inicial. Se repite la operación anterior hasta que el vector propio no se diferencie del anterior hasta la cuarta cifra decimal, para lograr una aproximación suficiente del vector propio buscado. En este caso, se encuentra en la tercera iteración, con lo que los valores de este vector son los pesos a utilizar en el álgebra de mapas del modelo. El vector propio obtenido indica el peso o importancia relativa que cada uno de los criterios utilizados tiene en la valoración del modelo.

A continuación, se define la escala de trabajo para dar valores a las áreas de influencia que se pretende utilizar en cada componente del medio ambiente elegido para el desarrollo del modelo, esta escala es la siguiente:

<b>MUY BAJO</b>	<b>1</b>
<b>BAJO</b>	<b>2</b>
<b>MODERADO</b>	<b>3</b>
<b>ALTO</b>	<b>4</b>
<b>MUY ALTO</b>	<b>5</b>

Tabla Número 22. Índice de impacto ambiental

#### 4.4. DETERMINACION DE LOS MAPAS DE IMPACTO

Para la elaboración de estos mapas, se parte de un mapa común para todos, habitualmente denominado mapa base, que se compone de un plano en formato vectorial, conformado por un polígono de los límites de la provincia, al cual se le da el valor uno al impacto, ya que el impacto nulo no existe.

El segundo mapa de referencia, que sirve para la consulta de los valores de impacto, al proyectarlo sobre los mapas temáticos, es el mapa en formato vectorial de los puntos de afloramiento.

Para la elaboración del resto de los mapas, con los doce componentes del medio elegidos y poder ejecutar el álgebra de mapas, se sigue el siguiente esquema metodológico:

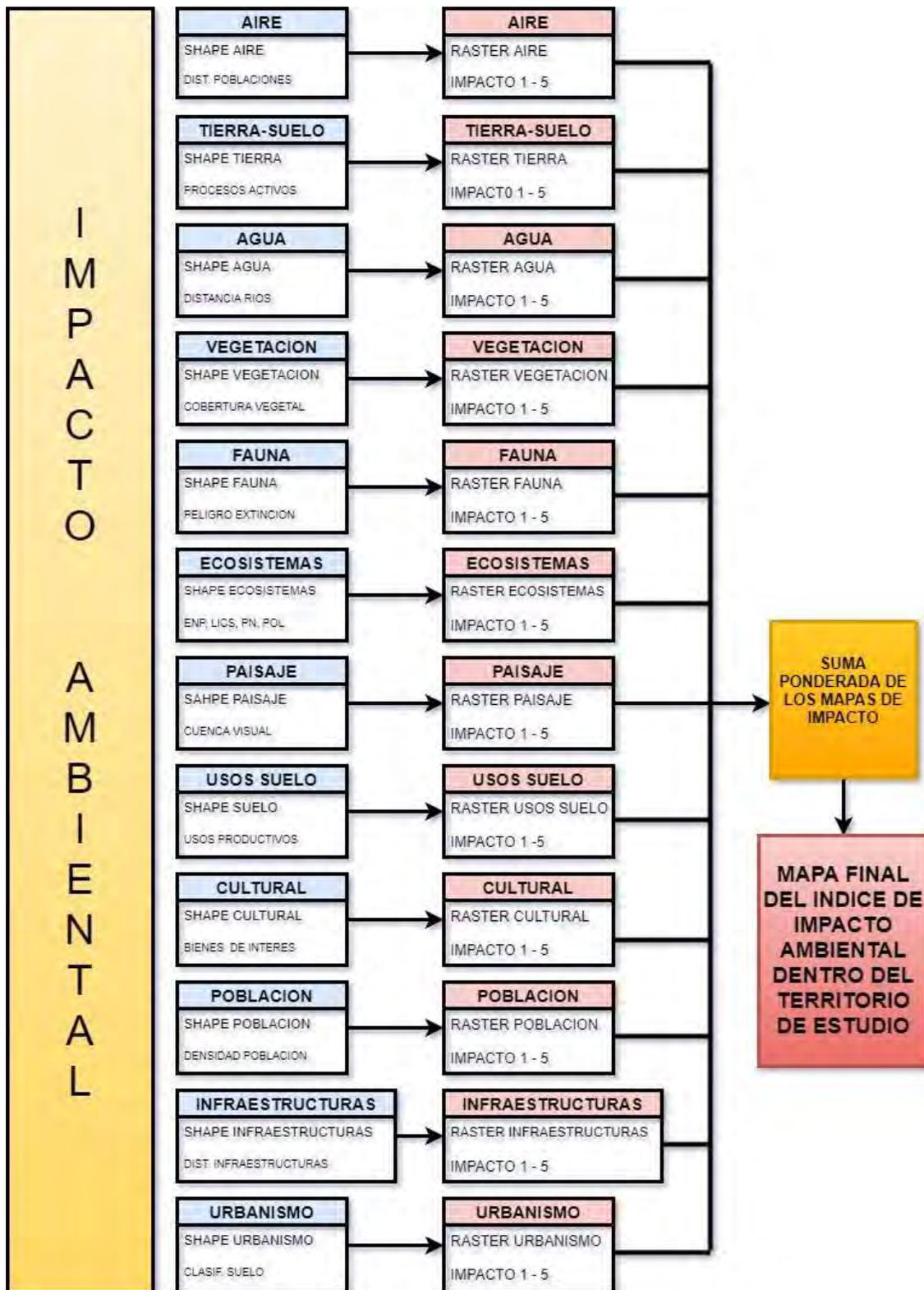


Figura Número 15. Esquema metodológico del álgebra de mapas.



#### 4.4.1. Mapa de impacto Aire.

Una de los principales problemas de una explotación de áridos es la emisión de polvo y gases, aunque existen medidas correctoras, su afección sobre núcleos habitados cercanos es el punto negativo más acusado, que origina rechazo social y este factor es esencial para el desarrollo del proyecto, con lo que la distancia a los núcleos de población es determinante para este componente del medio.

El mapa impacto aire se compone de los siguientes elementos:

- 1- Mapa con el polígono de los límites de la provincia. En su tabla de atributos se crea el campo “valor impacto” y a su entidad se le asigna el valor 1.
- 2- Mapa con los municipios de Cantabria, estos se representan por un punto con sus coordenadas (X, Y, Z) en proyección ETRS89/UTM 30 N EPSG: 25830, este nos sirve para ejecutar 4 buffer de distancias alrededor de dichos puntos.
- 3- Mapa de zona de influencia de un radio de 500, 1500, 2000 y 2500 m alrededor de los núcleos urbanos. A cada uno en su tabla de atributos se le crea el campo “valor impacto” y a su entidad se le asignan los siguientes valores 5, 4, 3 y 2 respectivamente.
- 4- Mapa “aire” que se compone de la unión del “mapa provincia” + “Buffer 500” + “Buffer 1500” + “Buffer 2000” + “Buffer 2500”. Este mapa, en su tabla de atributos, debe tener las siguientes características:

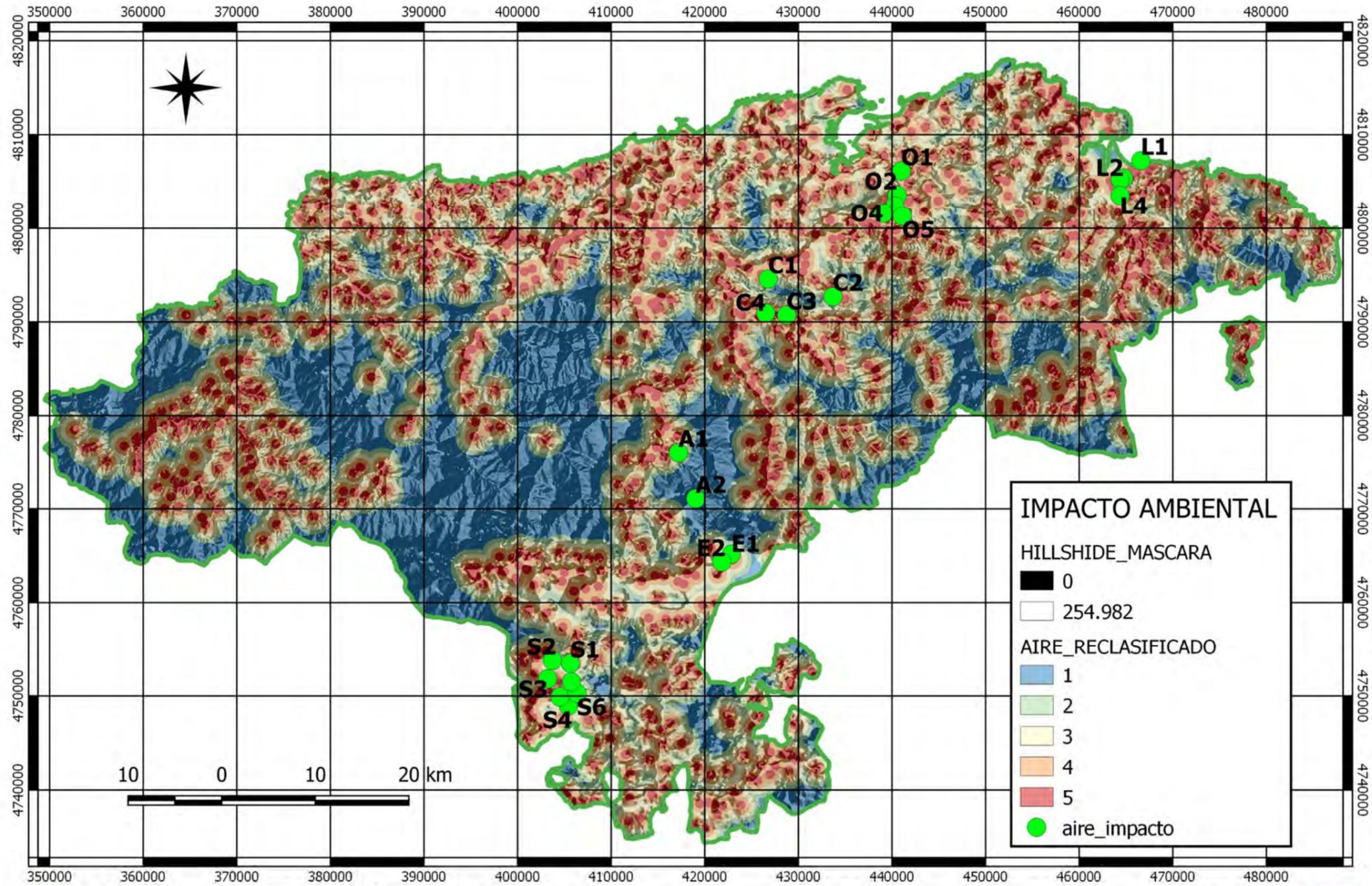
ENTIDAD	VALOR IMPACTO
Buffer 500	5
Buffer 1500	4
Buffer 2000	3
Buffer 2500	2
Resto provincia	1

Tabla Número 23. Índice de impacto ambiental

- 5- Este mapa “aire” se convierte a formato ráster en función del campo “valor impacto”, con lo que se obtiene un mapa con toda su superficie clasificada del 1 al 5 según las zonas definidas anteriormente. obtenido el mapa “Impacto Aire”, este será el utilizado para el álgebra de mapas.
- 6- Para posteriormente poder comprobar los resultados de la metodología, se proyecta el mapa con los puntos de afloramiento sobre el mapa rasterizado “Impacto Aire”, obteniéndose el valor de este impacto para cada punto de afloramiento, que se recoge en la tabla N°38.



El mapa N°1 IMPACTO AIRE es el siguiente:



Nº

Fecha:

Título:

Autor:

Escala:  
1:500000



#### 4.4.2. Mapa de impacto tierra-suelo.

Uno de los problemas que una explotación minera acarrea sobre el terreno, es la incidencia que esta ejerce sobre los aspectos geomorfológicos y sus procesos activos en la zona de ubicación e influencia. Este componente se centra en los procesos geomorfológicos activos que puedan existir en la ubicación de la misma y las consecuencias en su entorno. Hay un aumento de riesgo de los desprendimientos, deslizamientos o hundimientos. También hay un aumento de la carga de sedimentación aguas abajo, producido por la adición de material sólido, derivado de la creación de escombreras, de pistas e infraestructuras hay un aumento de la erosión derivada de todas las operaciones necesarias de la explotación.

Para la elaboración del impacto sobre la tierra-suelo es habitual utilizar la cartografía existente de estos procesos. En el caso de Cantabria se utiliza la base de datos de procesos activos a escala 1:25000 disponible en la página web del territorio Cantabria. Se descarga en formato shape, para poder trabajar con ellas y consultar en su tabla de atributos, donde posteriormente se crea un nuevo campo para introducir el valor de impacto.

Se distinguen y valoran los siguientes procesos que fundamentalmente dependen de la escala de trabajo de impacto, establecida de 1-5:

El mapa impacto tierra-suelo se compone de los siguientes elementos:

- 1- Todas las áreas con descripción “Área con características similares condicionantes de procesos de deslizamiento” y nivel de activación nulo se valoran con valor de impacto 1.

Proceso	Descripción	Genesis	NivelAtn	valor
NULL	Área con características similares condicionantes de procesos de deslizamiento	NULL	NULL	1
NULL	Área con características similares condicionantes de procesos de deslizamiento	NULL	NULL	1
NULL	Área con características similares condicionantes de procesos de deslizamiento	NULL	NULL	1
NULL	Área con características similares condicionantes de procesos de disolución y/o subsidencia	NULL	NULL	1
NULL	Área con características similares condicionantes de procesos de disolución y/o subsidencia	NULL	NULL	1
NULL	Área con características similares condicionantes de procesos de disolución y/o subsidencia	NULL	NULL	1
NULL	Área con características similares condicionantes de procesos de disolución y/o subsidencia	NULL	NULL	1
NULL	Área con características similares condicionantes de procesos de disolución y/o subsidencia	NULL	NULL	1
NULL	Área con características similares condicionantes de procesos de disolución y/o subsidencia	NULL	NULL	1

Figura Número 16. Ejemplo de procesos con valoración de impacto 1.

- 2- El resto de áreas se valoran según su nivel de activación y riesgo. Las cuales tienen su descripción y génesis característica. Los valores utilizados se pueden apreciar en la siguiente tabla:



NIVEL ACTIVACIÓN	VALOR IMPACTO
ALTO	5
NOTABLE	4
MODERADO	3
BAJO	2

Tabla Número 24. Valoración resto de áreas según su nivel de activación.

Proceso	Descripción	Genesis	NivelAtn	valor
3806	42751 Coluvión	Movimientos de ladera	Bajo	2
3807	42751 Coluvión	Movimientos de ladera	Bajo	2
3808	42751 Coluvión	Movimientos de ladera	Bajo	2
3809	60951 Fondo plano de valle secundario	Fluvial y de escorrentía superficial	Bajo	2
3810	61151 Fondo de valle secundario en cuna	Fluvial y de escorrentía superficial	Bajo	2
3811	61151 Fondo de valle secundario en cuna	Fluvial y de escorrentía superficial	Bajo	2
3812	61351 Cono de deyección; abanico aluvial de elevada pendiente	Fluvial y de escorrentía superficial	Bajo	2
3813	61151 Fondo de valle secundario en cuna	Fluvial y de escorrentía superficial	Bajo	2
3814	61151 Fondo de valle secundario en cuna	Fluvial y de escorrentía superficial	Bajo	2
3815	61151 Fondo de valle secundario en cuna	Fluvial y de escorrentía superficial	Bajo	2

Figura Número 17. Ejemplo de procesos con valoración de impacto 2.

6554	41951 Solifluxion/gelifluxion. Cen...	MOVIMIENTOS DE LADERA	Moderado	3
6555	41951 Solifluxion/gelifluxion. Cen...	MOVIMIENTOS DE LADERA	Moderado	3
6556	65651 Arenas eolicas; manto eolico	Inundacion y sedimentacion	Moderado	3
6557	65751 Campo de dunas	Inundacion y sedimentacion	Moderado	3
6558	65751 Campo de dunas	Inundacion y sedimentacion	Moderado	3
6559	65651 Arenas eolicas; manto eolico	Inundacion y sedimentacion	Moderado	3
6560	65651 Arenas eolicas; manto eolico	Inundacion y sedimentacion	Moderado	3
6561	61151 Fondo de valle secundario ...	INUNDACIÓN Y SEDIMENTACIÓN. Fluvial y de escorrentía superficial	Moderado	3
6562	61151 Fondo de valle secundario ...	INUNDACIÓN Y SEDIMENTACIÓN. Fluvial y de escorrentía superficial	Moderado	3

Figura Número 18. Ejemplo de procesos con valoración de impacto 3.



Proceso	Descripcio	Genesis	NivelAtn	valor
9990	60451 Llanura de inundación. Centroide	INUNDACIÓN Y SEDIMENTACIÓN. Fluvial y de escorren*	Notable	4
9991	60451 Llanura de inundación. Centroide	INUNDACIÓN Y SEDIMENTACIÓN. Fluvial y de escorren*	Notable	4
9992	60351 Barra fluvial o de estuario. Centroide	INUNDACIÓN Y SEDIMENTACIÓN. Fluvial y de escorren*	Notable	4
9993	60351 Barra fluvial o de estuario. Centroide	INUNDACIÓN Y SEDIMENTACIÓN. Fluvial y de escorren*	Notable	4
9994	60451 Llanura de inundación. Centroide	INUNDACIÓN Y SEDIMENTACIÓN. Fluvial y de escorren*	Notable	4
9995	61351 Cono de deyección; abanico torrencial. Centroide	INUNDACIÓN Y SEDIMENTACIÓN. Fluvial y de escorren*	Notable	4
9996	60451 Llanura de inundación. Centroide	INUNDACIÓN Y SEDIMENTACIÓN. Fluvial y de escorren*	Notable	4
9997	60951 Fondo plano de valle secundario. Centroide	INUNDACIÓN Y SEDIMENTACIÓN. Fluvial y de escorren*	Notable	4
9998	60351 Barra fluvial o de estuario. Centroide	INUNDACIÓN Y SEDIMENTACIÓN. Fluvial y de escorren*	Notable	4
9999	60451 Llanura de inundación. Centroide	INUNDACIÓN Y SEDIMENTACIÓN. Fluvial y de escorren*	Notable	4
10000	60351 Barra fluvial o de estuario. Centroide	INUNDACIÓN Y SEDIMENTACIÓN. Fluvial y de escorren*	Notable	4

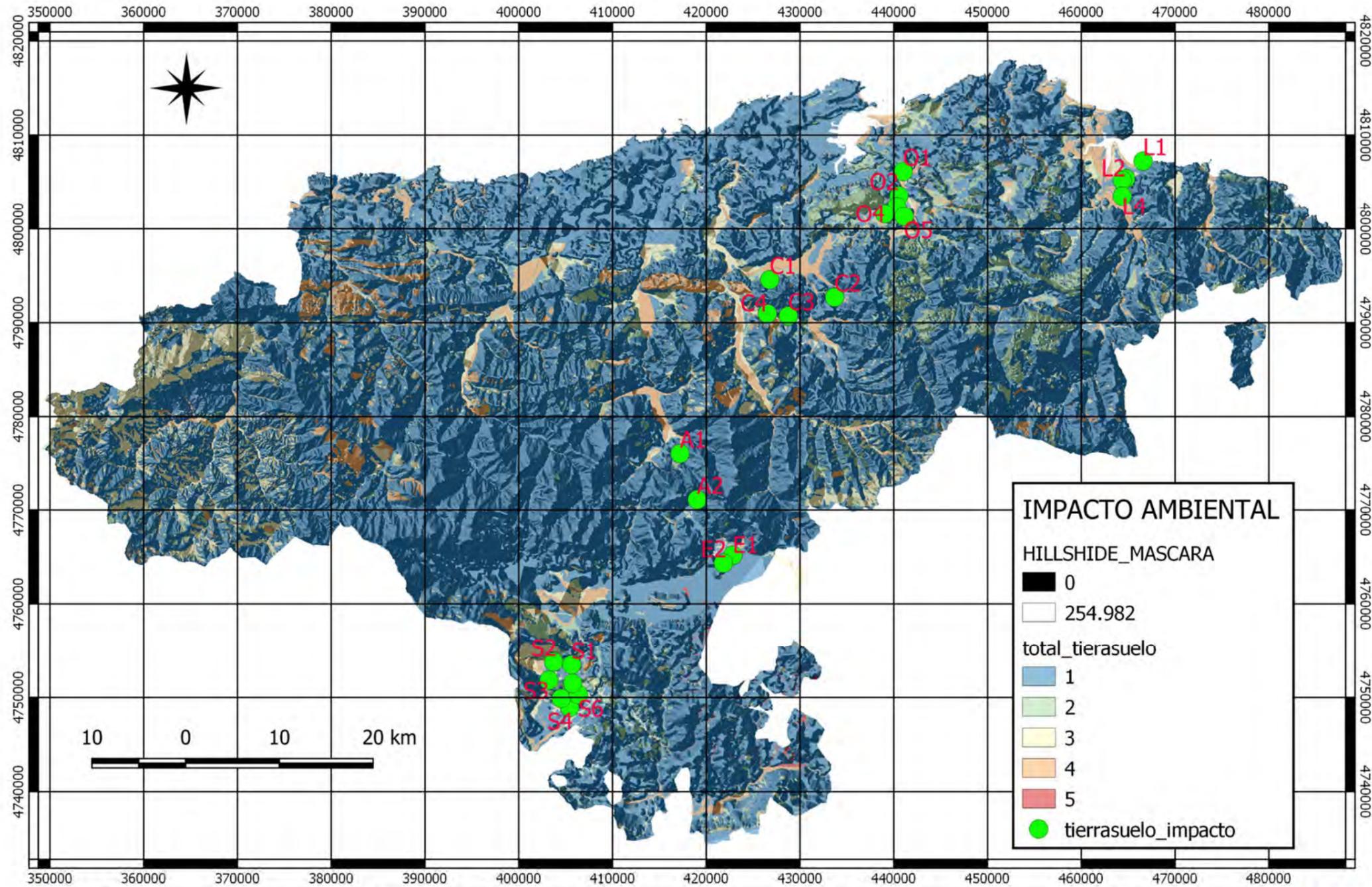
Figura Número 19. Ejemplo de procesos con valoración de impacto 4.

Proceso	Descripcio	Genesis	NivelAtn	valor
2731	61151 Fondo de valle secundario en cuna	INUNDACIÓN Y SEDIMENTACIÓN. Fluvial y de escorrentía superficial	Alto	5
2732	61151 Fondo de valle secundario en cuna	INUNDACIÓN Y SEDIMENTACIÓN. Fluvial y de escorrentía superficial	Alto	5
2733	61151 Fondo de valle secundario en cuna	INUNDACIÓN Y SEDIMENTACIÓN. Fluvial y de escorrentía superficial	Alto	5
2734	61151 Fondo de valle secundario en cuna	INUNDACIÓN Y SEDIMENTACIÓN. Fluvial y de escorrentía superficial	Alto	5
2735	61151 Fondo de valle secundario en cuna	INUNDACIÓN Y SEDIMENTACIÓN. Fluvial y de escorrentía superficial	Alto	5
2736	61151 Fondo de valle secundario en cuna	INUNDACIÓN Y SEDIMENTACIÓN. Fluvial y de escorrentía superficial	Alto	5
2737	61151 Fondo de valle secundario en cuna	INUNDACIÓN Y SEDIMENTACIÓN. Fluvial y de escorrentía superficial	Alto	5
2738	61151 Fondo de valle secundario en cuna	INUNDACIÓN Y SEDIMENTACIÓN. Fluvial y de escorrentía superficial	Alto	5
2739	61151 Fondo de valle secundario en cuna	INUNDACIÓN Y SEDIMENTACIÓN. Fluvial y de escorrentía superficial	Alto	5

Figura Número 20. Ejemplo de procesos con valoración de impacto 5.

- 3- Una vez que se tiene el mapa “procesos activos” en formato vectorial y todas las entidades valoradas, se rasteriza en función del campo valor del impacto. con lo que se obtiene un mapa con toda su superficie clasificada del 1 al 5. Que será el mapa “Impacto tierra-suelo”, con el que se realiza el álgebra de mapas.
- 4- Para posteriormente poder comprobar los resultados de la metodología, finalmente se proyecta el mapa con los puntos de afloramiento sobre el mapa rasterizado “Impacto tierra-suelo” y se obtiene el valor de este impacto para cada punto de afloramiento, recogidos todos ellos en la tabla N°38.

El mapa N°2 IMPACTO TIERRA-SUELO es el siguiente:



Nº

Fecha:

Título:

Autor:

Escala:  
1:500000





#### 4.4.3. Mapa de impacto Agua.

Se produce una alteración permanente de los drenajes superficiales, por la creación de escombreras e infraestructuras, contaminación de las aguas por turbiedad por partículas sólidas, elementos tóxicos disueltos, acidificación derivada de la oxidación e hidratación de elementos pirítricos. Todo derivado de la creación del hueco, escombreras, tráfico de maquinaria pesada y de transporte, el bombeo y descarga de efluentes y la implantación de infraestructuras.

El mapa impacto agua se compone de los siguientes elementos:

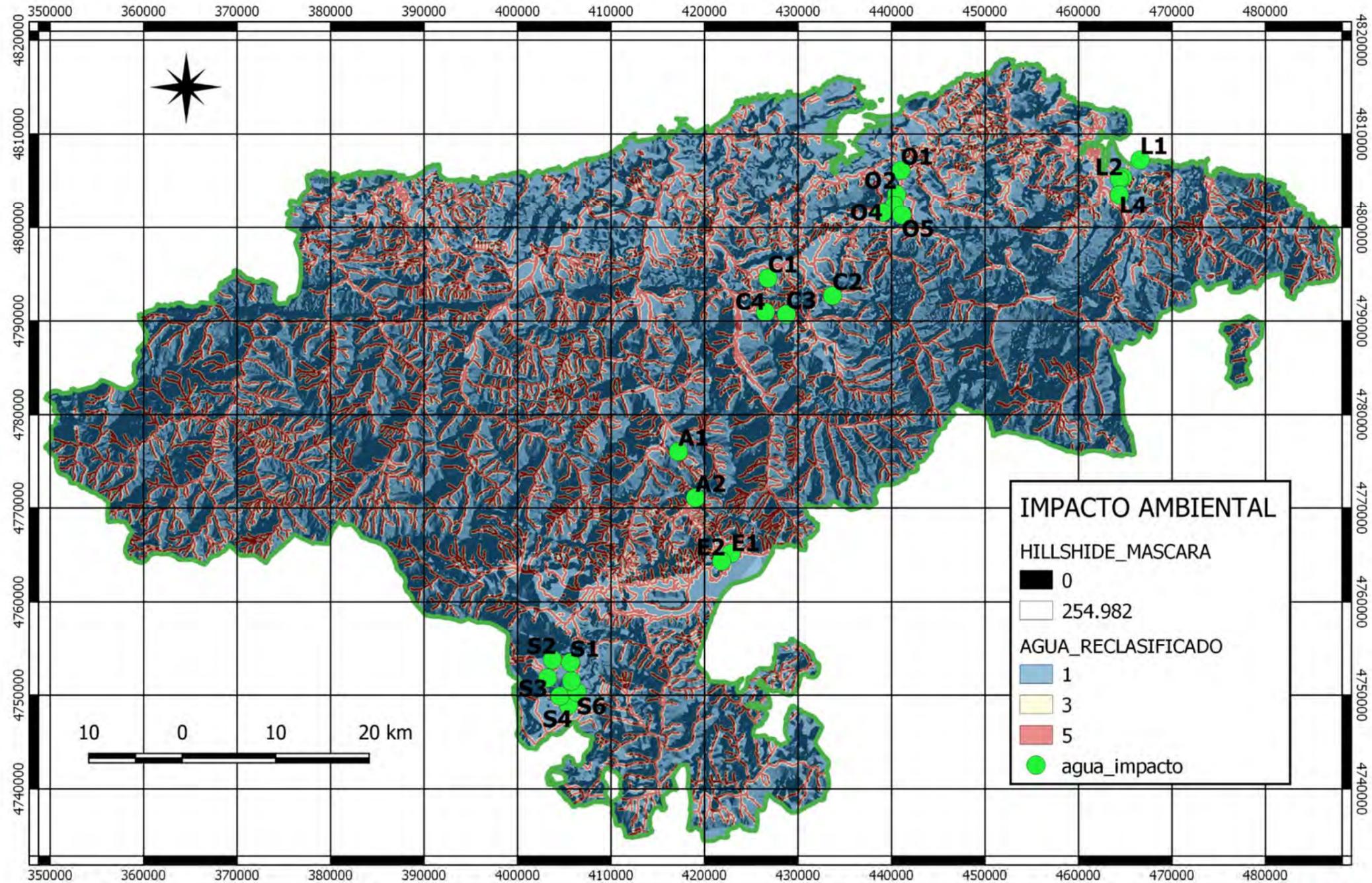
- 1- Mapa con el polígono de los límites de la provincia. En su tabla de atributos se crea el campo "valor impacto" y a su entidad se le asigna el valor 1.
- 2- Mapa "ríos-100" todos los cursos de agua de Cantabria, estos se representan por un polígono que define la zona de policía (100 m. a cada margen). En su tabla de atributos se crea el campo "valor impacto" y se asigna el valor 3 a sus entidades.
- 3- Mapa "ríos-200" de zona de seguridad de un radio de 200 m añadida a la zona de policía. Que estimamos necesaria para minimizar el impacto. En su tabla de atributos se crea el campo "valor impacto" y valor 5 a sus entidades.
- 4- Mapa "total agua" que se compone de la unión del "mapa provincia" + "ríos 100" + "ríos 200". Este mapa, en su tabla de atributos, debe tener las siguientes características:

ENTIDAD	VALOR IMPACTO
Ríos 100	5
Ríos 200	3
Resto provincia	1

Tabla Número 25. Valoración de impacto por cursos hidrográficos.

- 5- Este mapa "total agua" se convierte a formato ráster en función del campo "valor impacto", con lo que se obtiene un mapa con toda su superficie clasificada del 1 al 5 según las zonas definidas anteriormente. Obteniéndose el mapa "Impacto Agua", el cual se utilizará posteriormente para el álgebra de mapas.
- 6- Para posteriormente poder comprobar los resultados de la metodología, se proyecta el mapa con los puntos de afloramiento sobre el mapa rasterizado "Impacto Agua", obteniéndose el valor de este impacto para cada punto de afloramiento, recogido en la tabla N°38.

El mapa N°3 IMPACTO AGUA es el siguiente:



**IMPACTO AMBIENTAL**

HILLSHIDE\_MASCARA

- 0
- 254.982

AGUA\_RECLASIFICADO

- 1
- 3
- 5

● agua\_impacto



Nº

Fecha:

Título:

Autor:

Escala:  
1:500000





#### 4.4.4. Mapa de impacto Vegetación.

Las explotaciones mineras a cielo abierto producen un impacto permanente, con una eliminación de la vegetación existente, y pérdida del perfil del suelo en el ámbito de su ubicación. Esto hace que en el inventario ambiental de la superficie de implantación no existan especies vegetales catalogadas, protegidas o especialmente sensibles. A la vez, provoca dificultades para la regeneración de la misma en la fase de restauración.

Para su valoración a escala regional realizamos un plano de formaciones vegetales predominantes a nivel regional. Se distinguen entre doce formaciones valorando el impacto sobre ellas, en base a un criterio de importancia en función de sus características y valor ecológico.

El mapa impacto vegetación se compone de los siguientes elementos:

- 1- Mapa regional de Cantabria con las 12 formaciones de referencia, en tabla de atributos se crea el campo para el valor de impacto. En la siguiente figura se observa la composición de esta tabla de atributos:

	VEGGRUPO	COUNT	AREA	PERIMETER	HECTARES	valor
1	Urbano	729	99303250,930000	1116047,880000	9930,325000	5
2	Turbera	70	2635333,052000	49357,166000	263,533000	5
3	Rupícola	477	89660174,709000	927695,684000	8966,017000	2
4	Prebosque	1874	535082477,655000	4353394,133000	53508,248000	4
5	Pradera	3460	2096371395,510...	12669376,267000	209637,140000	3
6	Matorral	1067	447842500,919000	3214736,283000	44784,250000	3
7	Humedal	141	13359930,533000	210766,780000	1335,993000	5
8	Helechal	220	40204304,511000	486597,648000	4020,430000	1
9	Escombrera	64	8031800,799000	95522,797000	803,180000	1
10	Erial	3	2847779,588000	26726,643000	284,778000	1
11	Dunas	63	11193436,651000	119198,663000	1119,344000	5
12	Cultivo	175	69593044,343000	662391,317000	6959,304000	4
13	Brezal	1667	917156336,293000	6506879,068000	91715,634000	3
14	Bosque	2730	927127111,628000	7945308,293000	92712,711000	5
15	Agua	180	87454899,519000	741149,391000	8745,490000	5

Figura Número 21. Tabla de atributos del mapa vectorial de formaciones vegetales.

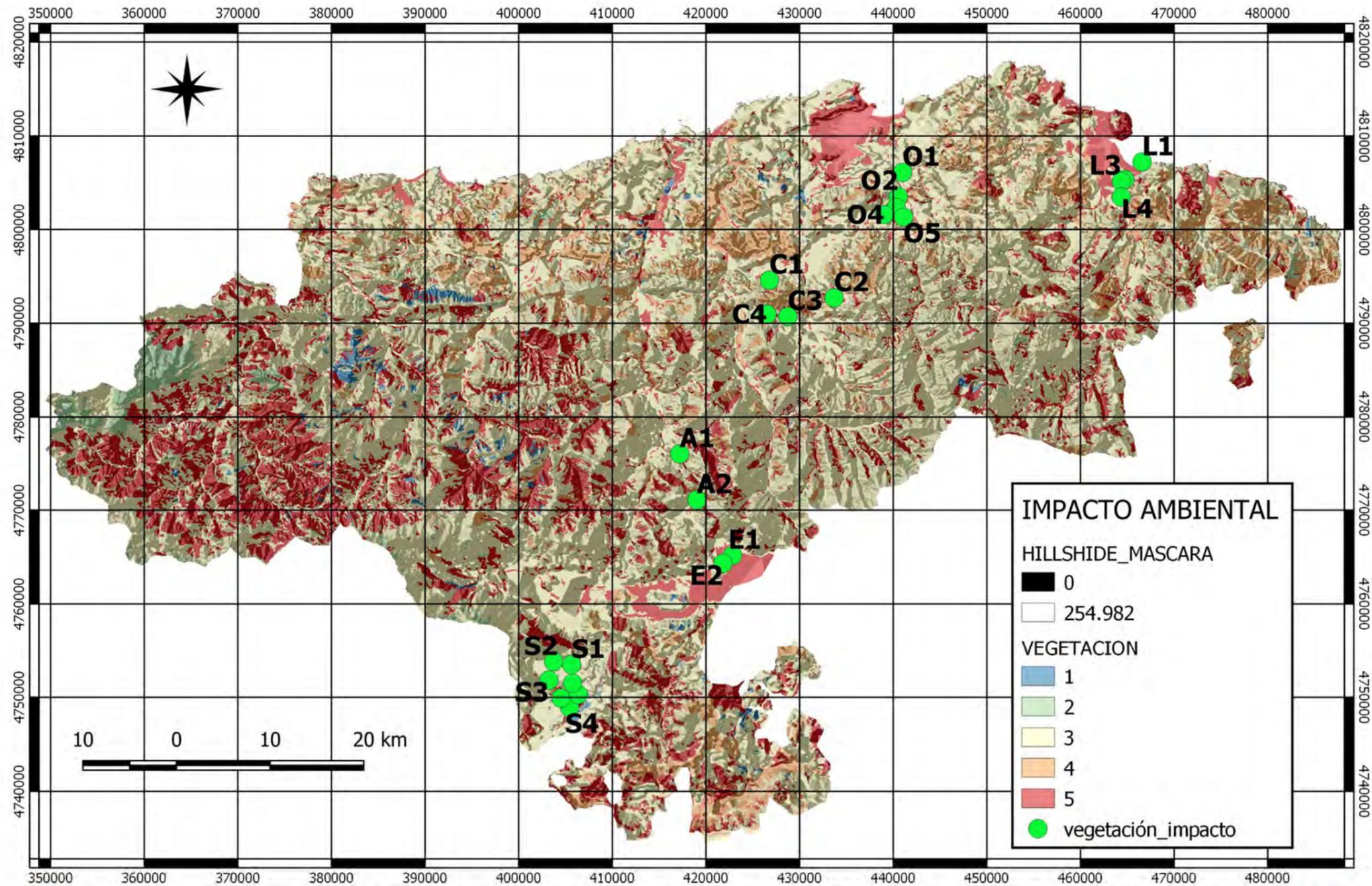
- 2- Este mapa "Formaciones" se convierte a formato ráster en función del campo "valor impacto", con lo que se obtiene un mapa con toda su superficie



clasificada del 1 al 5 según las zonas definidas anteriormente. Obteniéndose el mapa "Impacto vegetación", que será utilizado en el álgebra de mapas.

- 3- Para posteriormente poder comprobar los resultados de la metodología, se proyecta el mapa con los puntos de afloramiento sobre el mapa rasterizado "Impacto Vegetación", obteniéndose el valor de este impacto para cada punto de afloramiento, que se recoge en la tabla N°38.

El mapa N°4 IMPACTO VEGETACION es el siguiente:



Nº

Fecha:

Título:

Autor:

Escala:  
1:500000



#### 4.4.5. Mapa de impacto Fauna.

La eliminación o alteración de los hábitats de la fauna, provoca el desplazamiento de estos o una concentración de especies o individuos debido a la creación de huecos y por construcción de pistas. Se producen cambios de comportamiento de la fauna por el tráfico de camiones y maquinaria. A todo esto, se suma la pérdida de los elementos fértiles del suelo y su capacidad de regeneración.

Para la determinación del impacto en la fauna, se usa el catálogo regional de especies amenazadas (CREA, que se encuentra en el Decreto 120/2008, de 4 de diciembre por el que se regula el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Cantabria) [21]. De este catálogo se escogen las que están en peligro de extinción, y de estas, se utilizan las que disponen de cartografía asociada a su localización contrastada o probable. Hay especies asociadas a hábitats muy concretos de marismas, turberas, dunas, islotes costeros, que ya de por sí están protegidos y necesitarían de un estudio específico, que para este TFM no se consideran excesivamente relevantes. Por lo que principalmente se analizan mamíferos y aves.

Las especies elegidas son las siguientes:

- 1- Oso pardo.

Este tiene su instrumento de planificación según el decreto 34/89, del 18 de mayo por el que se aprueba el plan de recuperación del oso pardo.

<b>Nombre Científico:</b> <i>Ursus arctos (Linnaeus, 1758)</i>	<b>Nombre vulgar:</b> Oso pardo
<b>Categoría jurídica de protección:</b> EN PELIGRO DE EXTINCIÓN	
<b>Distribución:</b>	
<p><b>Estado:</b> Actualmente se considera que puede haber entre 100 y 130 osos cantábricos, un centenar en la población occidental y los 30 restantes en la población oriental, a la cual pertenecen los osos de Cantabria. En esta comunidad se ha detectado la presencia de hembras acompañadas de crías del año entre 1998-2008 y se cuenta con la presencia permanente de 5-7 ejemplares.</p>	
<p><b>Amenazas:</b> El mantenimiento de la calidad del hábitat, el cual es necesario que esté integrado por un mosaico de roquedos, pastizales y bosques que oferten una gran cantidad de alimento y que gocen de gran tranquilidad - especialmente en las zonas habitadas por las hembras acompañadas de crías - es uno de los retos más importantes a la hora de gestionar esta especie de grandes dominios vitales. Además, la fragmentación del hábitat causada por infraestructuras, los incendios forestales, el uso del veneno, o la pérdida y cambio de usos tradicionales de la montaña cantábrica son las amenazas que mayor incidencia tienen sobre esta población. Otras amenazas son las causadas por la deriva genética y la propia estocasticidad de las poblaciones formadas por un escaso número de ejemplares.</p>	
<p><b>Fecha de inclusión en el catálogo:</b> La de la publicación en el Boletín Oficial de Cantabria.</p>	

Figura Número 22. Ficha del CREA de Cantabria (BOC número 249).

2- Águila Real.

<b>Nombre Científico:</b> <i>Aquila chrysaetos</i> (Linnaeus, 1758)	<b>Nombre vulgar:</b> Águila real
<b>Categoría jurídica de protección:</b> VULNERABLE	
<b>Distribución:</b>	
<p>Mapa de distribución de la Águila Real en Cantabria. El mapa muestra una cuadrícula con coordenadas de latitud y longitud. Se indican las zonas de distribución con áreas sombreadas en verde y líneas que representan los límites de la especie.</p>	
<p><b>Estado:</b> Durante el periodo 2002 a 2004 se comprobó la nidificación de 7 parejas/año, con 4 reproducciones/año con éxito, una media de 4,66 pollos/año volaron, la productividad fue de 0,67 pollos/nido, una tasa de parejas con éxito del 47%, de las cuales el 15% fueron de 2 pollos. Siendo su tendencia entre el año 1997-2004 estable dentro de la exigua población.</p>	
<p><b>Amenazas:</b> El veneno, las colisiones contra tendidos eléctricos, las molestias durante la época de reproducción o la falta de presas, son los factores más importantes que afectan a la población.</p>	
<p><b>Fecha de inclusión en el catálogo:</b> La de la publicación en el Boletín Oficial de Cantabria.</p>	

Figura Número 23. Ficha del CREA de Cantabria (BOC número 249).

3- Urogallo Cantábrico.

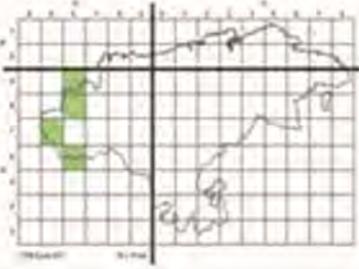
<p><b>Nombre Científico:</b> <i>Tetrao urogallus cantabricus</i> (Linnaeus, 1758)</p>	<p><b>Nombre vulgar:</b> Urogallo Cantábrico</p>
<p><b>Categoría jurídica de protección:</b> EN PELIGRO DE EXTINCIÓN</p>	
<p><b>Distribución:</b></p> 	
<p><b>Estado:</b> Cantabria es el límite nororiental de la población cantábrica de urogallos y se tienen catalogadas 57 áreas de canto históricas, de las cuales se encontraban habitados 10 en el año 1985 y 2-3 en el año 2005. La tendencia decreciente es alarmantemente y en la actualidad no parece haber más de 5 ejemplares en dos áreas de canto.</p>	
<p><b>Amenazas:</b> La incidencia de la estocasticidad demográfica es muy importante debido al bajo número de individuos que sobreviven en nuestra región y a su agrupación en pequeños núcleos aislados. Este tipo de estocasticidad produce fluctuaciones demográficas debidas a variaciones aleatorias de las tasas de natalidad, reclutamiento de juveniles y mortalidad, siendo el principal factor de extinción en pequeñas subpoblaciones aisladas, como las de urogallos existentes la región. La causa principal de mortalidad en Cantabria ha sido la depredación.</p>	
<p><b>Fecha de inclusión en el catálogo:</b> La de la publicación en el Boletín Oficial de Cantabria.</p>	

Figura Número 24. Ficha del CREA de Cantabria (BOC número 249).

4- Milano Real.

<b>Nombre Científico:</b> <i>Milvus milvus</i> (Boddaert, 1783)	<b>Nombre vulgar:</b> Milano Real
<b>Categoría jurídica de protección:</b> EN PELIGRO DE EXTINCIÓN	
<b>Distribución:</b>	
<b>Estado:</b> En el año 2004 se localizaron dos parejas nidificantes en la zona sur de la región. La población invernante en el año 2004 se localizaba en tres dormideros; con 61 individuos en Campoo, 26 en Besaya y 51 en la zona costera.	
<b>Amenazas:</b> El veneno, la electrocución o el choque contra tendidos eléctricos son la causa principal de la mortalidad de la especie.	
<b>Fecha de inclusión en el catálogo:</b> La de la publicación en el Boletín Oficial de Cantabria.	

Figura Número 25. Ficha del CREA de Cantabria (BOC número 249).

El mapa impacto fauna se compone de los siguientes elementos:

- 1- Mapa regional de Cantabria con las áreas de localización de las cuatro especies señaladas al que se denomina "Fauna", se le incorpora en tabla de atributos el campo "valor de impacto" para valorar las entidades correspondientes. Se valoran según su presencia en dichas áreas de posible localización.

LOCALIZACIÓN	VALOR IMPACTO
Segura	5
Probable	3
Nula	1

Tabla Número 26. Valoración del impacto sobre la fauna.

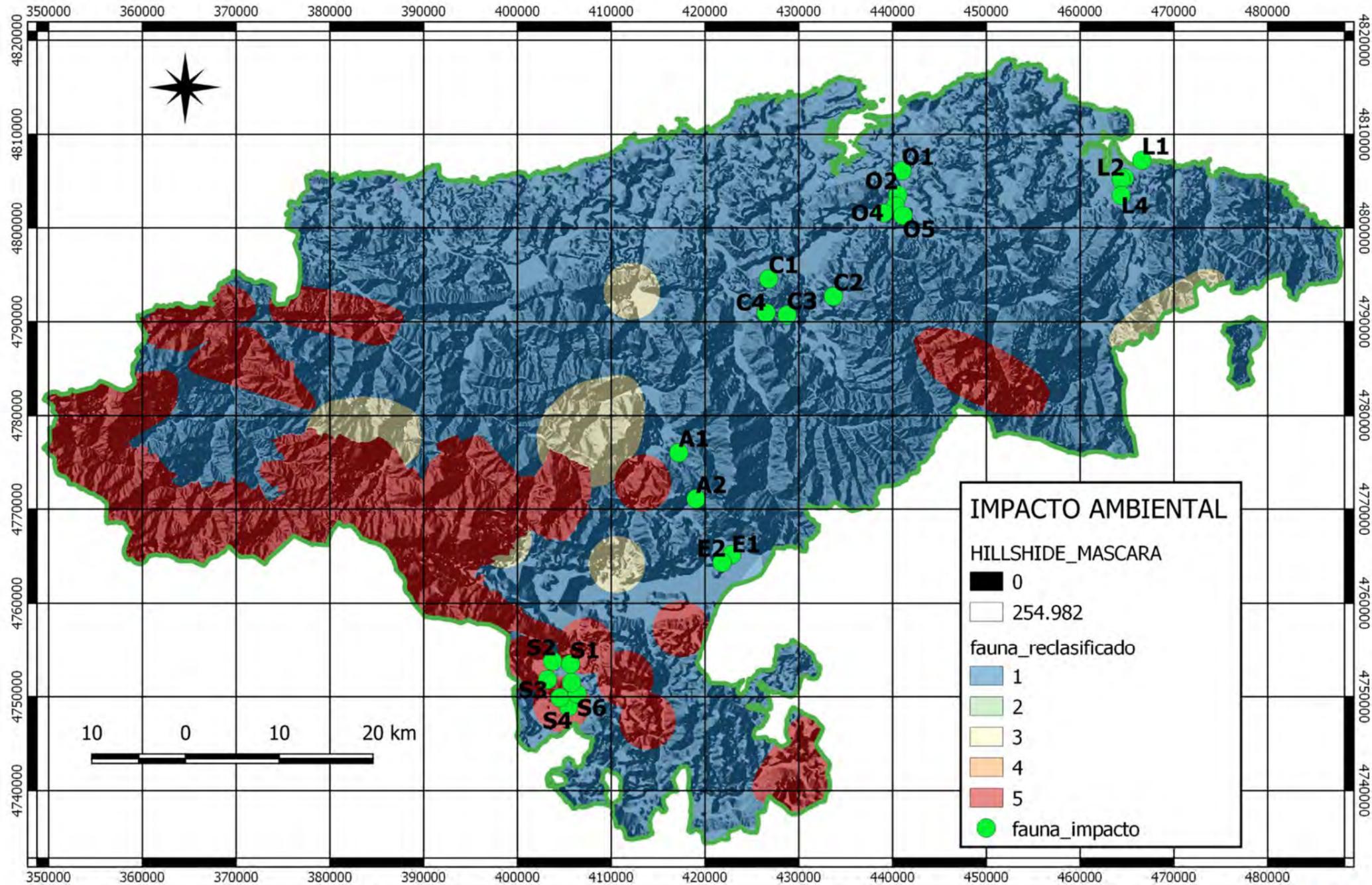


NOMBRE	valor	TERRITORIO	SEGURO_PRO	ÁREA	layer	path
CANTABRIA	1	NULL	NULL	NULL	Provincia	C:/...
REAL	5	Bárago	Seguro	23858745	aguila_real_distrib_07	C:/...
REAL	5	Lamasón	Seguro	60769224	aguila_real_distrib_07	C:/...
REAL	5	Asón	Seguro	19379247	aguila_real_distrib_07	C:/...
REAL	5	Saja (Sejos)	Seguro	121229271	aguila_real_distrib_07	C:/...
REAL	5	Urdón	Seguro	51309069	aguila_real_distrib_07	C:/...
REAL	5	Brez	Seguro	118345130	aguila_real_distrib_07	C:/...
REAL	5	Lebeña	Probable	61027027	aguila_real_distrib_07	C:/...
REAL	3	Hoz del Carranz...	Probable	24535906	aguila_real_distrib_07	C:/...

Figura Número 26. Parte de la composición de la tabla de atributos del mapa vectorial de fauna.

- 2- Este mapa “Fauna” se convierte a formato ráster en función del campo “valor impacto”, con lo que se obtiene un mapa con toda su superficie clasificada del 1 al 5 según las zonas definidas anteriormente. Este es el mapa “Impacto fauna”, el cual será utilizado para el álgebra de mapas.
- 3- Para posteriormente poder comprobar los resultados de la metodología, se proyecta el mapa con los puntos de afloramiento sobre el mapa rasterizado “Impacto Fauna”, obteniéndose el valor de este impacto para cada punto de afloramiento, debidamente recogidos en la tabla N°38.

El mapa N°5 IMPACTO FAUNA es el siguiente:



Nº

Fecha:

Título:

Autor:

Escala:  
1:500000





#### 4.4.6. Mapa de impacto Ecosistemas especiales.

Los espacios protegidos son aquellas áreas terrestres o marinas que, en reconocimiento a sus valores naturales sobresalientes, están específicamente dedicadas a la conservación de la naturaleza y sujetas, por lo tanto, a un régimen jurídico especial para su protección.

Los espacios protegidos desempeñan una función decisiva para la conservación de los ecosistemas y la supervivencia de las especies y para el mantenimiento de los procesos ecológicos y de los bienes y servicios ecosistémicos. Son uno de los instrumentos fundamentales para la conservación in situ de la biodiversidad. En Cantabria existen una serie de espacios naturales protegidos declarados, cuya normativa genérica es la Ley de Cantabria 4/2006, de 19 de mayo, de Conservación de la Naturaleza de Cantabria y Ley de Cantabria 10/2012, de 26 de diciembre, de Medidas Fiscales y Administrativas, que modifica la Ley de Cantabria 4/2006, de 19 de mayo, de Conservación de la Naturaleza. Estos espacios a tener en cuenta son los siguientes:

1. Parque Nacional de Picos de Europa.
2. Parque Natural Saja-Besaya.
3. Parque Natural de Oyambre.
4. Parque Natural Collados del Asón.
5. Parque Natural Dunas de Liencres, Estuario del Pas y Costa Quebrada.
6. Parque Natural Marismas de Santoña, Victoria y Joyel.
7. Monumento Natural de las Secuoyas del Monte Cabezón.
8. Red Natura 2000 en Cantabria
  - 8.1. Área Natural de Especial Interés La Viesca.
  - 8.2. Área Natural de Especial Interés "Pozo Tremeo".
  - 8.3. Área Natural de Especial Interés "Cuevas del Pendo-Peñajorao".
  - 8.4. Zonas de Especial Conservación (ZEC) litorales.
    - 8.4.1. ZEC rías occidentales y duna de Oyambre.
    - 8.4.2. ZEC dunas de Liencres y estuario del Pas.
    - 8.4.3. ZEC dunas del puntal y estuario del Miera.
    - 8.4.4. ZEC costa central y ría de Ajo.
    - 8.4.5. ZEC marismas de Santoña, Victoria y Joyel.
  - 8.5. Zonas de Especial Conservación (ZEC) fluviales.
    - 8.5.1. ZEC río Deva.
    - 8.5.2. ZEC río Nansa.
    - 8.5.3. ZEC río Pas.
    - 8.5.4. ZEC río Asón.
    - 8.5.5. ZEC río Agüera.



- 8.5.6. ZEC rio y embalse del Ebro.
- 8.5.7. ZEC rio Camesa.
- 8.5.8. ZEC rio Miera.
- 8.5.9. ZEC rio Saja.
- 8.6. Zonas de Especial Conservación (ZEC) de Montaña.
  - 8.6.1. ZEC Liébana.
  - 8.6.2. ZEC montaña Oriental.
  - 8.6.3. ZEC sierra del Escudo.
  - 8.6.4. ZEC cueva la Rogería.
  - 8.6.5. ZEC cueva el Rejo.
  - 8.6.6. ZEC valles altos Nansa Saja alto Campoo.
  - 8.6.7. ZEC sierra del Escudo de Cabuérniga.

Todos estos tienen su normativa y planes de gestión específicos.

A estas añadimos áreas contempladas en el POL (plan ordenación del litoral), con la siguiente denominación:

1. Protección del litoral.
2. Protección ecológica.
3. Ordenación ecológico-forestal.
4. Áreas de interés paisajístico.
5. Protección costera.
6. Protección de ribera.
7. Protección intermareal.
8. Actuación integral estratégica ambiental.

El mapa impacto ecosistemas especiales se compone de los siguientes elementos:

- 1- Mapa regional de Cantabria con las áreas de localización de todos los espacios enumerados, se juntan en un mapa con formato vectorial denominado "total ENP" y se crea un campo nuevo de valor de impacto y dando el valor 5, a todas las entidades de su tabla de atributos.



SICD	SITENAME	CLAS	RNNO	RNFE	RNU1	RNOT	GFEC1	GURL	OBSEF	PE_AI	APE_L	valor
U...	Costa Central y Ría de Ajo	nat...	NU...	444...	542...	5						
U...	Cueva del Rejo	nat...	NU...	180...	717...	5						
U...	Cueva Rogería	nat...	NU...	112...	443...	5						
U...	Desfiladero de la Hermida	nat...	NU...	636...	474...	5						
U...	Dunas de Liencres y Estuario del Pas	nat...	NU...	544...	440...	5						
U...	Dunas del Puntal y Estuario del Miera	nat...	NU...	675...	322...	5						
U...	Embalse del Ebro	nat...	NU...	669...	567...	5						
U...	Espacio marino de los Islotes de Portios - Isla ...	nat...	NU...	151...	449...	5						
U...	Hoces del Ebro	nat...	NU...	408...	348...	5						
4...	LIC Costa Central y Ría de Ajo	nat...	NU...	444...	542...	5						

Figura Número 27. Parte de la composición de la tabla de atributos del mapa vectorial de total ENP.

- 2- A continuación, se genera un buffer de 500 m. para crear un área de protección alrededor de todos los espacios del mapa vectorial anterior, y se obtiene el mapa “ENP 500”. Finalmente se crea un campo nuevo en su tabla de atributos de valor de impacto y le dándole el valor 3.

BIJECT	LOCAL	NAMES	ECH	URL	ESGS	SIGSCI	SIGCD	SITENAME	SPCLASS	RNNO	RNFE	RNU1	RNOT	GFEC1	GURL	OBSEF	PE_AI	APE_L	valor
27	27	ZE...	ES.B...	200...	htt...	spe...	NA...	Sierra de Peña Sagra	natureConserva...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	506...	455...	3
28	50	ES0...	ES.B...	200...	htt...	NA...	IUCN ES4...	ZEPA Sierra de Peña Sagra	natureConserva...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	506...	455...	3
29	36	ES1...	ES.B...	198...	htt...	V: ...	IUCN ES1...	Parque Natural de Oyambre	natureConserva...	De...	201...	htt...	NU...	NU...	NU...	Mo...	578...	587...	3
30	25	ZE...	ES.B...	200...	htt...	spe...	NA...	Desfiladero de la Hermida	natureConserva...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	636...	474...	3
31	48	ES0...	ES.B...	200...	htt...	NA...	IUCN ES4...	ZEPA Desfiladero de la Hermida	natureConserva...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	636...	474...	3
32	65	RA...	ES.B...	199...	htt...	ra...	ra...	Marismas de Santoña	natureConserva...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	658...	994...	3
33	35	ES1...	ES.B...	200...	htt...	V: ...	IUCN ES1...	Parque Natural de las Marismas de Sant...	natureConserva...	En ...	199...	htt...	NU...	NU...	NU...	De...	667...	995...	3
34	51	ES0...	ES.B...	200...	htt...	NA...	IUCN ES4...	ZEPA Embalse del Ebro	natureConserva...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	669...	567...	3
35	28	ZE...	ES.B...	200...	htt...	spe...	NA...	Embalse del Ebro	natureConserva...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	669...	567...	3
36	54	ES0...	ES.B...	200...	htt...	NA...	IUCN ES4...	ZEPA Marismas de Santoña, Victoria, Joy...	natureConserva...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	676...	108...	3
37	31	ZE...	ES.B...	200...	htt...	spe...	NA...	Marismas de Santoña, Victoria, Joyel y Ri...	natureConserva...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	NU...	676...	108...	3
38	66	ES8...	ES.B...	199...	htt...	li: ...	IUCN ES0...	Parque Nacional de los Picos de Europa	natureConserva...	Or...	201...	htt...	NU...	NU...	NU...	NU...	150...	951...	3

Figura Número 28. Parte de la composición de la tabla de atributos del mapa vectorial de ENP 300.

- 3- Juntando los dos mapas anteriores y el mapa base de la provincia de Cantabria con valoración 1 en el campo valor impacto, para que el resto de las áreas que no pertenecen a los otros dos su valoración de impacto sea 1, se crea el mapa “ecosistemas final”. El resumen de la clasificación establecida es la siguiente:

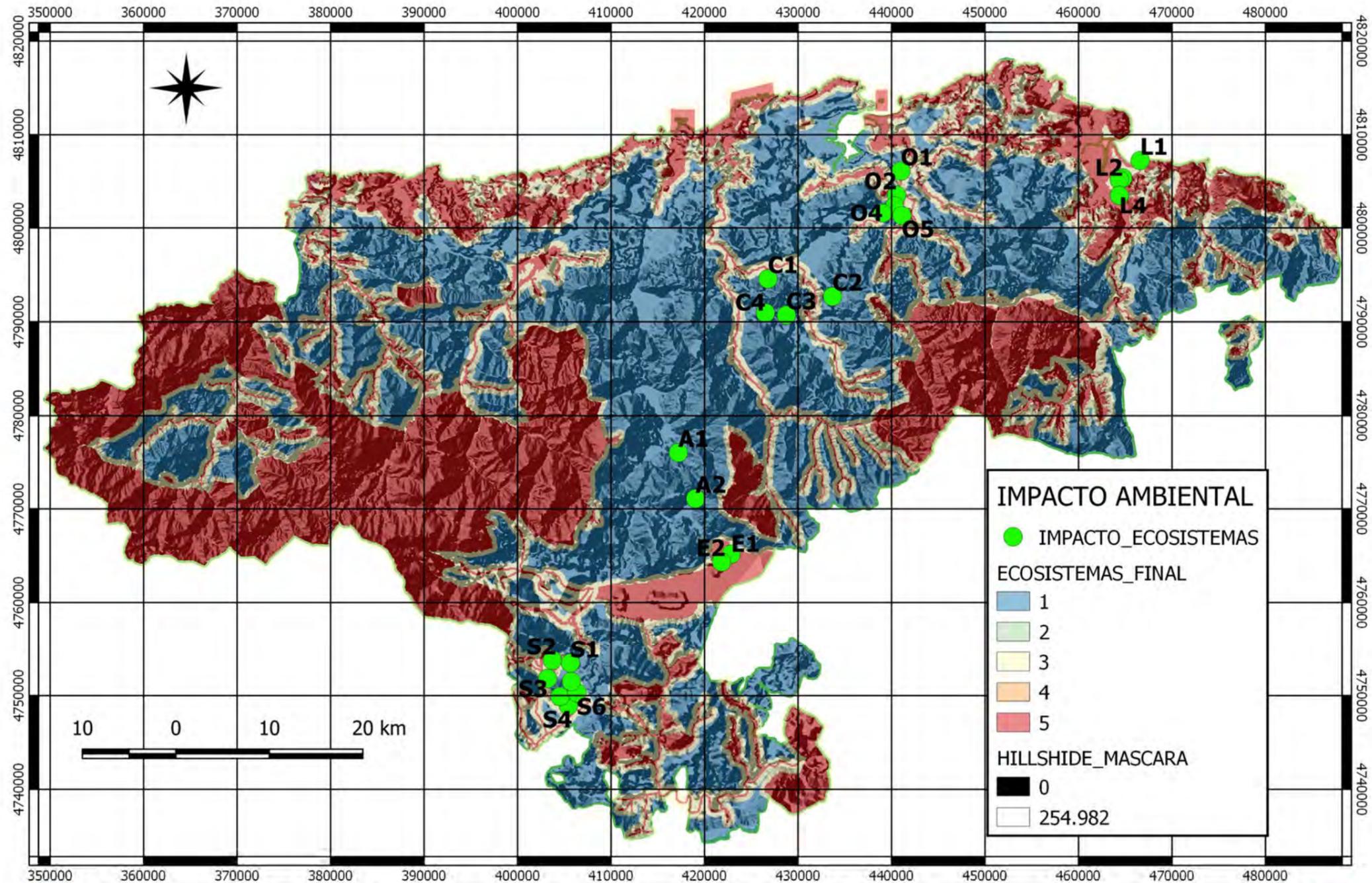


ENTIDADES	VALOR IMPACTO
Todos los ENP	5
Buffer 300 m	3
Resto provincia	1

Tabla Número 27. Valoración del impacto sobre los ecosistemas especiales.

- Este mapa “ecosistemas final” se convierte a formato ráster en función del campo “valor impacto”, con lo que se obtiene un mapa con toda su superficie clasificada del 1 al 5 según las zonas definidas anteriormente. Obteniéndose el mapa “Impacto ecosistemas”, el cual, será utilizado para el álgebra de mapas.
- Para posteriormente poder comprobar los resultados de la metodología, se proyecta el mapa con los puntos de afloramiento sobre el mapa rasterizado “Impacto ecosistemas”, obteniéndose el valor de este impacto para cada punto de afloramiento, que se recoge en la tabla N°38.

El mapa N°6 IMPACTO ECOSISTEMAS es el siguiente:



Nº	Fecha:	Título:	Autor:	Escala: 1:500000
----	--------	---------	--------	---------------------





#### 4.4.7. Mapa de impacto Paisaje.

La actividad minera produce una alteración global sobre el mismo, generalmente grave en el caso de las escombreras y severa en el caso de los huecos producidos y generalmente de menor entidad en el caso de las infraestructuras y edificaciones adyacentes. En este caso, el análisis se centra en las cuencas visuales, ya que, lo que no se ve, se puede asimilar que no existe. Para este estudio de carácter regional lo que se prioriza es la aceptación social de una explotación, para lo cual se realiza una cuenca visual desde todas las poblaciones de Cantabria, tomando un radio de 3000 m. con lo que se obtienen las zonas geográficas de mayor y menor visibilidad, sin perder en este aspecto la escala de trabajo.

El mapa impacto paisaje se compone de los siguientes elementos:

- 1- Mapa regional de Cantabria con los límites de la provincia.
- 2- Mapa con todos los municipios de Cantabria con su cota de altura.

	NOMBRE	Código_JNE	POBLACIÓN	MUNICIPIO	pobla	COTA	COTA_1
35	Cohiño	390040003	88Hab	Arenas de Iguña	88	202	241,4863281250...
36	Cobreces	390010003	667Hab	Alfoz de Lloredo	667	56	50,0000000000...
37	Coroneles	390940011	4Hab	Valderredible	4	936	934,1245727539...
38	Cornocio	390290006	10Hab	Escalante	10	30	19,59142494201...
39	Correpoco	390860002	64Hab	Los Tojos	64	640	476,1156005859...
40	Corral	390180004	58Hab	Cartes	58	185	188,7130432128...
41	Congarna	390150010	22Hab	Camaleño	22	389	400,0000000000...
42	Concha	390680002	53Hab	Ruiloba	53	34	26,85076522827...
43	Corconte	390170002	43Hab	Campóo de Yuso	43	854	859,4628906250...
44	Coo	390250003	336Hab	Corrales de Bue...	336	115	150,0000000000...
45	Cerbiago	390020009	65Hab	Ampuero	65	105	100,0000000000...

Figura Número 29. Parte de la composición de la tabla de atributos del mapa vectorial de población.

- 3- Mapa con las curvas de nivel cada 5 metros hasta la cota 25 y cada 50 metros hasta la cota más alta de la región.
- 4- Con el mapa de las curvas de nivel se crea un modelo digital de todo el territorio de Cantabria.
- 5- Con el modelo digital y el mapa de los municipios de Cantabria se obtiene la cuenca visual, con los parámetros de altura de observador de 1,60 m. y radio de observación de 3000 m. este plano de cuenca visual es un ráster clasificado según las zonas no visibles con valor "0" y las zonas visibles clasificadas de 1 a 17. Esto significa que una zona con valor 17 se ve desde 17 poblaciones en ese radio de 3000 m. Este mapa es la base para la valoración de impacto, que se reclasifica según el número de observadores que coinciden en la cuenca, con la siguiente expresión:

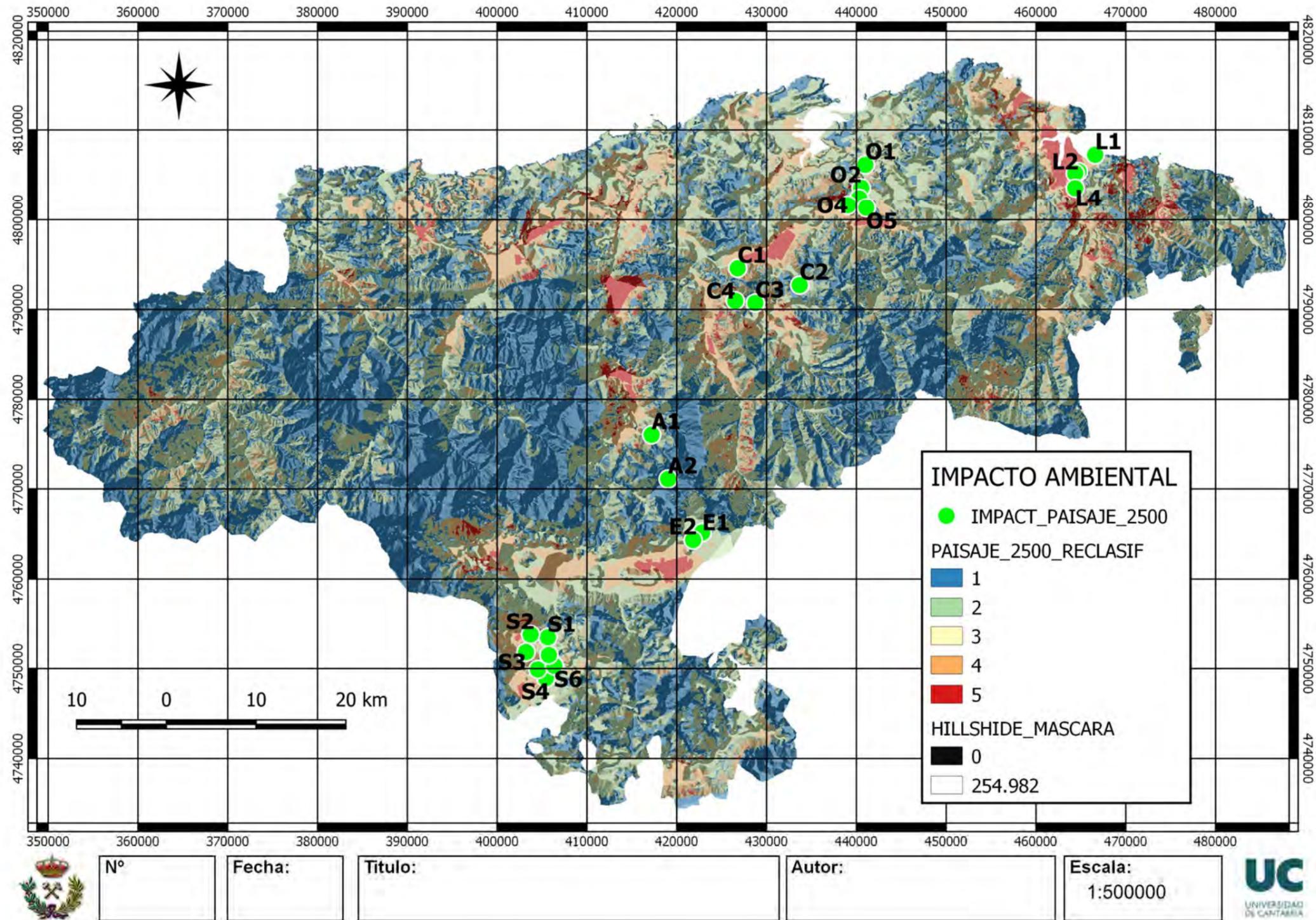


CUENCA VISUAL	CUENCA RECLASIFICADA
$0 < \text{valor} \leq 1$	1
$1 < \text{valor} \leq 3$	2
$3 < \text{valor} \leq 5$	3
$5 < \text{valor} \leq 9$	4
$9 < \text{valor} \leq 17$	5

*Tabla Número 28. Valoración del impacto sobre el paisaje.*

- 6- El mapa resultante es el “impacto paisaje” en formato ráster y con valor de impacto del 1 al 5
- 7- Para posteriormente poder comprobar los resultados de la metodología, se proyecta el mapa con los puntos de afloramiento sobre el mapa rasterizado “Impacto paisaje” y se obtiene el valor de este impacto para cada punto de afloramiento, que se recoge en la tabla N°38.

El mapa N°7 IMPACTO PAISAJE es el siguiente:





#### 4.4.8. Mapa de impacto usos del suelo.

Las explotaciones mineras inciden de manera importante en los usos del suelo, ya que producen una ocupación irreversible de suelo fértil y una inducción de efectos edáficos negativos en los alrededores de la explotación. En este aspecto la composición del mapa consta de todos los usos productivos del suelo y se valora el impacto sobre ellos en función de su importancia en el sector productivo.

El mapa impacto usos del suelo se compone de los siguientes elementos:

- 1- Partiendo del mapa de masas forestales de la comunidad de Cantabria, en su tabla de atributos se crea el campo valor de impacto y se valoran sus entidades según la siguiente tabla:

ENTIDADES	VALOR IMPACTO
Monte desarbolado, matorral, herbazal o pastizal	1
Monte con arbolado ralo, bosque de plantaciones	2
Agrícola cultivos	3
Monte arbolado bosque	4
Agua y suelo artificial	5

Tabla Número 29. Valoración del impacto sobre los usos del suelo.

- 2- El mapa valorizado se rasteriza creando el mapa “usos de suelo”, con valor de impacto de 1 – 5.

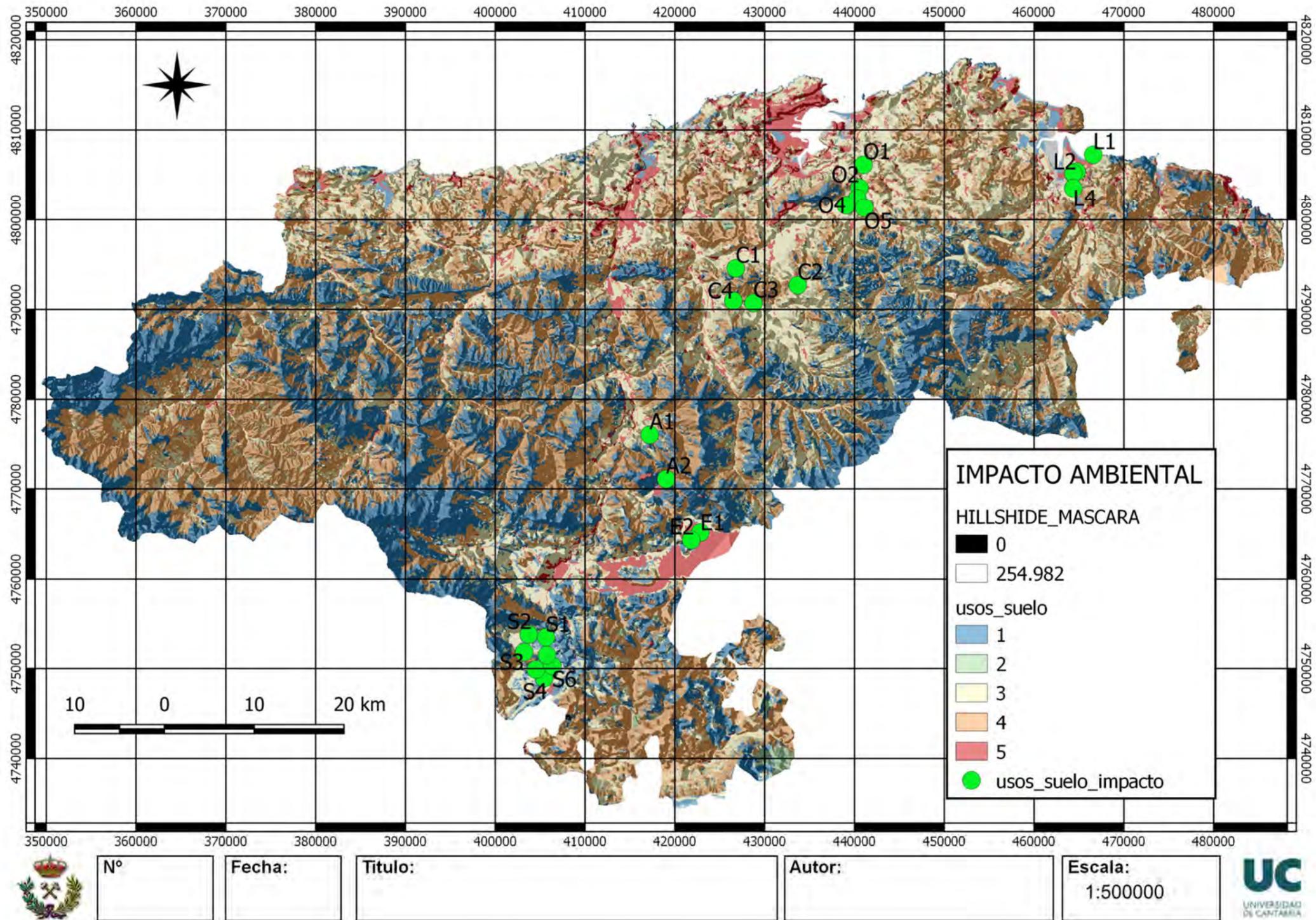


o2	estado	specie	o3	estado	ccma	marb	mma	fcber	fcctot	feloc	tratoil	obosq	usoifn	isomf	regbio	lulucf	valor
0	Sin...	sin ...	0	Sin...	0 -	0	0	0	0 -	0 -			Agrícola	Cul...	Atl...	230	3
0	Sin...	sin ...	0	Sin...	0 -	0	0	0	0 -	0 -			Agrícola	Cul...	Atl...	230	3
0	Sin...	sin ...	0	Sin...	0 -	0	0	0	0 -	0 -			Agua	Agua	Atl...	531	5
0	Sin...	sin ...	0	Sin...	0 -	0	0	0	0 -	0 -			Agrícola	Cul...	Atl...	230	3
0	Sin...	sin ...	0	Sin...	0 -	0	0	0	0 -	0 -			Artificial	Arti...	Atl...	800	5
0	Sin...	sin ...	0	Sin...	0 -	0	0	0	0 -	0 -			Agrícola	Cul...	Atl...	230	3
0	Sin...	sin ...	0	Sin...	0 -	0	0	0	0 -	0 -			Agrícola	Cul...	Atl...	700	3
0	Sin...	sin ...	0	Sin...	0 -	0	0	0	0 -	0 -			Artificial	Arti...	Atl...	880	5
0	Sin...	sin ...	0	Sin...	0 -	0	0	0	0 -	0 -			Artificial	Arti...	Atl...	810	5
0	Sin...	sin ...	0	Sin...	0 -	0	0	0	0 -	0 -			Artificial	Arti...	Atl...	821	5
0	Sin...	sin ...	0	Sin...	5 Orl...	7	0	100	Bo...	0 Fro...			Monte arbolado. Bosque	Arb...	Atl...	111	4
0	Sin...	sin ...	0	Sin...	0 -	0	0	0	0 -	0 -			Artificial	Arti...	Atl...	800	5
0	Sin...	sin ...	0	Sin...	0 -	0	0	0	0 -	0 -			Agrícola	Cul...	Atl...	230	3

Figura Número 30. Parte de la composición de la tabla de atributos del mapa vectorial de usos del suelo.

- 3- Para posteriormente poder comprobar los resultados de la metodología, se proyecta el mapa con los puntos de afloramiento sobre el mapa rasterizado "Impacto usos del suelo" y se obtiene el valor de este impacto para cada punto de afloramiento, que se recoge en la tabla N°38.

El mapa N°8 IMPACTO USOS DEL SUELO es el siguiente:



#### 4.4.9. Mapa de impacto patrimonio cultural.

Dentro del ámbito socio-cultural, las actividades mineras, pueden tener consecuencias irreversibles sobre el patrimonio cultural, histórico, artístico y científico. Para su conservación necesitamos conocer el inventario de bienes de interés cultural de la región. Un Bien de Interés Cultural (BIC) es cualquier inmueble y objeto mueble de interés artístico, histórico, paleontológico, arqueológico, etnográfico, científico o técnico, que haya sido declarado como tal por la administración competente. También puede ser declarado como BIC, el patrimonio documental y bibliográfico, los yacimientos y zonas arqueológicas, así como los sitios naturales, jardines y parques, que tengan valor artístico, histórico o antropológico.

El mapa impacto patrimonio cultural se compone de los siguientes elementos:

- 1- Mapa vectorial con todos los bienes de interés cultural de Cantabria, identificados por un punto y un buffer de 200 m.

	NOMBRE_PRI	OTROS_NOMB	REFERENCIA	CARACTER	COD_MUNICI	LOCALIDAD	DATOS_CATA
6	ARDIGALES, 4, CALLE	NULL	020.101	ASENTAMIENTO URBANO	020	CASTRO URDIA...	0007/9001
7	RABAS, LAS	CELADA MAR...	027.002	CASTRO	027	CERVATOS-CEL...	NULL
8	SALCEDO	CEMENTERIO,...	040.009	CUEVA/ABRIGO	040	GAJANO	22 /300
9	PRELLEZO	CASTILLO, EL	095.061	CASTRO	095	PRELLEZO	4 /94
0	PUNTA DE LANGRE	NULL	061.024	CASTRO	061	LANGRE	6 /10
1	SANTA EULALIA	NULL	001.060	INDETERMINADO	001	BUSTA, LA	20 /363.
2	SANTA MARINA	NULL	092.044	CASTRO	092	CAMESA	19 /114
3	SALCES	NULL	032.014	CASTRO	032	SALCES	11 /162
4	SAN PEDRO DE RUDAGÜERA	NULL	001.022	CUEVA/ABRIGO	001	SAN PEDRO DE ...	16 /139
5	SAÚCO, EL	CHILE, EL	102.016	CUEVA/ABRIGO	102	SAN PANTALEÓ...	25 /29
6	SIERRACASTRO	PESQUERA	077.013	CASTRO	077	RIOSECO; HEZ ...	2 /207
7	SANTO, DEL	SAN BARTOLO...	102.046	CUEVA/ABRIGO	102	SAN BARTOLO...	26 /374
8	SARDINA, LA	NULL	012.023	CUEVA/ABRIGO	012	TURUJAL, EL	19 /22
9	TOCA	LAUREANO	031.005	CUEVA/ABRIGO	031	HAZAS DE CESTO	14 /86
0	TORRECILLA, LA	CEZURA	094.110	CASTRO	094	SAN CRISTOBA...	221 /5005

Figura Número 31. Cuevas y Castros del mapa vectorial de patrimonio cultural.

	ENTITY	LAYER	LEVEL	ELEVATION	COLOR	NOMBRE	AREA
1	Complex Shape	13	13	0	11	el cantón	234598,895
2	Complex Shape	13	13	0	11	cildá	929683,285
3	Complex Shape	13	13	0	11	campo de las cercas	796446,305
4	Complex Shape	13	13	0	11	espina del gallego	308988,365
5	Shape	14	14	0	2	cumbres de sta marina y horned	795860,940
6	Shape	40	40	0	10	cueva del pendo	640357,500
7	Complex Shape	14	14	0	2	pico del castillo	36260,005
8	Complex Shape	14	14	0	2	castro de la Peña de samano	743696,535
9	Shape	1	0	0	0	el cincho	627081,065

Figura Número 32. Yacimientos arqueológicos del mapa vectorial de patrimonio cultural.



	NOMBRE_PRI	OTROS_NUMB	REFERENCIA	CARACTER	COU_MUNICI	LOCALIDAD	DAIUS_CAIA
1	PERUCHOTE	NULL	020.013	TÚMULO/DOLMEN	020	CASTRO URDIALES	39020A0210000...
2	ILSO GRANDE	NULL	020.020	MONOLITO	020	CÉRDIGO	39020A0250003...
3	MAYA	MAIA 1 (Gorroch...	020.025	TÚMULO/DOLMEN	020	HELGUERA	39020A0220002...
4	PRADO DEL MARQUÉS	H-4 (Gorrochat...	030.010	TÚMULO/DOLMEN	030	GURIEZO	39030A0050001...
5	PRADO JUSTO	NULL	030.012	TÚMULO/DOLMEN	030	GURIEZO	39030A0050001...
6	PIRUQUITO	NULL	030.009	TÚMULO/DOLMEN	030	TREBUESTO	39030A0100007...
7	POZOBAL	NULL	002.008	TÚMULO/DOLMEN	002	SANTISTEBAN	39036A0050000...
8	ARVEJALES 1	NULL	027.012	TÚMULO/DOLMEN	027	FRESNO DEL RÍO	39027A0630001...
9	ARVEJALES 2	NULL	027.013	TÚMULO/DOLMEN	027	FRESNO DEL RÍO	39027A0050006...
10	CAMPUERA 2	NULL	050.008	TÚMULO/DOLMEN	050	Caloca	39050A0050046...
11	ALTO DEL TORAL	NULL	021.002	TÚMULO/DOLMEN	021	VILLASUSO	39041A0120003...
12	ANGUÍA 2	ANGUÍA 3 (Gorr...	020.021	TÚMULO/DOLMEN	020	SANTULLÁN	39020A0220002...
13	CAMPA DE LA HERRERA 1	LAHERRERA 3 (...)	020.011	TÚMULO/DOLMEN	020	OTAÑES	39020A0210000...
14	ALTO GURIEZO	NULL	030.017	MONOLITO	030	LUGAREJOS	39030A0120000...
15	ANGUÍA 1	NULL	020.022	TÚMULO/DOLMEN	020	SANTULLÁN	39020A0220002...

Figura Número 33. Túmulos y Dolmen del mapa vectorial de patrimonio cultural.

	SUPERFICIE	NOMBRE_NUM	TIPO	FRANJA_DE	X
1233	125664,0000000...	Yacimiento de corales y espongiarios en Cabo Ajo	Lugar de interés geológico	200,000000	453022,000000
1234	125664,0000000...	Yacimiento de fauna aptense en el promontorio ...	Lugar de interés geológico	200,000000	394528,000000
1235	125664,0000000...	Yacimiento de ammonites piritosos en la playa d...	Lugar de interés geológico	200,000000	417411,000000
1236	125664,0000000...	Yacimiento de cangrejos de Cuchia	Lugar de interés geológico	200,000000	416855,000000
1237	125664,0000000...	Yacimiento de Ostreidos en Liendo	Lugar de interés geológico	200,000000	471483,000000
1238	125664,0000000...	Yacimiento de Rhyconellas en Galizano	Lugar de interés geológico	200,000000	445179,000000
1239	125664,0000000...	Yacimiento de fauna wealdense en Virgen de la ...	Lugar de interés geológico	200,000000	402460,000000
1240	125664,0000000...	Yacimiento de Nummulites en San Vicente de la ...	Lugar de interés geológico	200,000000	387431,000000

Figura Número 34. Lugares de interés geológico del mapa vectorial de patrimonio cultural.

- 2- Se crea un mapa con un buffer de seguridad de 500 m, para posteriormente crear el campo nuevo en la tabla de atributos de valor impacto. Se asigna a todas las entidades el valor 5 y al resto de la superficie del mapa el valor 1.

ENTIDADES	VALOR IMPACTO
Patrimonio 500	5
Resto mapa	1

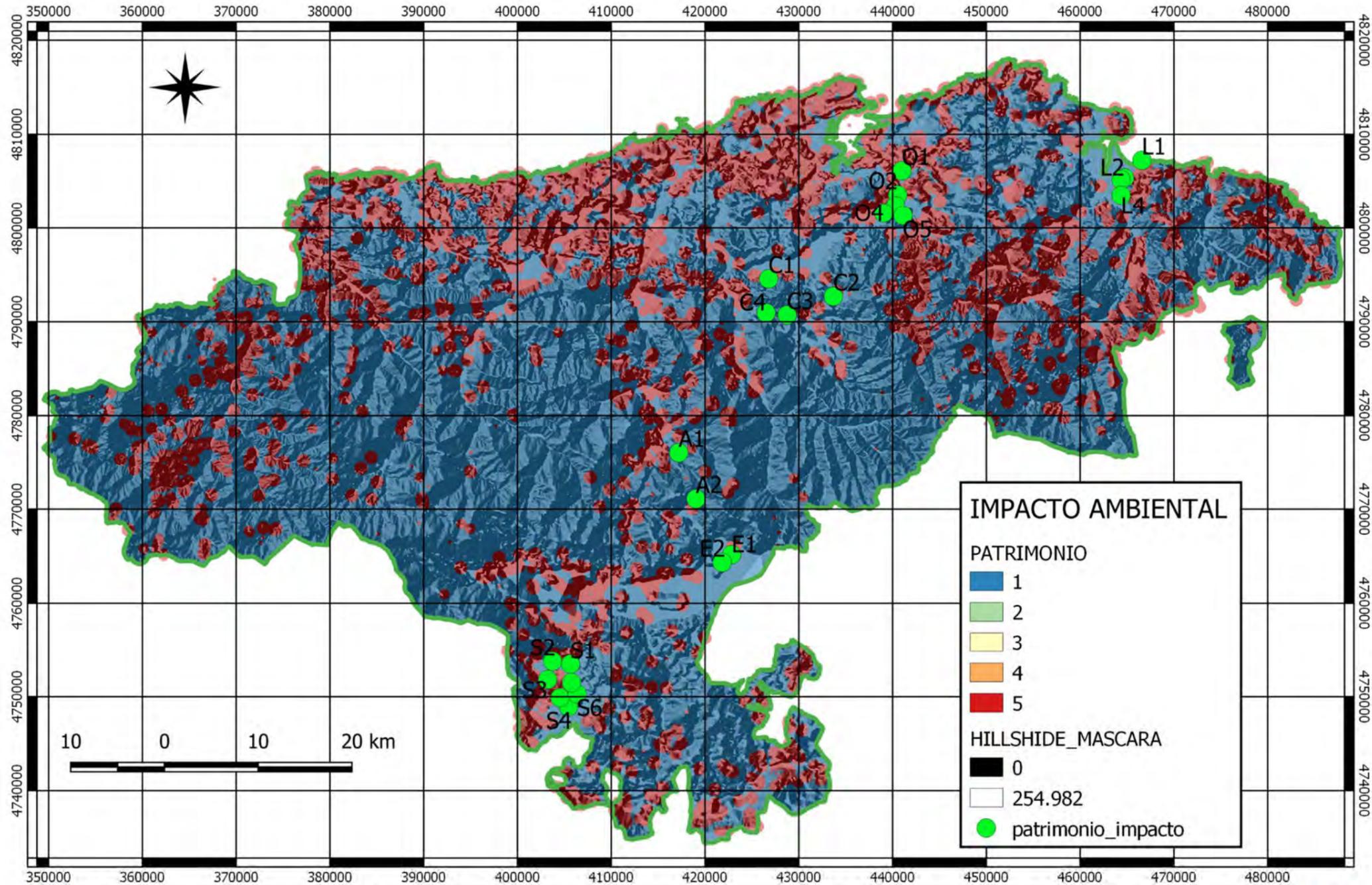
Tabla Número 30. Valoración del impacto sobre sobre patrimonio.

- 3- El mapa vectorial valorado se rasteriza según el valor de impacto y se genera el mapa de impacto patrimonio.
- 4- Para posteriormente poder comprobar los resultados de la metodología, se proyecta el mapa con los puntos de afloramiento sobre el mapa rasterizado



“Impacto patrimonio” y se obtiene el valor de este impacto para cada punto de afloramiento, que se recoge en la tabla N°38.

El mapa N°9 IMPACTO PATRIMONIO es el siguiente:



Nº

Fecha:

Título:

Autor:

Escala:  
1:500000





#### 4.4.10. Mapa de impacto población.

Todas las actuaciones que afectan al medio ambiente, de forma directa o indirecta, tienen su repercusión sobre las personas y la población, sobre todo en el aspecto social. En este aspecto es donde se centra la valoración, siguiendo la premisa de la aceptación social, en nuestro modelo, la incidencia se implementa en base a la densidad de población, de los lugares donde se encuentran los afloramientos.

Los municipios con mayor densidad de población el valor del impacto será mayor.

El mapa impacto población se compone de los siguientes elementos:

- 1- Sobre el mapa base la provincia de Cantabria, se añade el mapa con las poblaciones de Cantabria y el de los límites de los municipios. Se juntan y crean el mapa vectorial “municipios”.
- 2- Operando en la tabla de atributos de este mapa se introduce un campo para el cálculo de la superficie de cada municipio, otro para introducir el número de habitantes de cada municipio y otro campo para el cálculo de la densidad de población, con lo que se obtiene el mapa clasificado por esta vía, en habitantes por hectárea.

	NOMBRE	AREA	PERIMETER	MUNICIPIOS	COD_INE	POBDE91	POBDE96	TASACREC	COSTERO	DENSIDAD
1	Val de San Vice...	5098,445464	38198,200000	29	39095,000000	2561	2536	-0,98	S	0,497
2	Valdáliga	9785,915887	54980,000000	35	39091,000000	2762	2652	-3,980000	S	0,271
3	Tudanca	5225,994524	35948,700000	82	39089,000000	295	275	-6,780000	N	0,053
4	Udías	1963,106374	20027,300000	45	39090,000000	851	847	-0,47	N	0,431
5	Valderredible	29841,445527	167590,000000	105	39094,000000	1263	1165	-7,760000	N	0,039
6	Vega de Liébana	13308,393036	51557,900000	91	39096,000000	1124	1063	-5,430000	N	0,08
7	Valdeolea	8373,118016	39990,000000	104	39092,000000	1787	1626	-9,010000	N	0,194
8	Valdeprado del ...	8894,915083	52286,700000	106	39093,000000	369	319	-13,550000	N	0,036
9	Ruesga	8783,883742	45306,700000	51	39067,000000	1343	1281	-4,620000	N	0,146
10	Ruiloba	1510,691620	17346,900000	30	39068,000000	740	708	-4,320000	S	0,469
11	Riotuerto	3047,204639	26221,600000	44	39064,000000	1568	1535	-2,100000	N	0,504
12	Ruente	6582,303770	39435,300000	67	39066,000000	963	949	-1,450000	N	0,144
13	San Pedro del R...	5695,669021	37838,800000	89	39071,000000	801	693	-13,480000	N	0,122

Figura Número 35. Tabla de atributos del mapa municipios con la densidad de población.

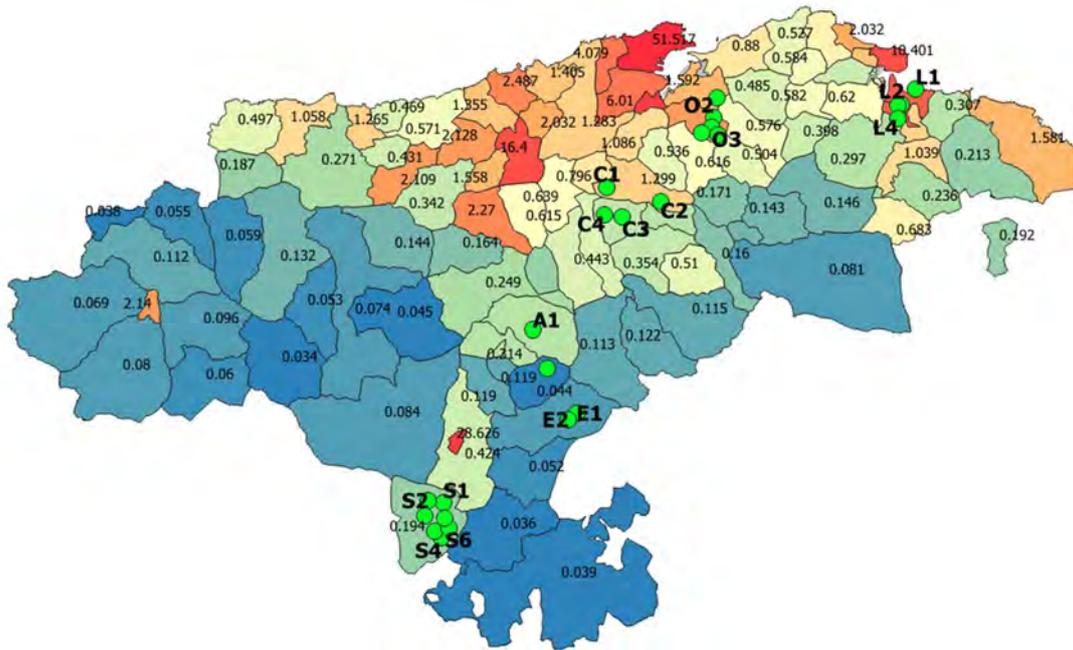


Figura Número 35. Densidad de población de Cantabria.

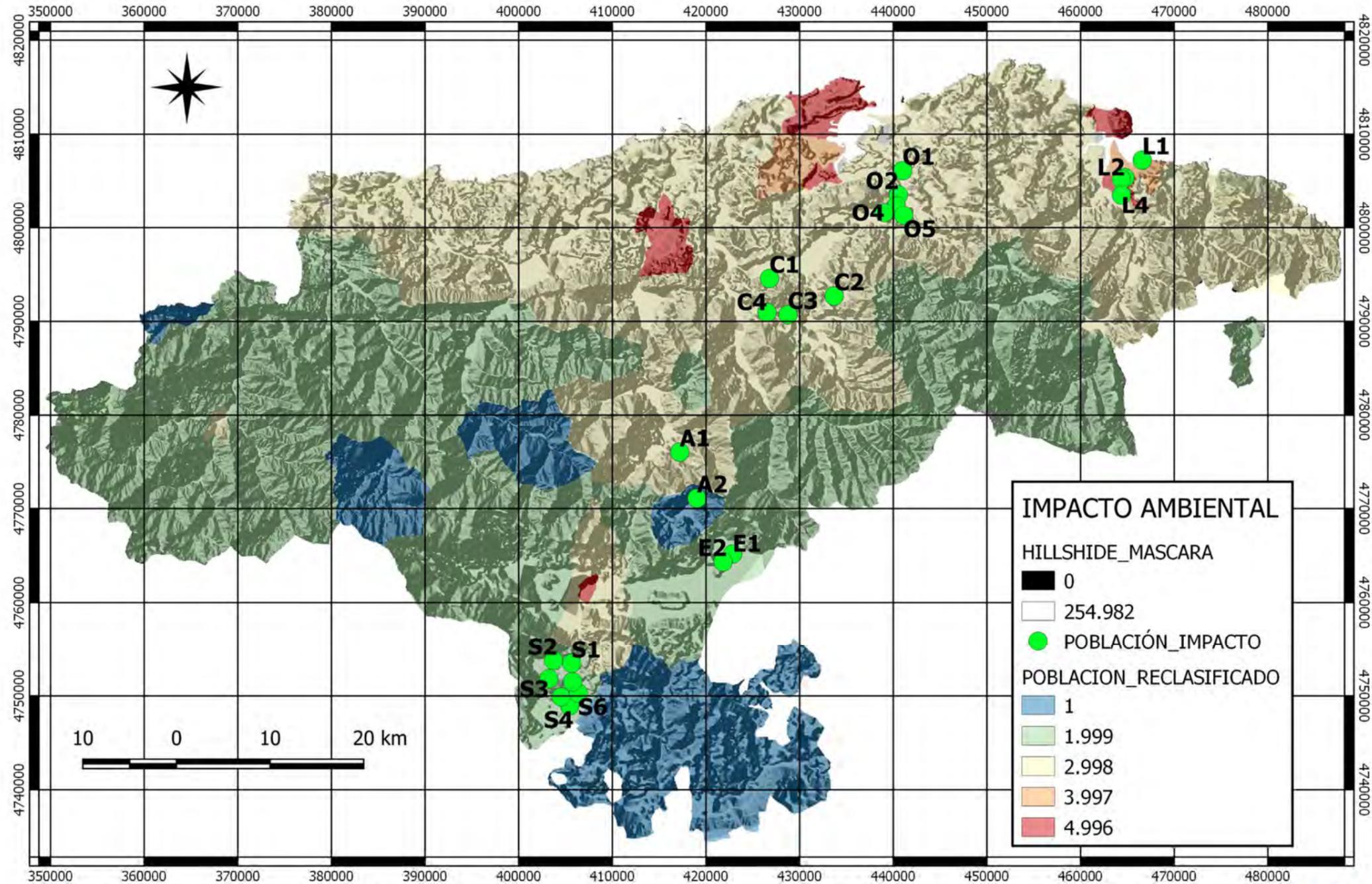
- 3- El mapa de los municipios, se convierte a formato ráster en función del campo densidad de población y este mapa ráster se reclasifica según la siguiente expresión:

DENSIDAD DE POBLACIÓN	VALOR DE IMPACTO
$0 < \text{densidad} \leq 0.05$	1
$0.05 < \text{densidad} \leq 0.20$	2
$0.20 < \text{densidad} \leq 5$	3
$5 < \text{densidad} \leq 10$	4
$10 < \text{densidad} \leq 55$	5

Tabla Número 31. Valoración del impacto sobre la población.

- 4- Una vez reclasificado se obtiene el mapa impacto población.
- 5- Para posteriormente poder comprobar los resultados de la metodología, se proyecta el mapa con los puntos de afloramiento sobre el mapa rasterizado "Impacto población" y se obtiene el valor de este impacto para cada punto de afloramiento, que se recoge en la tabla N°38.

El mapa N°10 IMPACTO POBLACIÓN es el siguiente:



Nº

Fecha:

Título:

Autor:

Escala:  
1:500000





#### 4.4.11. Mapa de impacto infraestructuras.

Todas las infraestructuras, tanto viarias, ferrocarril y transporte de energía, necesitan de zonas de servidumbre y su traza no puede ser modificada o afectada. En condiciones normales una explotación minera no se puede implantar en mitad de una de estas trazas. Cualquier afección a estas infraestructuras tiene un impacto económico y social a nivel regional y municipal.

Las infraestructuras a tener en cuenta son las siguientes:

1. Red de carreteras
  - 1.1. Autopistas
  - 1.2. Nacionales
  - 1.3. Carreteras autonómicas
2. Red ferroviaria
3. Red general de distribución eléctrica
  - 3.1. Línea de 400 kv
  - 3.2. Línea de 220 kv
  - 3.3. Línea de 130 kv
  - 3.4. Línea de 55 kv
  - 3.5. Línea de 30 kv
4. Localización de subestaciones eléctricas.

El mapa impacto infraestructuras se compone de los siguientes elementos:

- 1- Mapa base de la provincia de Cantabria, con un campo de valor de impacto en su tabla de atributos de valor 1.
- 2- Mapa de la red de carreteras, sobre el que se proponen 4 buffer de distancias de 100, 300, 500 y 700 m, posteriormente se independizan áreas y se crea el campo valor de impacto en su tabla de atributos considerando el siguiente valor de impacto:

DISTANCIA CARRETERAS	VALOR DE IMPACTO
100 m.	5
300 m.	4
500 m.	3
700 m.	2

Tabla Número 32. Valoración del impacto sobre carreteras.



- 3- Mapa de la red ferroviaria, sobre el que se realiza un buffer de 200 m. de área de influencia. Se crea un campo de valor de impacto en su tabla de atributos y se valora según el siguiente argumento:

DISTANCIA FERROCARRILES	VALOR DE IMPACTO
200 m.	5

Tabla Número 33. Valoración del impacto sobre líneas férreas.

- 4- Mapa de la red general de distribución eléctrica, generando un buffer de 100 m. de protección. Se crea un campo de valor de impacto a su tabla de atributos dotándole de la siguiente valoración:

DISTANCIA REDES ELECTRICAS	VALOR DE IMPACTO
100 m.	5

Tabla Número 34. Valoración del impacto sobre red eléctrica.

- 5- Mapa con los puntos de ubicación de las subestaciones eléctricas, se aplica un buffer de 200 m. dotándole de un campo de valor de impacto en su tabla de atributos con la siguiente valoración:

DISTANCIA SUBESTACIONES	VALOR DE IMPACTO
200 m.	5

Tabla Número 35. Valoración del impacto sobre subestaciones eléctricas.

- 6- Se realiza una unión de los mapas anteriores generando el mapa total infraestructuras donde todas sus entidades están valoradas de 1 – 5.

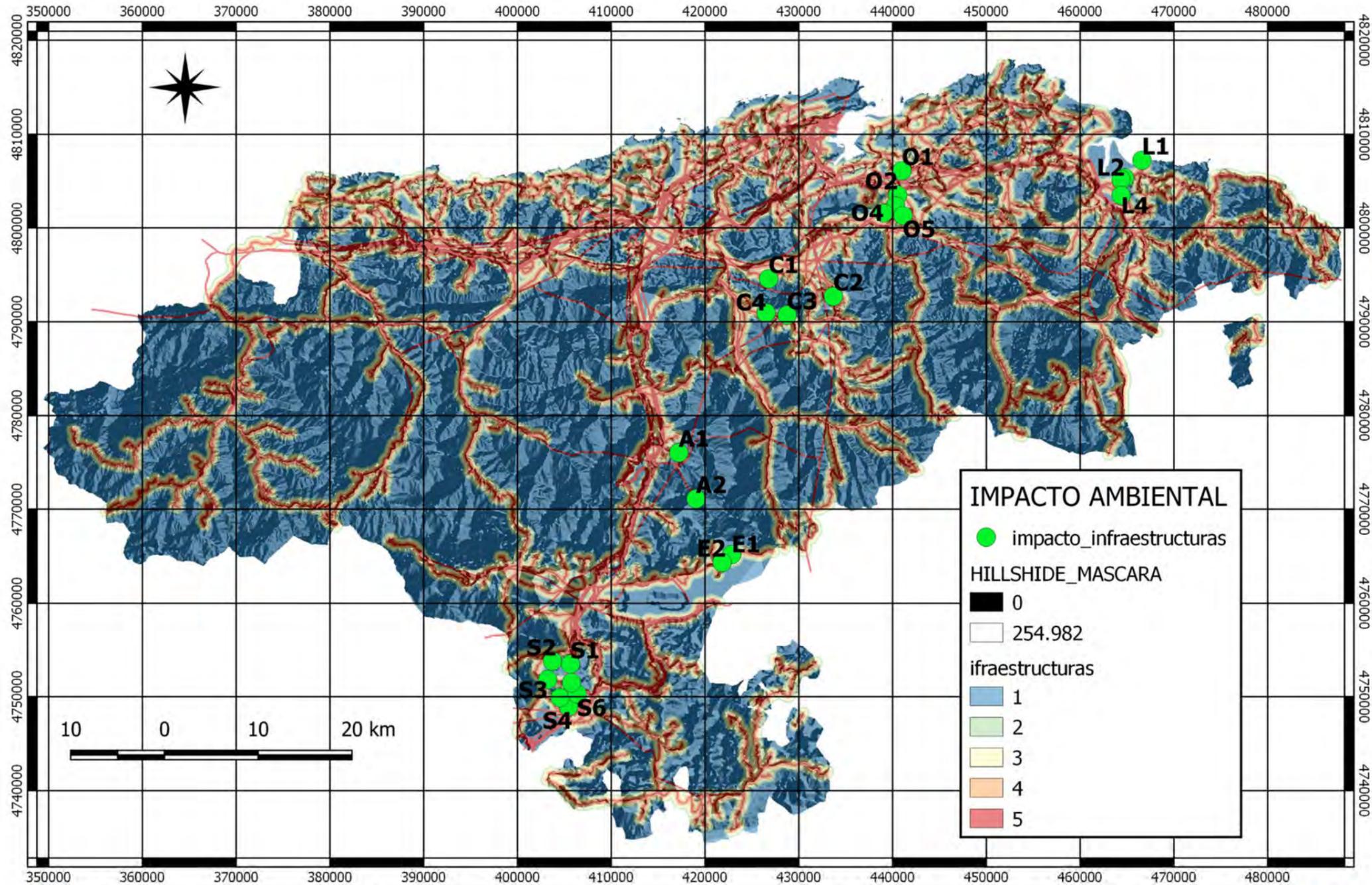


	Carretera	Longitud	Denomina	Tipo	valor	layer	OBJECTID	KV	SHAPE_Leng
1551	CA-615	4147,00000	NULL	Carretera Red L...		2 carreteras_700	NULL	NULL	NULL
1552	CA-620	7162,00000	VEGA DE VILLA...	Carretera Red L...		2 carreteras_700	NULL	NULL	NULL
1553	CA-621	1599,00000	LLERANA-COTE...	Carretera Red L...		2 carreteras_700	NULL	NULL	NULL
1554	CA-618	6001,00000	STA. MARÍA DE ...	Carretera Red L...		2 carreteras_700	NULL	NULL	NULL
1555	CA-619	3664,00000	RUDA-ESLES	Carretera Red L...		2 carreteras_700	NULL	NULL	NULL
1556	CA-624	4178,00000	ACCESO APISU...	Carretera Red L...		2 carreteras_700	NULL	NULL	NULL
1557	CA-625	5497,00000	SANTIBÁÑEZ-S...	Carretera Red L...		2 carreteras_700	NULL	NULL	NULL
1558	CA-622	3391,00000	VILLACARRIED...	Carretera Red L...		2 carreteras_700	NULL	NULL	NULL
1559	CA-623	6496,00000	SELAYA-BUSTA...	Carretera Red L...		2 carreteras_700	NULL	NULL	NULL
1560	NULL	NULL	NULL	NULL		5 NULL	5541	55 KV	110,86410249900
1561	NULL	NULL	NULL	NULL		5 NULL	5542	55 KV	336,51886307800
1562	NULL	NULL	NULL	NULL		5 NULL	5547	55 KV	296,72922431900
1563	NULL	NULL	NULL	NULL		5 NULL	5548	55 KV	236,92400364900
1564	NULL	NULL	NULL	NULL		5 NULL	5545	55 KV	265,81006100500

Figura Número 36. Parte de la tabla de atributos del shape total infraestructuras.

- 7- Se convierte a ráster el mapa total infraestructuras en función del campo valor de impacto y se obtiene el mapa impacto infraestructuras clasificado de 1 – 5.
- 8- Para posteriormente poder comprobar los resultados de la metodología, se proyecta el mapa con los puntos de afloramiento sobre el mapa rasterizado “Impacto infraestructuras” y se obtiene el valor de este impacto para cada punto de afloramiento, que se recoge en la tabla N°38.

El mapa N°11 IMPACTO INFRAESTRUCTURAS es el siguiente:



Nº

Fecha:

Título:

Autor:

Escala:  
1:500000





#### 4.4.12. Mapa de impacto planeamiento urbanístico.

Una de los aspectos prioritarios antes de iniciar e instalar cualquier actividad minera hay que tener en cuenta la ordenación de cada territorio, cuyo instrumento legal son los planes urbanísticos aprobados y en los lugares que carecen del mismo las normas urbanísticas regionales de planificación. Se debe reseñar, que en nuestro modelo no estamos buscando las zonas de exclusión, si no, poder calcular un índice cuantitativo sobre un aspecto cualitativo.

El mapa impacto planeamiento urbano se compone de los siguientes elementos:

- 1- Mapa vectorial de la ordenación del territorio de Cantabria, en el que en la tabla de atributos se crea el campo valor de impacto según los siguientes criterios.

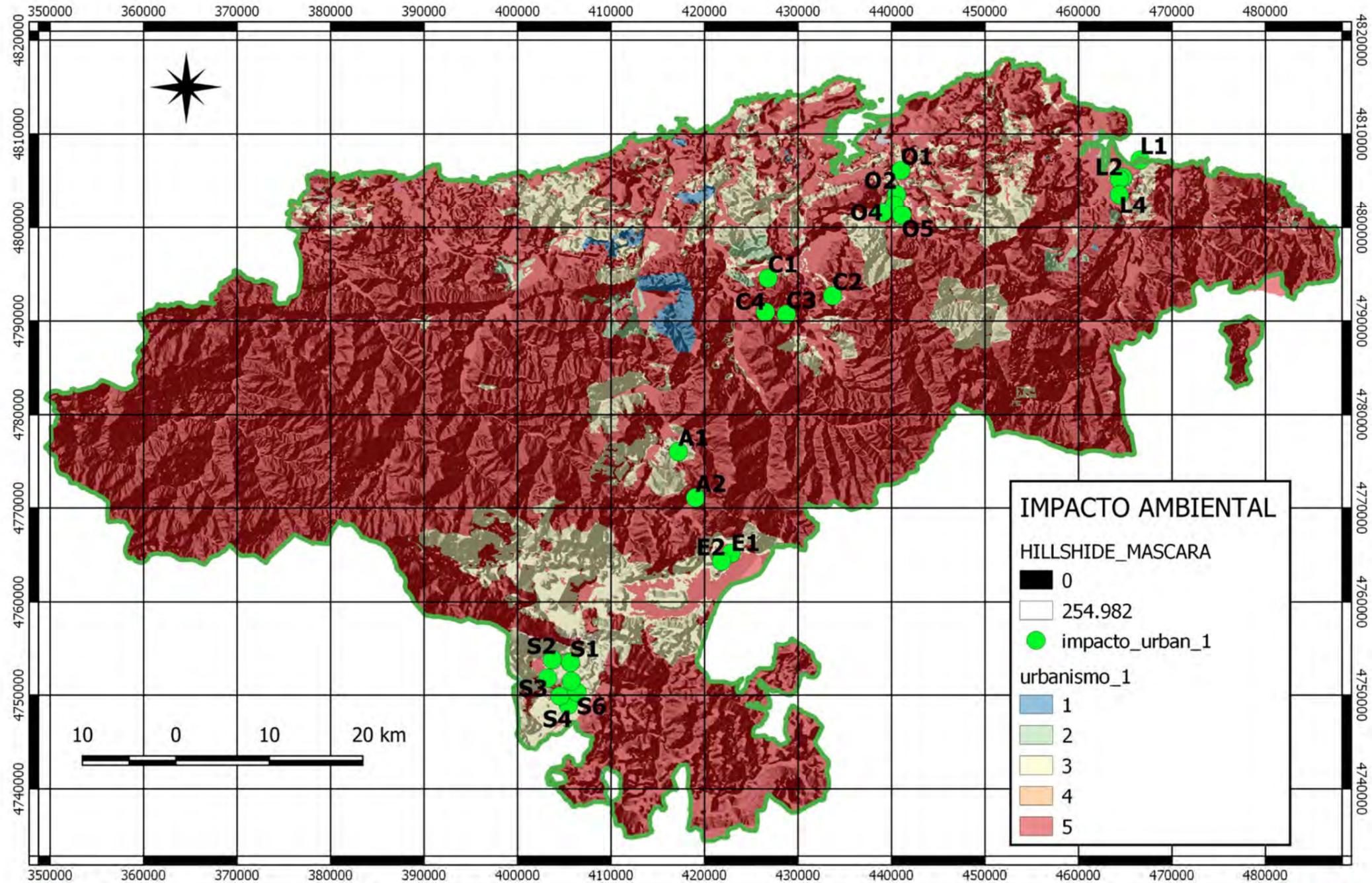
CLASIFICACIÓN DEL SUELO	VALOR IMPACTO
- suelo rústico especial protección - suelo urbano consolidado - suelo urbanizable limitado - suelo urbano no consolidado	5
- Suelo rústico de protección ordinaria	3
- Suelo no urbanizable 3. interés forestal - Suelo no urbanizable agrícola - Suelo no urbanizable de régimen normal - suelo no urbanizable forestal y ganadero (alejado de núcleo)	2
- suelo no urbanizable protección minera - suelo no urbanizable protegido especial 2 minero-agropecuario - suelo no urbanizable de protección de actividades extractivas - Suelo no urbanizable 2 de interés forestal y extracción Minera - suelo no urbanizable clase IV. canteras a cielo abierto	1

Tabla Número 36. Valoración del impacto sobre el planeamiento urbanístico.

- 2- Este mapa vectorial se convierte a ráster en función del campo valor de impacto y se obtiene el mapa impacto planeamiento urbano, clasificado de 1 – 5.
- 3- Para posteriormente poder comprobar los resultados de la metodología, se proyecta el mapa con los puntos de afloramiento sobre el mapa rasterizado "Impacto infraestructuras" y se obtiene el valor de este impacto para cada punto de afloramiento, que queda recogido en la tabla N°38.



El mapa N°12 IMPACTO PLANEAMIENTO URBANÍSTICO es el siguiente:



Nº

Fecha:

Título:

Autor:

Escala:  
1:500000



#### 4.5. MAPA DEL ÍNDICE DE IMPACTO AMBIENTAL

Para la elaboración del mapa índice de impacto ambiental, es donde la herramienta de GIS demuestra su potencial en el algebra de mapas, al poder superponer todos los mapas de impacto creados y realizar la suma ponderada de los mismos con sus coeficientes de ponderación.

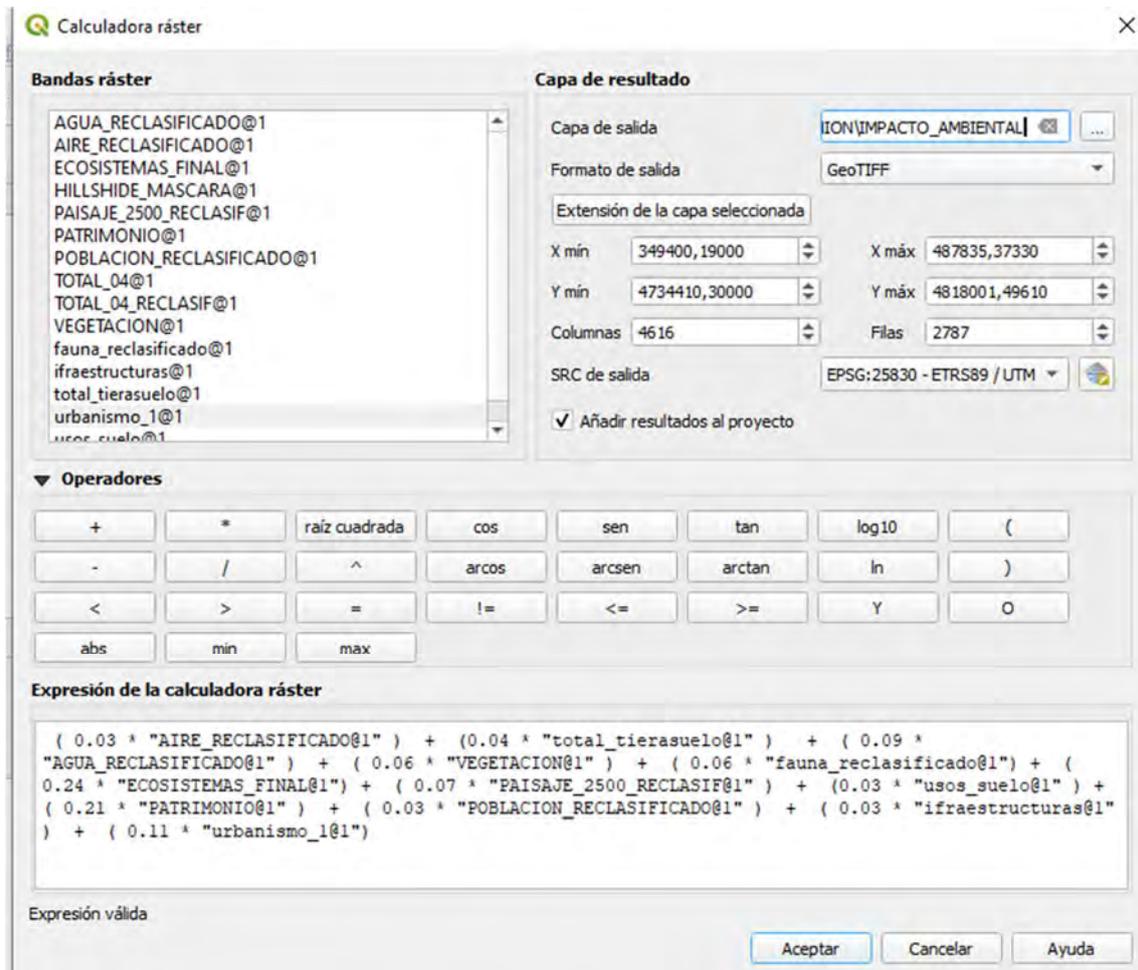


Figura Número 37. Calculadora ráster con la secuencia implementada de cálculo.

El mapa resultante tiene valores de impacto comprendidos del 1.179 al 4.659, para normalizar estos valores se reclasifican según la siguiente expresión:

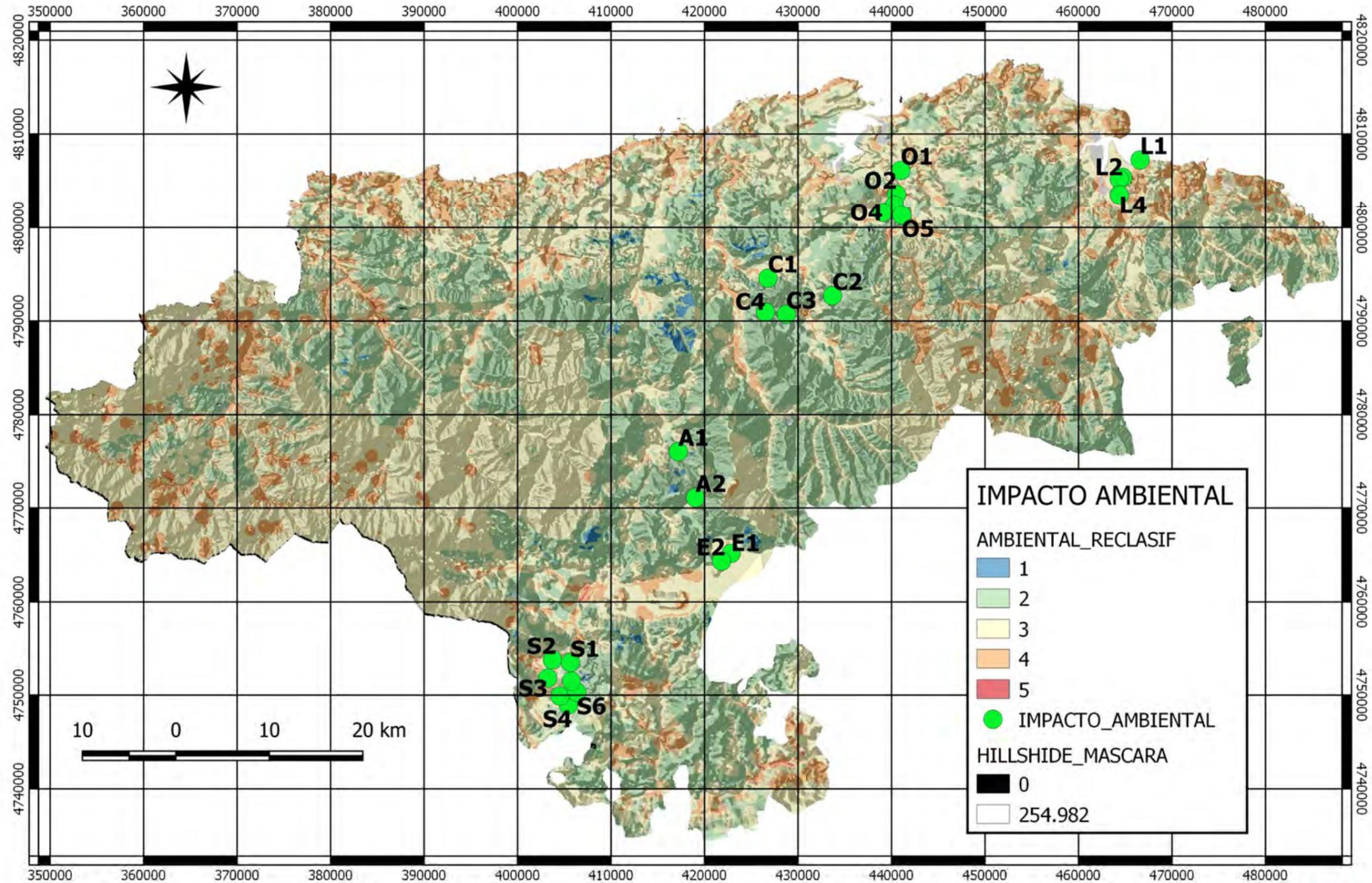


RANGO RECLASIFICACIÓN	VALOR IMPACTO
$0 < \text{valor} \leq 1.50$	1
$1.50 < \text{valor} \leq 2.50$	2
$2.50 < \text{VALOR} \leq 3.50$	3
$3.5 < \text{valor} \leq 4.50$	4
$4.50 < \text{valor} \leq 5$	5

*Tabla Número 37. Valoración del índice de impacto ambiental.*

Al igual que las anteriores composiciones, se proyecta el mapa con los puntos de afloramiento sobre el mapa rasterizado "Impacto ambiental" sin reclasificar y también sobre el mapa reclasificado (para comparar resultados) y se obtiene el valor de este impacto para cada punto de afloramiento, que recoge en la tabla N°39.

El mapa N°13 IMPACTO AMBIENTAL es el siguiente:



Nº

Fecha:

Título:

Autor:

Escala:  
1:500000





## 4.6. VALIDACIÓN DEL MODELO

### 4.6.1. Resultados parciales del impacto por componentes

En la siguiente tabla recogemos los valores de impacto obtenidos en los mapas parciales:

VALORES DE IMPACTO PARCIALES												
COEFICIENTES DE PONDERACIÓN	3,0%	4,0%	9,0%	6,0%	6,0%	24,0%	7,0%	3,0%	21,0%	3,0%	3,0%	11,0%
	AIRE	TIERRA-SUELO	AGUA	VEGETACION	FAUNA	ECOSISTEMAS ESPECIALES	PAISAJE	PRODUCTIVO	ZONAS DE INTERES CULTURAL Y CIENTIFICO	DENSIDAD DE POBLACIÓN	INFRAESTRUCTURA VIARIA	PLANEAMIENTO URBANISTICO
L1	3	1	1	3	1	5	1	1	5	4	2	5
L2	5	1	1	3	1	5	2	3	5	4	5	3
L3	5	1	1	3	1	3	4	5	5	4	5	3
L4	5	1	3	3	1	5	2	3	5	5	5	5
O1	4	1	1	3	1	3	2	3	1	3	3	3
O2	5	1	1	3	1	3	3	5	5	3	4	5
O3	4	2	1	3	1	3	3	3	1	3	4	5
O4	5	2	1	3	1	3	2	3	1	3	3	5
O5	5	2	1	3	1	3	1	3	1	3	3	5
C1	4	1	5	4	1	1	1	4	1	3	3	5
C2	3	1	3	3	1	1	2	3	5	3	4	5
C3	5	1	1	3	1	1	3	3	5	3	1	5
C4	5	1	5	3	1	1	2	3	5	3	4	5
A1	4	1	1	3	1	1	1	1	1	3	1	3
A2	1	1	3	3	1	1	1	4	1	1	1	5
E1	4	1	1	3	1	3	2	3	5	2	3	3
E2	3	1	3	3	1	3	2	3	1	2	4	3
S1	5	1	1	3	5	1	2	1	5	2	3	3
S2	3	1	1	3	5	3	2	3	1	2	1	3
S3	3	1	1	3	5	3	2	3	1	2	5	3
S4	4	1	1	1	5	1	2	3	5	2	5	5
S5	5	1	1	3	5	1	3	3	5	2	1	3
S6	5	1	1	3	5	3	2	5	1	2	4	3
S7	5	1	1	3	5	3	2	3	5	2	4	3

Tabla Número 38. Valores de impacto parciales.

Estos valores se normalizan mediante el vector de coeficientes de ponderación, y posteriormente se obtiene el valor de impacto total para cada afloramiento. En la misma tabla se introducen los valores obtenidos del mapa de impacto ambiental, tanto los valores sin reclasificar como los reclasificados. Así se pueden comparar y observar las posibles desviaciones. El proceso descrito se puede apreciar en la siguiente tabla:



VALORES DE IMPACTO PONDERADOS																
	AIRE	TIERRA-SUELO	AGUA	VEGETACION	FAUNA	ECOSISTEMAS ESPECIALES	PAISAJE	PRODUCTIVO	ZONAS DE INTERES CULTURAL Y CIENTIFICO	DENSIDAD DE POBLACIÓN	INFRAESTRUCTURA VIARIA	PLANEAMIENTO URBANISTICO	IMPACTO TOTAL	IMPACTO TOTAL REDONDEADO	MODELO GRÁFICO	MODELO RECLASIFICADO
L1	0,09	0,04	0,09	0,18	0,06	1,20	0,07	0,03	1,05	0,12	0,06	0,55	3,54	4	3,54	4
L2	0,15	0,04	0,09	0,18	0,06	1,20	0,14	0,09	1,05	0,12	0,15	0,33	3,60	4	3,93	4
L3	0,15	0,04	0,09	0,18	0,06	0,72	0,28	0,15	1,05	0,12	0,15	0,33	3,32	3	3,32	3
L4	0,15	0,04	0,27	0,18	0,06	1,20	0,14	0,09	1,05	0,15	0,15	0,55	4,03	4	4,03	4
O1	0,12	0,04	0,09	0,18	0,06	0,72	0,14	0,09	0,21	0,09	0,09	0,33	2,16	2	2,16	2
O2	0,15	0,04	0,09	0,18	0,06	0,72	0,21	0,15	1,05	0,09	0,12	0,55	3,41	3	3,41	3
O3	0,12	0,08	0,09	0,18	0,06	0,72	0,21	0,09	0,21	0,09	0,12	0,55	2,52	3	2,52	3
O4	0,15	0,08	0,09	0,18	0,06	0,72	0,14	0,09	0,21	0,09	0,09	0,55	2,45	2	2,45	2
O5	0,15	0,08	0,09	0,18	0,06	0,72	0,07	0,09	0,21	0,09	0,09	0,55	2,38	2	2,38	2
C1	0,12	0,04	0,45	0,24	0,06	0,24	0,07	0,12	0,21	0,09	0,09	0,55	2,28	2	2,28	2
C2	0,09	0,04	0,27	0,18	0,06	0,24	0,14	0,09	1,05	0,09	0,12	0,55	2,92	3	2,92	3
C3	0,15	0,04	0,09	0,18	0,06	0,24	0,21	0,09	1,05	0,09	0,03	0,55	2,78	3	2,78	3
C4	0,15	0,04	0,45	0,18	0,06	0,24	0,14	0,09	1,05	0,09	0,12	0,55	3,16	3	3,16	3
A1	0,12	0,04	0,09	0,18	0,06	0,24	0,07	0,03	0,21	0,09	0,03	0,33	1,49	1	1,49	1
A2	0,03	0,04	0,27	0,18	0,06	0,24	0,07	0,12	0,21	0,03	0,03	0,55	1,83	2	2,01	2
E1	0,12	0,04	0,09	0,18	0,06	0,72	0,14	0,09	1,05	0,06	0,09	0,33	2,97	3	2,97	3
E2	0,09	0,04	0,27	0,18	0,06	0,72	0,14	0,09	0,21	0,06	0,12	0,33	2,31	2	2,31	2
S1	0,15	0,04	0,09	0,18	0,30	0,24	0,14	0,03	1,05	0,06	0,09	0,33	2,70	3	2,70	3
S2	0,09	0,04	0,09	0,18	0,30	0,72	0,14	0,09	0,21	0,06	0,03	0,33	2,28	2	2,28	2
S3	0,09	0,04	0,09	0,18	0,30	0,72	0,14	0,09	0,21	0,06	0,15	0,33	2,40	2	2,40	2
S4	0,12	0,04	0,09	0,06	0,30	0,24	0,14	0,09	1,05	0,06	0,15	0,55	2,89	3	2,89	3
S5	0,15	0,04	0,09	0,18	0,30	0,24	0,21	0,09	1,05	0,06	0,03	0,33	2,77	3	2,77	3
S6	0,15	0,04	0,09	0,18	0,30	0,72	0,14	0,15	0,21	0,06	0,12	0,33	2,49	2	2,49	2
S7	0,15	0,04	0,09	0,18	0,30	0,72	0,14	0,09	1,05	0,06	0,12	0,33	3,27	3	3,27	3

Tabla Número 39. Valores de impacto ambiental comparados.



#### 4.6.2. Análisis y validación de resultados

Podemos afirmar, a la evidencia de los resultados, que no existen errores en el desarrollo del proceso, el modelo funciona de forma análoga, tanto parcialmente como de forma conjunta. También el proceso de reclasificación es satisfactorio, ya que en la escala de valores en la que trabajamos, los datos decimales no son significativos y para una mejor comprensión de resultados, es preciso trabajar con valores enteros.

Para comprobar, como funciona nuestro modelo, implementamos el mismo en el cálculo del índice de explotabilidad de las ofitas en Cantabria realizado por la tutora de esta investigación Fernández Maroto. G y comparamos los resultados obtenidos con los criterios originales y los resultados con los criterios de nuestro modelo. Para poder comparar nuestro modelo debemos unificar criterios de valoración, en el cálculo original está valorado de 0 – 4, y nuestro modelo de 1 – 5. Para ello realizamos una reclasificación con la siguiente expresión:

CONDICIÓN RECLASIFICACIÓN	VALOR RECLASIFICADO
$0 \leq \text{valor} < 1.50$	0
$1.50 \leq \text{valor} < 2$	1
$2 \leq \text{valor} < 2.50$	2
$2.50 \leq \text{valor} < 3.50$	3
$3.50 \leq \text{valor} < 5$	4

Tabla Número 40. Reclasificación de resultados.

En la siguiente tabla se pueden comparar los resultados obtenidos:



CALCULO DEL ÍNDICE DE EXPLOTABILIDAD CON LOS CRITERIOS MEDIOAMBIENTALES ORIGINALES											CALCULO DEL ÍNDICE DE EXPLOTABILIDAD CON LOS CRITERIOS DEL MODELO PROPUESTO												
ZONA	NOMBRE	X UTM30	Y UTM30	PONDERACIÓN						le Total	VALORACIÓN TOTAL	ZONA	NOMBRE	X UTM30	Y UTM30	PONDERACIÓN						le Total	VALORACIÓN TOTAL
				1	2	3	2	3	5							1	2	3	2	3	5		
				JERARQUIZACIÓN												JERARQUIZACIÓN							
				Morf	Distcar	DistFC	Meteor	Reserv	Impac					Morf	Distcar	DistFC	Meteor	Reserv	Impac				
LAREDO	L1	466.596	4.807.248	0	1	2	3	2	4	62,50	Malo	L1	466.596	4.807.248	0	1	2	3	2	4	62,50	Malo	
	L2	464.736	4.805.381	0	0	1	2	2	4	51,56	Aceptable	L2	464.736	4.805.381	0	0	1	2	2	4	51,56	Aceptable	
	L3	464.373	4.805.197	2	0	1	3	3	4	62,50	Malo	L3	464.373	4.805.197	2	0	1	3	3	3	54,69	Aceptable	
	L4	464.370	4.803.527	2	0	1	3	4	4	67,19	Malo	L4	464.370	4.803.527	2	0	1	3	4	4	67,19	Malo	
OREJO	O1	440.996	4.806.134	2	0	1	3	0	4	48,44	Aceptable	O1	440.996	4.806.134	2	0	1	3	0	2	32,81	Bueno	
	O2	440.544	4.803.559	2	0	0	4	3	4	60,94	Malo	O2	440.544	4.803.559	2	0	0	4	3	3	53,13	Aceptable	
	O3	440.314	4.802.393	3	1	1	4	4	2	59,38	Aceptable	O3	440.314	4.802.393	3	1	1	4	4	3	67,19	Malo	
	O4	439.051	4.801.610	3	1	1	3	4	2	56,25	Aceptable	O4	439.051	4.801.610	3	1	1	3	4	2	56,25	Aceptable	
	O5	441.103	4.801.335	0	1	1	3	0	2	32,81	Bueno	O5	441.103	4.801.335	0	1	1	3	0	2	32,81	Bueno	
CENTRO	C1	426.780	4.794.575	2	0	1	4	0	2	35,94	Bueno	C1	426.780	4.794.575	2	0	1	4	0	2	35,94	Bueno	
	C2	433.684	4.792.702	1	0	3	3	0	0	25,00	Bueno	C2	433.684	4.792.702	1	0	3	3	0	3	48,44	Aceptable	
	C3	428.748	4.790.714	1	0	2	3	0	2	35,94	Bueno	C3	428.748	4.790.714	1	0	2	3	0	3	43,75	Aceptable	
	C4	426.511	4.790.954	1	0	1	2	0	2	28,13	Bueno	C4	426.511	4.790.954	1	0	1	2	0	3	35,94	Bueno	
ALSA	A1	417.193	4.775.999	2	1	1	4	0	0	23,44	Bueno	A1	417.193	4.775.999	2	1	1	4	0	0	23,44	Bueno	
	A2	419.030	4.771.093	2	1	4	4	4	1	64,06	Malo	A2	419.030	4.771.093	2	1	4	4	4	1	64,06	Malo	
EBRO	E1	422.833	4.765.166	2	0	3	3	2	4	67,19	Malo	E1	422.833	4.765.166	2	0	3	3	2	3	59,38	Aceptable	
	E2	421.818	4.764.334	2	0	3	3	3	4	71,88	Malo	E2	421.818	4.764.334	2	0	3	3	3	2	56,25	Aceptable	
SUR	S1	405.647	4.753.471	2	2	2	2	0	0	25,00	Bueno	S1	405.647	4.753.471	2	2	2	2	0	3	48,44	Aceptable	
	S2	403.719	4.753.778	1	1	2	2	0	1	28,13	Bueno	S2	403.719	4.753.778	1	1	2	2	0	2	35,94	Bueno	
	S3	403.213	4.751.824	2	0	1	1	2	0	20,31	Bueno	S3	403.213	4.751.824	2	0	1	1	2	2	35,94	Bueno	
	S4	405.430	4.748.928	1	1	1	2	4	1	42,19	Aceptable	S4	405.430	4.748.928	1	1	1	2	4	3	57,81	Aceptable	
	S5	404.522	4.749.890	1	1	1	2	4	1	42,19	Aceptable	S5	404.522	4.749.890	1	1	1	2	4	3	57,81	Aceptable	
	S6	406.357	4.750.296	2	1	0	1	2	0	18,75	Muy Bueno	S6	406.357	4.750.296	2	1	0	1	2	2	34,38	Bueno	
	S7	405.756	4.751.498	2	1	1	2	2	4	57,81	Aceptable	S7	405.756	4.751.498	2	1	1	2	2	3	50,00	Aceptable	

Tabla Número 41. Valores comparados del índice de explotabilidad de las ofitas en Cantabria.



Se puede observar que los valores de impacto del modelo propuesto apenas varían para adaptarse a la hoja de cálculo original, los únicos cambios se producen en los valores bajos de casi nulo impacto.

En la siguiente tabla se recogen aquellos índices que varían, produciendo un cambio de clasificación, para su posterior análisis:

AFLORAMIENTOS			INDICE ORIGINAL			INDICE RECALCULADO			DIFERENCIA RECALCULADO - ORIGINAL
AFLORAMIENTOS	UTM X	UTM Y	VALOR IMPACTO AMBIENTAL	INDICE DE EXPLOTABILIDAD	CLASIFICACIÓN	VALOR IMPACTO AMBIENTAL	INDICE DE EXPLOTABILIDAD	CLASIFICACIÓN	
L3	464.373	4.805.197	4	62,50	Malo	3	54,69	Aceptable	-7,81
O1	440.996	4.806.134	4	48,44	Aceptable	2	32,81	Bueno	-15,63
O2	440.544	4.803.559	4	60,94	Malo	3	53,13	Aceptable	-7,81
O3	440.314	4.802.393	2	59,38	Aceptable	3	67,19	Malo	7,81
C2	433.684	4.792.702	0	25,00	Bueno	3	48,44	Aceptable	23,44
C3	428.748	4.790.714	2	35,94	Bueno	3	43,75	Aceptable	7,81
E1	422.833	4.765.166	4	67,19	Malo	3	59,38	Aceptable	-7,81
E2	421.818	4.764.334	4	71,88	Malo	2	56,25	Aceptable	-15,63
S1	405.647	4.753.471	0	25,00	Bueno	3	48,44	Aceptable	23,44
S6	406.357	4.750.296	0	18,75	Muy Bueno	2	34,38	Bueno	15,63

Tabla Número 42. Diferencias de clasificación comparada

La clasificación se mueve en rangos de 20 en 20 unidades, con lo que en aquellos afloramientos donde las diferencias entre los índices no superan las 10 unidades, el modelo propuesto se ajusta y redefine aquellos que se encuentra cerca de los valores de cambio de clasificación. Cuando las diferencias son de más de 15 unidades, el modelo propuesto, corrige alguna de las hipótesis con las que se ha elaborado el original.

Analizando los valores parciales de los 12 parámetros que confeccionan el modelo, se pueden explicar aquellas diferencias sustantivas mayores de 15 unidades.

- 1- En el afloramiento O1, el modelo propuesto, indica que no tiene restricciones legales significativas y sí está cerca de núcleos urbanos.
- 2- En el afloramiento C2, el modelo propuesto, indica que tiene restricciones legales altas (el impacto planeamiento urbano tiene valor de 5 y el impacto a las zonas de interés cultural tiene valor 5).
- 3- En el afloramiento E2, el modelo propuesto, indica que no tiene restricciones legales moderadas y la cercanía a núcleos urbanos es a su vez moderada.
- 4- En el afloramiento S1, el modelo propuesto, indica que tiene restricciones legales al encontrarse muy cerca de bienes de interés cultural y cerca de núcleos urbanos, aunque de baja densidad. (el impacto a las zonas de interés cultural es de valor 5 y el impacto a la fauna es de valor 5).
- 5- En el afloramiento S6, se encuentra muy cerca de poblaciones, aunque de baja densidad y pudiera tener alguna restricción legal por su impacto sobre la fauna y el uso productivo del suelo.

Si se analiza el conjunto de las clasificaciones el único cambio significativo se produce en el afloramiento E2, que pasa de ser malo con puntuación cercana a muy malo, a ser aceptable y susceptible de un estudio de más detalle.



Después de este análisis se puede afirmar que el modelo propuesto queda validado al introducirlo en un estudio de índice de explotabilidad contrastado.

## 5. DISCUSIÓN

A la vista de los resultados obtenidos y expuestos en el capítulo anterior, la propuesta metodológica ha quedado validada, ya que, de los 24 afloramientos analizados y comparados con el único trabajo existente hasta la fecha, en catorce, de estas posibles ubicaciones, coinciden en su índice (58.3 %), en nueve de las localizaciones, la variación de este índice de explotabilidad, es reajustado a la realidad medioambiental (37,5 %) y sólo en uno de los afloramientos, su cambio de registro es contradictorio (4.2 %). El poder contrastar resultados hace que la investigación pueda ser discutida, refrendada, ampliada y mejorada.

El modelo a escala regional propuesto, aunque soporta el análisis de actuaciones puntuales a escala local, es aquí donde presenta más limitaciones, en alguno de los componentes del medio estudiado, debido a la escasa información geográfica existente sobre estos y a la calidad del inventario, realizado con los recursos a disposición en un ámbito no profesional.

Cabe la posibilidad de unificar componentes del mismo peso y reunificarlos en un nivel jerárquico superior para no entrar en redundancias. Ahora bien, para esto es necesario un trabajo de campo exhaustivo, que implica la intervención de un equipo multidisciplinar, que abarque todas las disciplinas específicas e implementar la legislación vigente.

Los componentes del medio ambiente intervinientes y la matriz de pares comparados necesita ser refrendada por un equipo de expertos, para dotarla de mayor exactitud en su análisis. Esto se traduce en realizar, al menos, 4 matrices de pares comparados por diferentes equipos y realizar una media geométrica de los valores expuestos y así obtener una matriz fruto de las cuatro propuestas y ejecutar un análisis jerárquico, acorde con las nuevas metodologías de análisis multicriterio.

El rango elegido para la valoración de impactos se puede dotar de una mayor horquilla, para poder acotar con mayor exactitud las zonas de transición, aunque a la hora de introducirlo en el modelo de comparación, la necesidad de reclasificación hace que este factor no sea determinante.

Las limitaciones de capacidad de procesamiento de las herramientas utilizadas, hacen que en algunos de los procesos los valores arrojados puedan ser mejorados, pero no así su contenido y el objetivo de esta investigación.

Esta investigación queda expuesta y abierta a futuras investigaciones siguiendo la vía abierta en este modelo. En la línea medioambiental cabe la posibilidad de testar todo el catastro minero existente de explotaciones abiertas y comprobar su validación con este modelo. Otro trabajo interesante puede consistir en la realización de un inventario de labores y restos de explotaciones clausuradas y en función de los resultados arrojados por este modelo tomar medidas adicionales o no de integración en el medio.

Se puede plantear su elaboración a una escala local, esta se puede plantear por comarcas o municipios, lo cual arroja tantas investigaciones como comarcas o municipios se tengan en cuenta, esto exige mayor detalle de inventario, posibilidad de realización de encuestas, introducción de planes ordenación tanto, territoriales como



productivos, etc. La unión de todas estas investigaciones puede arrojar un instrumento de mayor peso al obtenido en esta investigación.

De forma análoga esta investigación puede formar parte de una investigación de ordenación minero ambiental regional, comarcal o municipal y además puede ser aplicada en otros contextos.

Analizados los resultados de la investigación, sus debilidades y futuros caminos de recorrido, se pueden establecer las conclusiones de esta investigación.

## 6. CONCLUSIONES

La principal fortaleza de esta investigación, se centra en la toma de decisiones de la implantación de explotaciones mineras a cielo abierto (áridos y rocas industriales), en la que la afección medioambiental se reconoce que es muy importante, tal es así que en la determinación del índice de explotabilidad, el criterio medioambiental es el que más peso tiene, pero curiosamente no se realiza ningún esfuerzo en su determinación pormenorizada.

El objetivo general de esta investigación era buscar aquellos componentes medioambientales que definieran pormenorizadamente el criterio fundamental para establecer de forma más estricta el índice de explotabilidad, como indicador que permite la toma de decisiones sobre la implantación o no, de una futura explotación minera, se ha cumplido. Para ello se han establecido los doce componentes medioambientales que mejor describen la afección de una explotación minera (áridos y rocas ornamentales) y se les ha aplicado un método de análisis jerárquico multicriterio contrastado, obteniéndose una ponderación de éstos para los que se ha comprobado su consistencia.

Se debe reseñar, que, en esta propuesta metodológica, además es innovadora porque plantea realizar el análisis medioambiental no con posterioridad a la toma de decisiones del emplazamiento, sino antes de decidir el afloramiento que se pretende explotar, lo que viene a incluir el análisis medioambiental, desde el momento inicial en el que se toma la decisión de poner en marcha la explotación minera, ayudando por tanto a que esté presente desde el inicio.

Las principales conclusiones específicas que se obtienen del desarrollo del presente trabajo fin de máster, se pueden considerar:

- En la actualidad la toma de decisiones requiere la utilización de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica, que no vienen a sustituir las metodologías clásicas, sino a simplificar los procedimientos de cálculo y la representación espacial.
- Fruto de esta investigación, se ha implementado una propuesta metodológica en la que, seleccionando los componentes más significativos de la afección de las explotaciones mineras al medioambiente, para posteriormente ponderarlos mediante análisis multicriterio acorde a un razonamiento realista y partiendo del objetivo de calcular un índice sin excluir una porción de terreno susceptible de explotación.
- Finalmente, la propuesta metodológica se ha aplicado al caso real de las ofitas de Cantabria, acotando, afinando y corrigiendo los resultados obtenidos, mediante el nuevo modelo creado con las herramientas que proporcionan los sistemas de información geográfica SIG, apoyándose con



un software de código abierto y totalmente gratuito como QGIS. Se debe reseñar que se han validado tanto los componentes como su ponderación, teniendo en cuenta la escala de trabajo enfocada a una investigación regional.

Se puede concluir que la propuesta metodológica es única, además universal, ya que puede ser utilizada para el cálculo del índice de explotabilidad de cualquier recurso donde se plantee una explotación minera a cielo abierto, convirtiéndose en una herramienta muy económica e indispensable para la toma de decisiones de la envergadura económica que conlleva la implantación de una explotación minera. Además, tiene la flexibilidad necesaria dado que, si el caso lo requiriese, se pueden introducir nuevos componentes y ponderación a los ya existentes, todo ello dependiendo del tipo de recurso y ámbito geográfico.

## 7. REFERENCIAS

- [1] Aznar, j.; Guijarro, f. (2005). Nuevos métodos de valoración; Modelos multicriterio.
- [2] Aguarón, j.; Escobar, m.t.; Moreno-Jiménez, j.m. (2001): Consistency Stability Intervals for a judgement in AHP Decision Support Systems (en evaluación).
- [3] Bosque Sendra, J. 1998. *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid.
- [4] Burroughs, P. 1988. *Principles of Geographical Information Systems for Land resources assessment*. Oxford.
- [5] Bouzas, V. 29/10/2014. Revista Científica: TysMagazine. Artículo: *Los mejores softwares libre para GIS*. Disponible en: <http://www.tysmagazine.com/los-mejores-software-libre-gis/>
- [6] Blachowski, J., Chrzanowski, A., Szostak-Chrzanowski, A. "Application of GIS methods in assessing effects of mining activity on surface infrastructure". (2014) Archives of Mining Sciences, 59, pp. 307-321.
- [7] Conesa Fernández-Vitoria, V. 1997. Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Madrid.
- [8] Díaz de Terán, J.R.; González Lastra, J.R. 1980 "*Un método de evaluación y de jerarquización de los afloramientos de rocas industriales*". Comunicación de la Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Santander (España).



[9] Dirección general de urbanismo y ordenación del territorio. Consejería de obras públicas, ordenación del territorio y urbanismo.

<mailto:https://www.territoriodecantabria.es/cartografia-sig/datos-abiertos-y-politica-de-licencias>

[10] Fernández Maroto, G. “*Comportamiento como árido para pavimento para ofitas de Cantabria*”. Tesis Doctoral (2002). Facultad de Geología. Universidad de Oviedo.

[11] Gerson, B. 30/11/2017. Blog personal. Publicación: *6 herramientas SIG fundamentales*. Disponible en: <https://gersonbeltran.com/2017/10/30/6-herramientas-sig-fundamentales/>

[12] Gómez Orea. D. febrero 1998. Evaluación de impacto ambiental. Madrid.

[13] Hatim Delleri; Younes El Kharim, “*Exploitability of construction materials in the calcareous dorsal of the Haouz Mountain range in the region of Tangier-Tetouan, Morocco*”. (2017) Journal of African Earth Sciences, 129 pp 330-337.

[14] Instituto Geológico y Minero de España (2004). Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería.

[15] López Gimeno. C. Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras.

[16] López Gimeno. C. Manual de rocas ornamentales. (1995).

[17] Moreno y Jiménez, J.M. (2002). El Proceso Analítico Jerárquico. Fundamentos Metodología y aplicaciones. RECTA Monográfico 1.

[18] Muñoz de la Nava, P.M., Escudero, J.A.R., Suárez, I.R., Romero, E.G., Rosa, A.C., Moles, F.C. y Martínez, M.P.G. “*Metodología de investigación de rocas ornamentales: granitos*”. (1989) Boletín Geológico y Minero, 100 (3):129-149.

[19] Olaya, V. 2014. *Sistemas de Información Geográfica*. Disponible en versión web en: <http://volaya.github.io/libro-sig/index.html>.

[20] Saaty, Thomas. How to make a decision: the analytic hierarchy process. University of Pittsburgh. 1994.

[21] Subdirección General de Medio Ambiente/ especies protegidas. <mailto:https://dgmontes.org/especies-protegidas>.