



Infraestructura verde para la adaptación de la ordenación territorial al cambio climático

FV2.3. Manual de usuario

Organiza:



Con el apoyo de:



GOBIERNO DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fundación Biodiversidad



Contenido

Descripción	2
Objetivo	2
Ejecución	2
Datos de entrada	3
Mapas	3
Configuración	5
Bloque <i>maps</i>	5
Bloque <i>preprocess</i>	7
Bloque <i>process</i>	9
Bloque <i>postprocess</i>	12
Metodología de uso	15
Zonas de amortiguación	15
Zonas multifuncionales de mitigación del cambio climático	17
Zonas multifuncionales de adaptación al cambio climático	18
Zonas multifuncionales para la mejora de la calidad de vida	18
Zonas multifuncionales para la producción agroforestal sostenible	18
Propuesta de calibración	19
Parámetros en línea de comando	23
Bibliografía	23

Organiza:



Con el apoyo de:



VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fundación Biodiversidad



Descripción

En este documento se describe el uso del algoritmo desarrollado en el proyecto Inverclima para asistir en la tarea de delimitación de infraestructura verde, y las opciones de configuración disponibles para el usuario.

Objetivo

El algoritmo está orientado a la delimitación de cinco elementos de infraestructura verde (Valladares et al., 2017). Aprovechando la simetría natural del problema, se aplica un mismo procedimiento de resolución tanto a las zonas de amortiguación como a las distintas zonas multifuncionales. La delimitación de cada elemento requiere simplemente de una configuración diferente para describir la estrategia específica, datos imprescindibles y criterios a valorar.

En cada caso, el proceso de cálculo es el resultado de la aplicación secuencial de dos algoritmos. Primero, se generan buenas zonas candidatas a partir de los datos de entrada utilizando un método de optimización numérica (Aarts et al., 2002). A continuación, se seleccionan automáticamente algunas de estas zonas candidatas y se mejoran hasta llegar a la solución final.

Ejecución

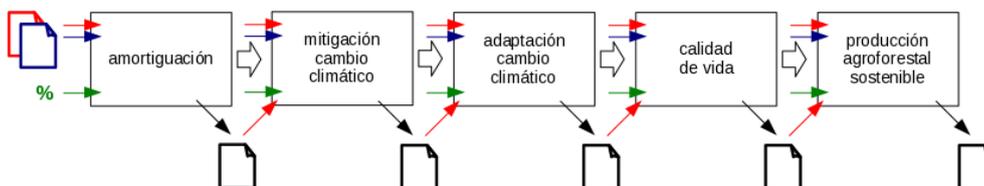
El algoritmo desarrollado en el proyecto está construido como una librería de código que se integra en cualquier plataforma de software *SIG*, en un servidor *WPS* o que se puede utilizar de forma independiente. En este documento se describe la implementación del algoritmo como aplicación de software independiente, *INVERDE*.

Esta implementación es una aplicación pensada para ser ejecutada desde línea de comandos, con versiones para *MS Windows*, *macOS* y *Linux*. En el modo de funcionamiento más sencillo, el usuario ejecuta la aplicación proporcionando el nombre del fichero de configuración como único parámetro. La aplicación procesa el fichero, lee los mapas de entrada y parámetros de control, calcula la mejor delimitación y genera un resultado.

```
c:\> inverde.exe configuration.json
```

Como resultado se calcula la delimitación de un tipo de elemento de infraestructura verde. La metodología propuesta en el proyecto requiere que este proceso se aplique de manera secuencial a cada uno de los cinco tipos de elemento considerados (las zonas de amortiguación y las cuatro zonas multifuncionales), cada uno con una configuración personalizada.

El proceso completo consta de cinco etapas:



Organiza:



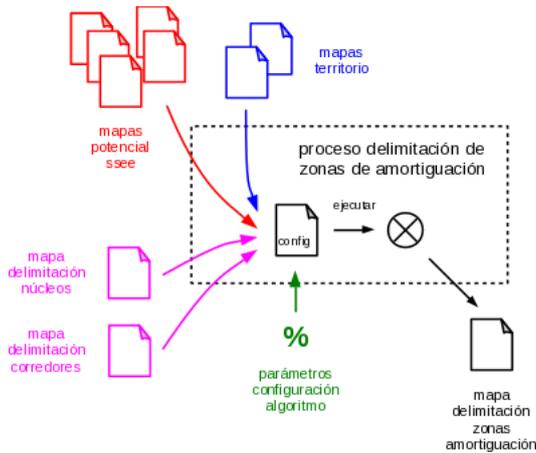
Con el apoyo de:



VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Donde cada etapa tiene la forma:



Datos de entrada

Toda la información que necesita la aplicación queda especificada de manera compacta en un fichero de configuración que recoge también las preferencias del usuario. El esquema es fijo, pero el contenido varía en cada una de las fases del problema de delimitación para adaptarse a las particularidades de la misma.

En este fichero se indican los datos de entrada en forma de mapas de potencial de provisión de servicios ecosistémicos disponibles, mapas que constituyen otras descripciones del territorio, como la distribución de la población (que fuerza la demanda de estos servicios), mapas de características geofísicas, y los mapas con otros elementos de infraestructura verde ya identificados y delimitados. Además, se incluyen en el fichero varios parámetros de control interno de los procesos de cálculo y preferencias del planificador.

Mapas

Esta implementación del algoritmo no incorpora librerías de geoprocésamiento. Asume que los distintos tipos de información espacial que va a utilizar estén ya preparados en los formatos correctos. Otras implementaciones dentro de plataformas SIG o WPS pueden hacer automáticamente esta conversión. No obstante, en el caso que nos ocupa, como aplicación de software independiente, el algoritmo muestra un error cuando no se cumple esta condición y termina.

Los mapas de entrada se codifican en el formato *raster ASC/AAIGrid* (ESRI, 2015). Este formato almacena celdas con valores numéricos flotantes, que en ocasiones se usan como enteros, así como un valor especial de celda *nodata_value* que permite especificar zonas no procesables. Todos los mapas de entrada deben coincidir en el mismo sistema de referencia, en las mismas coordenadas y con la misma resolución.

Se utilizan distintos tipos de mapas:

- mapas de potencial de provisión de servicios ecosistémicos

- mapas de distancia a núcleos de población
- mapas de densidad de población
- mapas tipo máscara
- plantilla espacial
- delimitaciones

Los mapas de provisión de servicios ecosistémicos representan la aptitud de cada celda para proporcionar el servicio ecosistémico, usando valores entre 0.0 (mínima aptitud) y 1.0 (máxima aptitud). Durante la ejecución los mapas de provisión van a ser combinados en un único mapa utilizando los pesos proporcionados por el usuario, y normalizados a valores entre 0.0 (mínima aptitud global) y 1.0 (máxima aptitud global).

Los mapas de distancias proporcionados representan la distancia desde cada celda del territorio a la población más próxima. Contienen valores que van a ser normalizados entre 0.0 (la celda más próxima a una población) y 1.0 (la celda más alejada de cualquier población) durante la ejecución.

Alternativamente, se pueden sustituir los mapas de distancia por mapas de densidad, Éstos representan una medida de la población disponible en cada celda. Éstos contienen valores que van a ser normalizados entre 0.0 (la celda con menor población) y 1.0 (la celda con mayor población) durante la ejecución. Sin embargo, para sustituir mapas de distancia por densidades, el usuario debe proporcionar el mapa inverso *1.0 - densidad* para que máximos y mínimos coincidan entre ambos casos. Aún más habitual es utilizar el mapa alternativo *1.0 - log(densidad)* para suavizar los valores intermedios con esta transformación.

Las máscaras son un tipo especial de mapa formado sólo por valores 1.0 y *nodata_value* (todas celdas que no son máscara toman el valor *nodata_value*). Se utilizan para definir zonas de especial interés: zonas de exclusión, zonas de interés para el usuario o como paso intermedio para construir mapas de distancias (cuando el usuario indica una máscara en lugar de proporcionar directamente el mapa de distancias).

La plantilla espacial es un nuevo tipo de mapa que identifica con un valor numérico distinto las grandes áreas contiguas numerando cada una de ellas con un valor diferente: zona 0.0, zona 1.0, zona 2.0... El uso principal es para dirigir el proceso de expansión de zonas candidatas, priorizando o limitando el crecimiento entre estas zonas.

Por último, las delimitaciones son mapas opcionales que contienen las celdas asignadas en ejecuciones anteriores, cada una con un valor diferente: valor 0.0 (celda disponible), valor 1.0 (resultado de la primera delimitación, celdas ya asignadas para zonas de amortiguación), valor 2.0 (resultado de la segunda delimitación, celdas ya asignadas para zonas multifuncionales de mitigación del cambio climático)... Además, en caso de que usen estos mapas como datos de entrada, el algoritmo los utiliza para seleccionar el valor que se le va a asignar a las celdas seleccionadas en la fase actual. De esta manera todas las delimitaciones se van construyendo sobre un único mapa final.

Organiza:



Con el apoyo de:



VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fundación Biodiversidad



Oficina Española de Cambio Climático

Configuración

El fichero de configuración se codifica en formato *JSON* (EITF, 2014). Está dividido en cuatro bloques. Los tres primeros son relevantes para el algoritmo de optimización numérica. El primero y el último lo son para el algoritmo de selección/expansión.

Dependiendo de la plataforma donde se compile y ejecute la aplicación, el acceso al fichero puede presentar particularidades o problemas (siempre existe este riesgo en los desarrollos multiplataforma). Una combinación razonablemente segura es utilizar una codificación *ascii* con retorno de línea de tipo *Windows* para el contenido. Por el mismo motivo se recomienda que tanto los nombres de las propiedades como sus valores (cuando son cadenas de texto) se encierren entre comillas dobles.

Bloque *maps*

Contiene parámetros que señalan dónde localizar los ficheros de mapas de potencial de provisión de servicios ecosistémicos, cómo agruparlos en bloques de usos sinérgicos y antagónicos, y qué pesos utilizar para combinarlos en un único mapa global. A partir de estos mapas se construye el mapa *raster* de celdas disponibles. Opcionalmente, también se pueden indicar ficheros de máscara para seleccionar celdas especiales que se eliminarán del cálculo de la delimitación (zonas de exclusión).

Parámetro *potential-maps*. Una colección de colecciones de los nombres de ficheros de mapas de potencial de provisión de servicios ecosistémicos que se van a usar en el cálculo. Cada mapa está almacenado en formato *ASC/AAIGrid*. Todos ellos comparten el mismo sistema de coordenadas, mismos límites y misma resolución. Parámetro obligatorio. Ejemplo:

```
"potential-maps": [  
  [  
    "c:/galicia/100/controlplagas.asc",  
    "c:/galicia/100/polinizacion.asc",  
    "c:/galicia/100/incendios.asc"  
  ],  
  [  
    "c:/galicia/100/controlplagas.asc",  
    "c:/galicia/100/erosion.asc",  
    "c:/galicia/100/polinizacion.asc",  
    "c:/galicia/100/filtrado.asc"  
  ]  
]
```

Los nombres de archivo pueden estar expresados como rutas absolutas o relativas al directorio de ejecución del código, y preferiblemente deben ir encerrados entre comillas dobles. El usuario debe tener en cuenta que en algunas plataformas (por ejemplo, *Windows*) el carácter usado como separador de directorios puede provocar errores de codificación, ya que algunas secuencias de letras (por ejemplo, *\c*) son reinterpretadas. Una combinación razonablemente segura es utilizar como separador de directorios el carácter de *UNIX*. Alternativamente, se puede forzar siempre la combinación **. Es decir, que el nombre *c:/galicia/100/controlplagas.asc*

Organiza:



Con el apoyo de:

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Fundación Biodiversidad



Oficina Española de Cambio Climático

es inseguro al ejecutar bajo *Windows*; se recomienda utilizar `c:/galicia/100/controlplagas.asc` o `c:\\galicia\\100\\controlplagas.asc`.

El contenido del bloque "maps" está codificado como colección de colecciones para permitir tratar simultáneamente con usos sinérgicos y antagonicos: los usos no antagonicos se agrupan en la misma colección; si hay más de una colección, es porque entre ellas existen usos antagonicos. Es decir, que para utilizar los usos `uso1.asc`, `uso2.asc`, `uso3.asc` y `uso4.asc`, cuando hay un antagonismo entre los dos últimos, se codifica:

```
"potential-maps": [  
  ["uso1.asc", "uso2.asc", "uso3.asc"],  
  ["uso1.asc", "uso2.asc", "uso4.asc"]  
]
```

No hay límite superior en el número de agrupaciones ni de número de usos en cada agrupación. Por el contrario, aún cuando no hay antagonismos, este parámetro debe expresarse todavía como una colección de colecciones de nombres de fichero:

```
"potential-maps": [  
  [  
    "uso1.asc", "uso2.asc", "uso3.asc"  
  ]  
]
```

La aplicación va a construir un único mapa de potencial global con todos los mapas listados: cada celda es la suma lineal ponderada de la misma celda en todos los mapas, utilizando los coeficientes proporcionadas en el parámetro *potential-maps-weight*. En el caso de que haya más de un grupo de usos, se genera un mapa independiente para cada grupo y el mapa global se construyen con las mejores celdas de cada uno. El conjunto de celdas disponibles para el mapa *raster* de trabajo pasa a ser el conjunto de celdas que están bien definidas en todos los mapas anteriores. Es decir, todas excepto aquellas con valor *nodata_value* en algún mapa.

Parámetro *potential-maps-weight*. Una colección de colecciones de valores numéricos, preferiblemente entre 0.0 y 1.0 (esto no se valida; corresponde al usuario que tenga sentido utilizar coeficientes en otros rangos). Cada valor numérico representa un peso con el que cada mapa del parámetro *potential-maps* participa para construir el mapa de potenciales global (cada celda de éste es la suma lineal ponderada de la misma celda en todos los mapas), por el que el tamaño de estas colecciones tiene que coincidir entre ambos parámetros. Una combinación razonablemente segura para todas las plataformas para el separador decimal es utilizar el carácter punto. Ejemplo:

Organiza:



Con el apoyo de:



VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fundación Biodiversidad



Oficina Española de Cambio Climático

```
"potential-maps": [  
  [  
    1.0, 1.0, 0.5  
  ],  
  [  
    1.0, 1.0, 0.5, 0.5  
  ]  
]
```

Parámetro **exclusion-masks**. Una colección de los nombres de ficheros de máscara que se eliminan del conjunto de celdas disponibles tal como ha quedado definido por los mapas de potencial (todas las celdas excepto aquellas con valor *nodata_value* en algún mapa). Cada fichero está almacenado en formato *ASC/AAIGrid* con valores 1.0 en las celdas de la máscara (y valor *nodata_value* en el resto). Comparten el mismo sistema de coordenadas, mismos límites y misma resolución que los mapas de potencial anteriores. Mismas recomendaciones para los nombres de fichero que las expresadas en el parámetro *potential-maps*. Parámetro opcional. Ejemplo:

```
"exclusion-masks": [  
  "../galicia/100/nucleos-y-corredores.asc",  
  "../galicia/100/zonas-artificiales.asc"  
]
```

Bloque *preprocess*

Contiene valores relevantes para la creación del estado inicial que se va a optimizar: el número de celdas disponibles que se van a seleccionar, máscaras opcionales para señalar zonas preferentes alrededor de las cuales se deberían distribuir las celdas de esta solución inicial, o una delimitación previa opcional que preserve los valores de las celdas ya delimitadas y asigne un valor a las de esta selección inicial.

Parámetro **convert-area**. Un valor numérico entre 0.0 y 1.0 que representa el porcentaje de celdas disponibles que se quiere seleccionar en la solución inicial. Este número se va a conservar a lo largo de todo el proceso de cálculo. Obligatorio. Una combinación razonablemente segura para todas las plataformas para el separador decimal es utilizar el carácter punto. Ejemplo::

```
"convert-area": 0.10
```

Parámetro **distribution-masks**. Una colección de los nombres de ficheros de máscara que delimitan una zona espacial de interés alrededor de la cual se quieren distribuir aleatoriamente las celdas de la solución inicial. Cada fichero está almacenado en formato *ASC/AAIGrid* con valores 1.0 en las celdas de la máscara (y valor *nodata_value* en el resto). Comparten el mismo sistema de coordenadas, mismos límites y misma resolución que los mapas de potencial. Mismas recomendaciones para los nombres de fichero que las expresadas en el parámetro *potential-maps*. Opcional. Ejemplo:

Organiza:



Con el apoyo de:



VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fundación Biodiversidad



Oficina Española de Cambio Climático

```
"distribution-masks": [  
    "../galicia/100/nucleos-y-corredores.asc"  
]
```

Como la propuesta de calibración de la optimización numérica establece probabilidades de aceptación bastante altas desde el principio del proceso, esta distribución espacial se pierde y no tiene influencia en el resultado final. Por tanto, se recomienda no utilizar esta opción con carácter general:

```
"distribution-masks": []
```

Parámetro **init-values-map**. Un nombre de fichero de mapa que contenga una delimitación anterior. Estará almacenado en formato *ASC/AAIGrid* con valores numéricos enteros: valor 0.0 (celdas disponibles), valor 1.0 (resultado de la primera delimitación, celdas ya asignadas para zonas de amortiguación), valor 2.0 (resultado de la segunda delimitación, celdas ya asignadas para zonas multifuncionales de mitigación del cambio climático)... valor -2.0 (celdas excluidas de la delimitación previa). Debe compartir el mismo sistema de coordenadas, mismos límites y misma resolución que los mapas de potencial, así como las mismas recomendaciones sobre el nombre. Opcional. Ejemplo:

```
"init-values-map": "mf-mitigacion-cc-output.asc"
```

En caso de no proporcionar este fichero de delimitación, la solución inicial contendrá los valores 0.0 (celdas disponibles), 1.0 (celdas asignadas aleatoriamente a la solución) y el valor *nodata_value* en las celdas especiales (aquellas no definidas en todos los mapas de potencial o presentes en las máscaras de exclusión). En caso contrario, la solución inicial respeta los mismos valores ya asignados a las celdas que se delimitaron como elementos de infraestructura verde previamente y utiliza el siguiente valor disponible para señalar las celdas asignadas aleatoriamente a la solución (la delimitación de un nuevo elemento de infraestructura verde).

Parámetro **output**. El nombre de fichero de mapa que almacenará la solución de la etapa de preprocesado. Se va a convertir a formato *ASC/AAIGrid* con valores numéricos enteros, mismo sistema de coordenadas, mismos límites y misma resolución que los mapas de potencial. Si no se ha utilizado un mapa de valores iniciales, las celdas tendrán valores 0.0 (disponible), 1.0 (solución aleatoria) y los valores especial *nodata_value* (celda mal definida los mapas de potencial) o -2.0 (celdas excluidas usando *exclusion-masks*). Obligatorio. Ejemplo:

```
"output": "buffer-preprocess.asc"
```

Parámetro **debug-maps**. Opcional, con los valores posibles *yes* y *no*. Cuando este parámetro está activo se generan nuevos mapas útiles para la depuración del proceso en esta etapa. En el preprocesado se muestra un mapa con valores entre 0.0 y 1.0 que representa la probabilidad de selección de cada celda como solución; en caso de utilizar *distribution-masks*, esta probabilidad está directamente relacionada con las máscaras; en caso contrario, toma el valor 1.0 en todos los puntos. El nombre del mapa de salida se construye a partir del valor del parámetro *output* (obligatorio), añadiendo el sufijo *<output>.debug.map-1.asc*:

Organiza:



Con el apoyo de:

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Fundación Biodiversidad



Oficina Española de Cambio Climático

```
"debug-maps": "yes"
```

Bloque process

Contiene valores relevantes para la optimización numérica de la distribución espacial de la solución inicial. Son los parámetros relativos a la evaluación de la función objetivo como los pesos de cada uno de los términos heurísticos: maximizar aptitud, minimizar perímetro, minimizar número de áreas, maximizar número de servicios ecosistémicos por celda y minimizar distancia a puntos de interés. También contiene la lista de ficheros de mapa o de máscara para construir este último término.

Contiene además los parámetros relativos al control del algoritmo de optimización: valores de temperatura inicial, constante de enfriamiento, número de temperaturas a temperatura constante, número de temperaturas y constante de Boltzmann. A mayores lista parámetros relativos a características propias del algoritmo: generación no aleatoria de movimientos, o probabilidad inicial de aceptación para el proceso de ajuste automático de valores iniciales.

Parámetro **functions-weight**. Una colección de cinco valores numéricos, preferiblemente entre 0.0 y 1.0 (aunque esto no se valida, es decisión del usuario), que representan los pesos de los cinco términos de la función de coste: maximizar aptitud, minimizar perímetro, minimizar número de áreas, maximizar número de servicios por celda y minimizar distancias a puntos de interés. Obligatorio. Ejemplo:

```
"functions-weight": [  
    2.0, 2.0, 0.5, 1.0, 2.0  
]
```

Se puede utilizar el valor 0.0 para eliminar algún término de la función de coste (aunque el rendimiento global no mejora: la función todavía se calcula, pero luego no se suma al coste):

```
"functions-weight": [  
    2.0, 2.0, 0.5, 1.0, 0.0  
]
```

Parámetro **distance-maps**. Una colección de los nombres de ficheros que almacenan las distancias que se quieren minimizar en la función de coste. Si se especifica más de un fichero, los valores de las celdas se suman y el resultado se normaliza entre los valores 0.0 (mínima distancia; normalmente, las celdas más próximas a los puntos de interés) y 1.0 (máxima distancia; normalmente, las celdas más alejadas de los puntos de interés). Opcional, sólo es necesaria especificarla cuando el peso del criterio de minimizar distancias es no nulo. El parámetro **distance-maps** y **distance-masks** no pueden utilizarse al mismo tiempo. Ejemplo:

```
"distance-maps": [  
    "../galicia/100/distancia-a-nucleos-mayores-de-1000.asc"  
]
```

Parámetro **distance-masks**. Una colección de los nombres de ficheros de máscara que almacenan los puntos de interés a los que se quieren minimizar la distancia en la función de coste. Se utilizan para construir los mapas de distancia normalizados, si el usuario no puede

Organiza:



Con el apoyo de:

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Fundación Biodiversidad



Oficina Española de Cambio Climático

proporcionarlos con el parámetro *distance-maps*. Opcional, sólo es necesaria especificarla cuando el peso del criterio de minimizar distancias es no nulo. El parámetro *distance-maps* y *distance-masks* no pueden utilizarse al mismo tiempo. Ejemplo:

```
"distance-masks": [  
    ".../galicia/100/nucleos-y-corredores.asc"  
]
```

Parámetro *pinit*. Parámetro de control interno de la optimización numérica. Es un valor numérico entre 0.0 y 1.0 que expresa la probabilidad de aceptación (mediante el criterio de aceptación probabilística de Boltzmann) que se busca en las primeras etapas de la optimización. Opcional, sólo se utiliza cuando se activa el *autotunning* durante el proceso de calibración. Un valor razonable puede ser 0.10 (10% de aceptaciones por Boltzmann):

```
"pinit": 0.1
```

Parámetro *tinit*. Parámetro de control interno de la optimización numérica. Es un valor numérico real positivo que expresa la temperatura inicial a la que comienza el proceso. El parámetro influye en el criterio de aceptación probabilística de Boltzmann, ya que establece el valor inicial del parámetro temperatura (se utiliza un decrecimiento lineal, desde *TINIT*, con pendiente *TNEXT*). Obligatorio. Ejemplo:

```
"tinit": 1.0
```

Parámetro *tnext*. Parámetro de control interno de la optimización numérica. Es un valor numérico entre 0.0 y 1.0, sin llegar a ninguno de ellos. El parámetro influye en el criterio de aceptación probabilística de Boltzmann, ya que establece la velocidad a la que el parámetro temperatura disminuye en el tiempo (se utiliza un decrecimiento lineal, desde *TINIT*, con pendiente *TNEXT*). Obligatorio. Ejemplo:

```
"tnext": 0.999
```

Parámetro *nmovs*. Parámetro de control interno de la optimización numérica. Es un valor numérico entero positivo que establece el número de soluciones evaluadas a temperatura constante. Este número debe ser suficientemente elevado para que todas las celdas seleccionadas tengan varias oportunidades para localizar su mejor posición (a la temperatura actual, es decir con el criterio de aceptación probabilística de Boltzmann actual). Por ejemplo, cuando se activa el *autotunning* durante el proceso de calibración, este valor automáticamente se escoge como $2 * \text{FILAS} * \text{COLUMNAS}$. Obligatorio. Ejemplo:

```
"nmovs": 5000000
```

Parámetro *nstages*. Parámetro de control interno de la optimización numérica. Es un valor numérico entero positivo que establece el número de veces que se reduce el parámetro temperatura antes de dar por finalizado el proceso de optimización. Este número debe ser suficientemente elevado para que el criterio de aceptación probabilística de Boltzmann llegue a reducirse a cero y se vayan aceptando soluciones exclusivamente que mejoren la función de coste. Obligatorio. Ejemplo:

Organiza:



Con el apoyo de:



VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fundación Biodiversidad



Oficina Española de Cambio Climático

```
"nstages": 4000
```

Parámetro **kb**. Parámetro de control interno de la optimización numérica. Es un valor numérico positivo que establece un parámetro de normalización de la temperatura para que el criterio de aceptación probabilística de Boltzmann se mueva en el rango adecuado. El usuario debe tener en cuenta que este criterio trabaja siempre con la expresión KB^*t dentro de la exponencial, así que el orden de magnitud de KB está relacionado con el del parámetro temperatura: se pueden intercambiar mientras se mantenga la misma proporción. Cuando se activa el *autotunning* durante el proceso de calibración, este valor se calcula automáticamente a través de la probabilidad inicial de aceptación de Boltzmann (*pinit*). Obligatorio. Ejemplo:

```
"kb": 100000
```

Parámetro **autotunning**. Parámetro de control interno de la optimización numérica. Opcional, con los valores posibles *yes* y *no*. Cuando este parámetro está activo se activa el proceso de autoajuste de parámetros de la optimización. A partir de los valores *TINIT* y *PINIT*, calcula valores razonables para *NMOVS* y *KB*. A continuación, trata de calcular un valor razonable para *TNEXT* ejecutando un proceso completo de optimización de *NSTAGES* etapas, evaluando las aceptaciones, actualizando *TNEXT* y reiniciando la optimización hasta en cinco ocasiones. Se utiliza durante el proceso de calibración propuesto para obtener valores de *NMOVS* y *KB*. Ejemplo:

```
"autotunning": "no"
```

Parámetro **random-select**. Parámetro de control interno de la optimización numérica. Opcional, con los valores posibles *yes* y *no*. Cuando este parámetro está activo el algoritmo de optimización genera soluciones de manera completamente aleatoria (elige aleatoriamente tanto una celda seleccionada como una posición libre, y las intercambia). Cuando este parámetro está desactivado, se utiliza una función de probabilidad de selección de posiciones destino proporcional al mapa de potenciales. La idea que subyace es que probablemente la solución final esté compuesta por celdas con buenos valores de potencial de provisión, de manera que priorizar estas posiciones debería acelerar la convergencia. Sin embargo, en la evolución habitual de la optimización los efectos no son evidentes y se recomienda mantener este mecanismo como aleatorio:

```
"random-select": "yes"
```

Parámetro **output**. El nombre de fichero de mapa que almacenará la solución de la etapa de optimización numérica. Si no se ha utilizado un mapa de valores iniciales, las celdas tendrán valores 0.0 (disponible), 1.0 (solución optimizada) y los valores especial *nodata_value* (celda mal definida los mapas de potencial) o -2.0 (celdas excluidas usando *exclusion-masks*). Obligatorio. Ejemplo:

```
"output": "buffer-process.asc"
```

Parámetro **debug-maps**. Opcional, con los valores posibles *yes* y *no*. Cuando este parámetro está activo se generan nuevos mapas útiles para la depuración del proceso en esta etapa. En el procesado se muestran varios elementos de la función de coste: el mapa de potencial global, el mapa de número promedio de servicios ecosistémicos por celda y el mapa de distancias; además, se calcula el mapa de valores de probabilidad de selección de posiciones destino (valores

Organiza:



Con el apoyo de:

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Fundación Biodiversidad



Oficina Española de Cambio Climático

1.0 si es aleatoria, valores 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1.0 en caso contrario). El nombre de estos ficheros de salida se construye a partir del valor del parámetro *output* (obligatorio), añadiendo el sufijo *<output>.debug.map-{1,2,3,4}.asc*:

```
"debug-maps": "yes"
```

Parámetro ***debug-evolution***. Opcional, con los valores posibles *yes* y *no*. Cuando este parámetro está activo se generan un fichero que almacena la evolución temporal de la función de coste, para la depuración del proceso de optimización numérica. Para cada etapa muestra temperatura, coste global, número de aceptaciones directas, número de aceptaciones probabilísticas, y valores de los cinco criterios heurísticos. El nombre de este fichero de salida se construye a partir del valor del parámetro *output* (obligatorio), añadiendo el sufijo *<output>.debug.evolution.lst*:

```
"debug-evolution": "yes"
```

Bloque *postprocess*

Contiene valores relacionados con la ejecución del proceso de selección/expansión para mejorar el resultado anterior. Este bloque está dividido para tratar de forma independiente cada uno de estos dos pasos:

Parámetro ***output***. El nombre de fichero de mapa que almacenará la solución de la etapa final. Si no se ha utilizado un mapa de valores iniciales, las celdas tendrán valores 0.0 (disponible), 1.0 (solución final) y los valores especial *nodata_value* (celda mal definida en los mapas de potencial) o -2.0 (celdas excluidas usando *exclusion-masks*). Obligatorio. Ejemplo:

```
"output": "buffer-process.asc"
```

Parámetro ***output-mask***. El nombre de fichero que almacenará la solución de la etapa final en formato máscara. Las celdas tendrán valores 1.0 (solución final) y el valor especial *nodata_value* (otras celdas). Obligatorio. Ejemplo:

```
"output-mask": "buffer-process-mask.asc"
```

Parámetro ***debug-maps***. Opcional, con los valores posibles *yes* y *no*. Cuando este parámetro está activo se generan nuevos mapas útiles para la depuración del proceso en esta etapa. En el postprocesado se muestra el mapa de potencial global usado en el criterio de selección por valor, el mapa de distancias usado en el criterio de selección por distancia, el mapa de probabilidad de asignación para el mecanismo de asignación de celdas y la plantilla espacial en caso de que se seleccione una. El nombre de estos ficheros de salida se construye a partir del valor del parámetro *output* (obligatorio), añadiendo el sufijo *<output>.debug.map-{1,2,3,4}.asc*:

```
"debug-maps": "yes"
```

Además, se incluyen otros tres mapas de depuración: *<output>.debug.selected.asc* muestra las áreas seleccionadas separadas del resto de áreas durante la primera fase de esta etapa; *<output>.debug.selection.asc* muestra las áreas seleccionadas después de eliminar el resto de áreas; y *<output>.debug.selection-mask.asc* muestra las áreas seleccionadas como un fichero de máscara.

Organiza:



Con el apoyo de:



GOBIERNO
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fundación Biodiversidad



En un nuevo bloque *selection* de esta etapa *postprocess* se definen los criterios para la selección de las mejores zonas. Para el método de selección por distancias se proporciona la lista de ficheros de mapa o de máscara para construir el mapa de distancias necesario, y se incluyen los valores de distancia y número de celdas a tal distancia que debe cumplir una zona para ser seleccionada. Para el método de selección por valor se proporciona el porcentaje de valor total que deben acumular las zonas seleccionadas (las zonas se van visitando de mayor a menor hasta acumular el valor especificado).

Parámetro ***purge-limit***. Valor numérico entero que representa el número de celdas mínimo que debe tener un área para ser considerada en el proceso de selección automática. Obligatorio. Ejemplo:

```
"purge-limit": 2
```

Nuevo bloque *method-distance* dentro del bloque *selection* de la etapa *postprocess*:

Parámetro ***distance-maps***. Una colección de los nombres de ficheros que almacenan las distancias que se van a utilizar en el criterio de selección por distancia. Si se especifica más de un fichero, los valores de las celdas se suman y el resultado se normaliza entre los valores 0.0 (mínima distancia; normalmente, las celdas más próximas a los puntos de interés) y 1.0 (máxima distancia; normalmente, las celdas más alejadas de los puntos de interés). Opcional, sólo es necesaria especificarla cuando se quiere utilizar este método de selección. El parámetro *distance-maps* y *distance-masks* no pueden utilizarse al mismo tiempo. Ejemplo:

```
"distance-maps": [  
  "../galicia/100/distancia-a-nucleos-mayores-de-1000.asc"  
]
```

Parámetro ***distance-masks***. Una colección de los nombres de ficheros de máscara que almacenan los puntos de interés que se van a utilizar en el criterio de selección por distancia. Se utilizan para construir los mapas de distancia normalizados, si el usuario no puede proporcionarlos con el parámetro *distance-maps*. Opcional, sólo es necesaria especificarla cuando se quiere utilizar este método de selección. El parámetro *distance-maps* y *distance-masks* no pueden utilizarse al mismo tiempo. Ejemplo:

```
"distance-masks": [  
  "../galicia/100/nucleos-y-corredores.asc"  
]
```

Parámetro ***minimum-distance-to-mask***. Valor numérico entero que representa la distancia en número de celdas a la que evaluar el criterio de selección por distancia. Al evaluar demasiado cerca de las zonas de interés, el usuario se arriesga a seleccionar áreas que por casualidad tocan el área, pero no se distribuyen en los alrededores. Al evaluar demasiado lejos, el usuario se arriesga a perder áreas útiles. Opcional, sólo es necesaria especificarla cuando se quiere utilizar este método de selección. Asignar un valor 0 este parámetro desactiva el método de selección por distancia. Ejemplo:

Organiza:



Con el apoyo de:



VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fundación Biodiversidad



Oficina Española de Cambio Climático

```
"minimum-distance-to-mask": 2
```

Parámetro **minimum-cells-at-distance**. Valor numérico entero que representa el mínimo número de celdas a la distancia especificada necesario para superar el criterio de selección por distancia. Opcional, sólo es necesaria especificarla cuando se quiere utilizar este método de selección. Asignar un valor 0 este parámetro desactiva el método de selección por distancia. Ejemplo:

```
"minimum-cells-at-distance": 2
```

Nuevo bloque *method-value* dentro del bloque *selection* de la etapa *postprocess*:

Parámetro **accumulated-value**. Valor numérico entre 0.0 y 1.0 que representa el porcentaje mínimo del potencial total (el potencial acumulado entre las áreas disponibles) que se desea para las áreas seleccionadas. Las áreas disponibles se ordenan en orden decreciente de potencial, y se van seleccionando áreas hasta alcanzar este porcentaje. Opcional, sólo es necesaria especificarla cuando se quiere utilizar este método de selección. Asignar un valor 0 este parámetro desactiva el método de selección por valor. Ejemplo:

```
"accumulated-value": 0.60
```

Cuando simultáneamente se utilicen los criterios de selección de áreas por distancia y por valor, el resultado es la intersección de ambos: las áreas seleccionadas son aquellas que superan ambos criterios.

En un nuevo bloque *expansion* de esta etapa *postprocess* se definen los criterios para el proceso de expansión de las mejores zonas. Se define la estrategia de asignación de celdas, para priorizar las zonas más pequeñas (todas las zonas terminan teniendo un tamaño similar), las más grandes (las mayores aumentan de tamaño diferenciándose aún más de las pequeñas) o utilizando una asignación aleatoria (que preserve la diferencia de tamaños original). Opcionalmente, el nombre un mapa *raster* que funcione como plantilla para dirigir el proceso de expansión.

Parámetro **assign-preference**. Obligatorio, con los valores posibles *small*, *large* y *random*. Define la estrategia en la que las celdas se reparten entre las áreas seleccionadas en el proceso de expansión: priorizar las áreas más pequeñas, las más grandes o hacer un reparto completamente aleatorio. Ejemplo:

```
"assign-preference": "small"
```

Parámetro **basins-map**. Un nombre de fichero de mapa que contenga una plantilla espacial. En este mapa se identifican con un valor numérico las distintas zonas contiguas (zona 0.0, zona 1.0, zona 2.0...) que se usarán como base para el reparto de celdas entre las áreas seleccionadas en el proceso de expansión. Un área sólo va a expandirse por las zonas que ya está ocupando. Cuando ya ha agotado todas las celdas de las zonas que ya está ocupando, pero necesita seguir expandiéndose, aleatoriamente selecciona una zona vecina y la comienza a ocupar. Opcional. Ejemplo:

Organiza:



Con el apoyo de:



VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fundación Biodiversidad



Oficina Española de Cambio Climático

```
"basins-map": "../galicia/100/cuencas.asc"
```

Parámetro **minimim-cells-in-basin**. Valor numérico entero que representa el mínimo número de celdas que debe contener una zona de la plantilla para ser utilizada en el proceso de expansión. Si el área ocupa menos de ese número de celdas en una zona de la plantilla, a priori no la utiliza. Sin embargo, cuando agote las celdas de las áreas en uso, esas zonas descartadas pueden ser seleccionadas aleatoriamente para ser ocupadas. Opcional, sólo es necesaria especificarla cuando se está utilizando una plantilla en *basins-map*. Ejemplo:

```
"minimim-cells-in-basin": "2"
```

Metodología de uso

La metodología propuesta en el proyecto requiere que el proceso de delimitación se aplique de manera secuencial a cada uno de los cinco tipos de elemento considerados (las zonas de amortiguación y las cuatro zonas multifuncionales), cada uno con una configuración personalizada. La propuesta de ejecución, por tanto, supone:

1. Resolver la delimitación de las zonas de amortiguación
2. Delimitar las zonas multifuncionales de mitigación del cambio climático
3. Delimitar las zonas multifuncionales de adaptación al cambio climático
4. Delimitar las zonas multifuncionales de mejora de la calidad de vida
5. Delimitar las zonas multifuncionales de producción agroforestal sostenible

Para resolver estas delimitaciones, el usuario ejecuta la aplicación proporcionando el nombre del fichero de configuración como único parámetro. La aplicación procesa el fichero, lee los mapas de entrada y parámetros de control, calcula la mejor solución y genera un mapa con el resultado.

En principio, resolver cada uno de estos elementos requiere de una configuración diferente para describir la estrategia específica, datos necesarios y criterios a valorar. Sin embargo, la simetría natural del problema de delimitación permite reutilizar la mayor parte de estos valores entre etapas para revisarlos sólo cuando la solución se desvíe de la esperada. Se proporciona un resumen rápido del contenido de los ficheros de configuración en cada etapa.

Zonas de amortiguación

Los mapas de potencial de provisión de servicios ecosistémicos útiles para delimitar las zonas de amortiguación contienen servicios antagónicos, así que se agrupan en dos bloques de servicios no antagónicos entre sí. Todos estos mapas de potencial de provisión se combinan con el mismo peso. Se puede consultar la lista propuesta de servicios ecosistémicos considerados en cada delimitación en la documentación del proyecto (FV1.6 o [informe técnico sobre los SE considerados en la delimitación de diferentes zonas de una IV](#)).

Contenido del fichero de configuración:

Organiza:



Con el apoyo de:



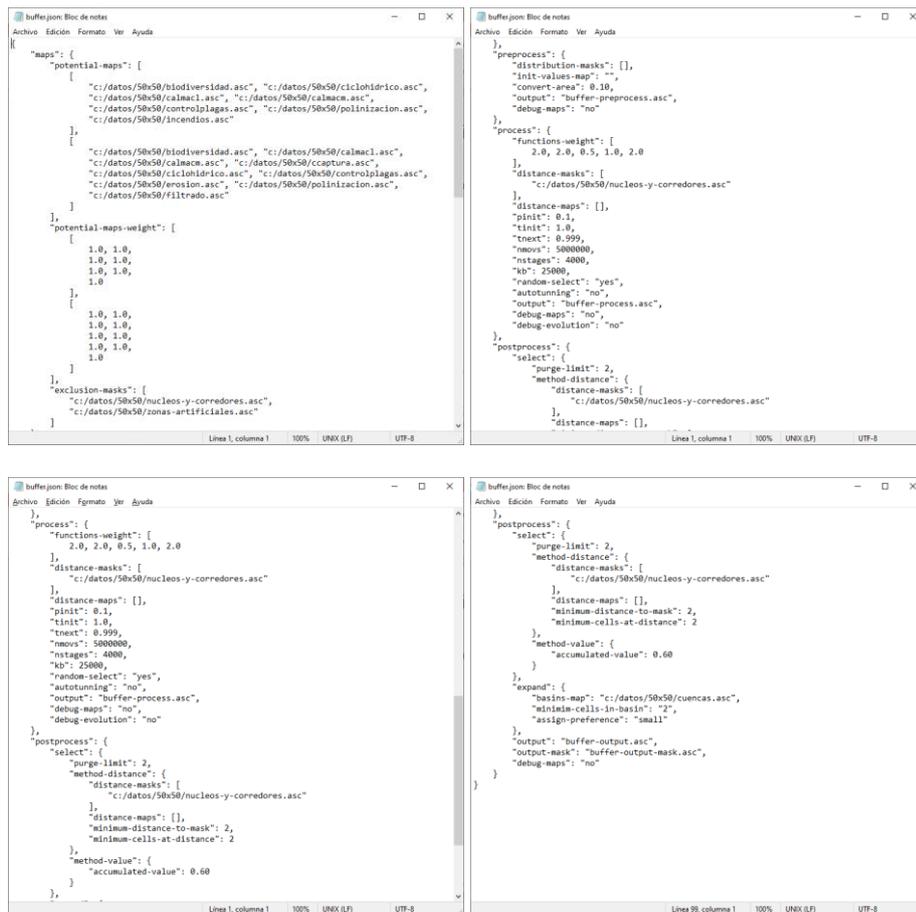
VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fundación Biodiversidad



Oficina Española de Cambio Climático



```

"maps": {
  "potential-maps": [
    "c:/datos/50x50/biodiversidad.asc", "c:/datos/50x50/ciclohidrico.asc",
    "c:/datos/50x50/calmacl.asc", "c:/datos/50x50/calmacl.asc",
    "c:/datos/50x50/controlplagas.asc", "c:/datos/50x50/polinizacion.asc",
    "c:/datos/50x50/incendios.asc"
  ],
  "potential-maps-weight": [
    [
      1.0, 1.0,
      1.0, 1.0,
      1.0, 1.0,
      1.0
    ],
    [
      1.0, 1.0,
      1.0, 1.0,
      1.0, 1.0,
      1.0, 1.0,
      1.0
    ],
    [
      1.0
    ]
  ],
  "exclusion-masks": [
    "c:/datos/50x50/nucleos-y-corredores.asc",
    "c:/datos/50x50/zonas-artificiales.asc"
  ]
}
},
"process": {
  "functions-weight": [
    2.0, 2.0, 0.5, 1.0, 2.0
  ],
  "distance-masks": [
    "c:/datos/50x50/nucleos-y-corredores.asc"
  ],
  "distance-maps": [],
  "pinit": 0.1,
  "tinit": 1.0,
  "tnext": 0.999,
  "nmovs": 5000000,
  "nsteps": 4000,
  "kb": 25000,
  "random-select": "yes",
  "autotuning": "no",
  "output": "buffer-process.asc",
  "debug-maps": "no",
  "debug-evolution": "no"
},
"postprocess": {
  "select": {
    "purge-limit": 2,
    "method-distance": {
      "distance-masks": [
        "c:/datos/50x50/nucleos-y-corredores.asc"
      ],
      "distance-maps": [],
      "minimum-distance-to-mask": 2,
      "minimum-cells-at-distance": 2
    },
    "method-value": {
      "accumulated-value": 0.60
    }
  },
  "expand": {
    "basin-map": "c:/datos/50x50/cuencas.asc",
    "minimum-cells-in-basin": "2",
    "assign-preference": "small"
  },
  "output": "buffer-output.asc",
  "output-mask": "buffer-output-mask.asc",
  "debug-maps": "no"
}
}

```

Se utilizan varios ficheros de máscara para excluir: zonas núcleo de la infraestructura verde, corredores de la infraestructura verde, zonas artificiales y pequeñas islas del conjunto de celdas disponibles.

Se genera una solución inicial seleccionando el 10% de las celdas disponibles. No hace falta distribuir las espacialmente de ninguna forma predefinida, ya que el número de movimientos previsto para el proceso de optimización es suficientemente elevado.

Tampoco hace falta utilizar ningún mapa de valores iniciales (delimitaciones previas) ya que ésta todavía es la primera etapa que va a ser calculada.

El proceso de optimización utiliza los cinco términos heurísticos para la función de coste: maximizar potencial de provisión, minimizar perímetro, minimizar número de áreas, maximizar número de servicios ecosistémicos por celda y minimizar distancia a zonas de interés. Estos criterios se combinan con los siguientes pesos: 2.0, 2.0, 0.5, 1.0 y 2.0 (los tres criterios más importantes son potencial, perímetro y distancias).

Puesto que se utiliza el criterio de minimizar distancias a una zona de interés, ésta se debe expresar con ficheros de máscara o con ficheros de distancia. En el caso de las zonas de amortiguación se busca minimizar la distancia a núcleos y corredores, de manera que se puede reaprovechar las máscaras de núcleos y corredores usadas en la solución inicial como exclusiones.

Organiza:



Con el apoyo de:


 VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO


Fundación Biodiversidad



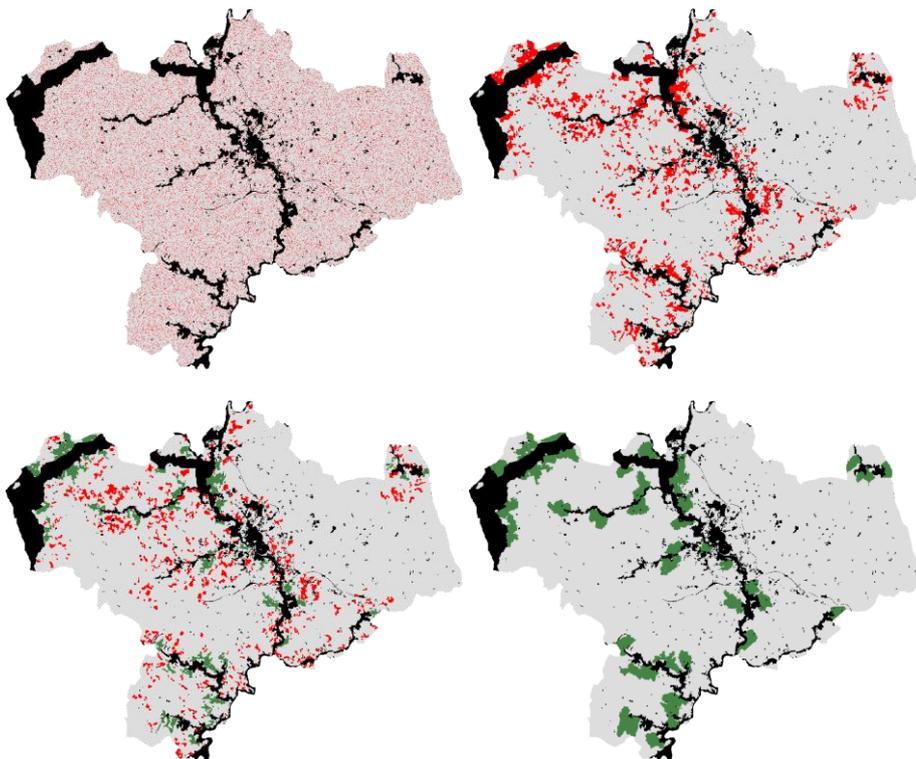
Oficina Española de Cambio Climático

A continuación se establecen los parámetros internos para el proceso de optimización numérico. La calibración se explica más adelante. Son: temperatura inicial 1.0, constante de enfriamiento 0.9992, cinco millones de movimientos a temperatura constante, cuatro mil cambios de temperatura, constante de Boltzmann 100000; sin autoajuste; generación de movimientos aleatoria.

Para el proceso de corrección de los resultados de la optimización, se eliminan las parcelas menores de 2 celdas (resolución actual, 100x100 m²). Se ha decidido seleccionar las parcelas que simultáneamente cumplan criterios de distancia y de valor. El criterio de distancia selecciona aquellas zonas que tengan 2 celdas a distancia 2 celdas de la zona de interés (en este caso, definida por las máscaras de núcleos y corredores). El criterio de valor selecciona aquellas parcelas más grandes que acumulen el 60% del valor total de la solución.

La expansión de las parcelas seleccionadas se hace priorizando parcelas pequeñas (de manera que terminen todas con un tamaño similar). Se utiliza además una plantilla espacial definida por el mapa *raster* de semicuencas hídricas.

El resultado, en forma de fichero con la delimitación y de máscara, corresponde a la delimitación propuesta. Se muestra la evolución temporal (de izquierda a derecha y de arriba abajo): solución inicial aleatoria, proceso de optimización numérica, selección de parcelas candidatas y etapa de expansión.



Zonas multifuncionales de mitigación del cambio climático

Cambian los mapas de potencial de provisión de servicios ecosistémicos útiles para delimitar estas zonas. Tampoco hay antagonismos. Y ya no participan todos con el mismo peso,

Organiza:



Con el apoyo de:



VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fundación Biodiversidad



Oficina Española de Cambio Climático

sino que hay usos principales que se combinan con un peso de 0.13 y usos secundarios que se combinan con un peso de 0.07, coeficientes derivados de la participación pública.

Como es la segunda etapa, a las celdas de exclusión hay que añadir el resultado de las zonas de amortiguación a través del fichero de máscara calculado en el paso anterior, mientras que el mapa *raster* con la delimitación calculada se utiliza como mapa de valores iniciales. Se genera una solución inicial convirtiendo el 5% de las celdas disponibles.

En el proceso de optimización se elimina el criterio de distancias en la función de coste. Pesos: 2.0, 2.0, 0.5, 1.0 y 0.0. Y se reutilizan los mismos valores para los parámetros internos del proceso de optimización, excepto en la constante de enfriamiento que pasa de 0.9992 a 0.9995.

En el proceso posterior de selección/expansión, se seleccionan las parcelas exclusivamente por el criterio de valor para tener aquellas que acumulen el 60% del total de la solución. De nuevo se expanden priorizando parcelas pequeñas y reutilizando la plantilla de semicuencias.

Zonas multifuncionales de adaptación al cambio climático

Nueva lista de mapas de potencial de provisión de servicios ecosistémicos, sin antagonismos, y con distintos pesos entre 0.20 y 0.03 resultantes de la participación pública. En esta tercera etapa, se añade la delimitación anterior a la lista de zonas de exclusión y se utiliza el resultado anterior como mapa de valores iniciales.

Se convierte el 5% de las celdas disponibles. Se utilizan los cinco criterios para la función de coste en el proceso de optimización, con los pesos 2.0, 2.0, 0.5, 1.0 y 2.0. Se trabaja con las distancias a núcleos de población grandes. Se reutilizan los valores anteriores de control. En el proceso de selección/expansión se seleccionan las parcelas por criterios de distancia (deben tener al menos 10 celdas a distancia 2 celdas de los núcleos de población grandes) y criterios de valor (acumular el 60% del valor total). Se expanden de nuevo utilizando las semicuencias.

Zonas multifuncionales para la mejora de la calidad de vida

Nueva lista de mapas de potencial de provisión de servicios ecosistémicos, sin antagonismos, y con distintos pesos entre 0.11 y 0.05 resultantes de la participación pública. En esta cuarta etapa, se añade la delimitación anterior a la lista de zonas de exclusión y se utiliza el resultado anterior como mapa de valores iniciales.

Se convierte el 5% de las celdas disponibles. Se utilizan los cinco criterios para la función de coste en el proceso de optimización, con los pesos 2.0, 2.0, 0.5, 1.0 y 2.0. Se trabaja con el mapa de densidad de población. Pero para que éste sea equivalente a los mapas distancias, se utiliza el mapa $1.0 - \log(\text{densidad_población})$. Se reutilizan los valores anteriores de control. En el proceso de selección/expansión se seleccionan las parcelas por criterios de valor (acumular el 60% del valor total). Se expanden de nuevo utilizando las semicuencias.

Zonas multifuncionales para la producción agroforestal sostenible

Nueva lista de mapas de potencial de provisión de servicios ecosistémicos, con antagonismos, y con distintos pesos entre 0.25 y 0.04 resultantes de la participación pública. En

Organiza:



Con el apoyo de:



GOBIERNO
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fundación Biodiversidad



esta tercera etapa, se añade la delimitación anterior a la lista de zonas de exclusión y se utiliza el resultado anterior como mapa de valores iniciales.

Se convierte el 10% de las celdas disponibles. Se utilizan los cinco criterios para la función de coste en el proceso de optimización, con los pesos 2.0, 2.0, 0.5, 1.0 y 2.0. Se minimiza la distancia a las cuatro delimitaciones anteriores. Se reutilizan los valores anteriores de control, excepto en la constante de enfriamiento que pasa de 0.9995 a 0.9993. por criterios de distancia (deben tener al menos 2 celdas a distancia 2 celdas de las delimitaciones anteriores) y criterios de valor (acumular el 60% del valor total). Se expanden de nuevo utilizando las semicuevas.

El resultado es el mapa *raster* con todas las delimitaciones.

Propuesta de calibración

El método de optimización numérica sigue el siguiente pseudocódigo:

```
s = generar una solución aleatoria
e = calcular la función objetivo sobre la solución s
t = TINIT
repetir NSTAGES veces:
    repetir NMOVS veces:
        s2 = realizar movimiento aleatorio sobre la
solución s
        e2 = calcular la función objetivo sobre la
solución s2
        si e2 < e, entonces:
            s = s2
            e = e2
        en caso contrario:
            si random(0,1) <= exp((e - e2)/(KB*t)),
entonces:
            s = s2
```

En el proceso de ejecución del algoritmo para resolver cada delimitación, es crítica la selección de los parámetros de control interno (*TINIT*, *TNEXT*, *NMOVS*, *NSTAGES* y *KB*). En caso contrario la solución inicial no va a converger a una distribución óptima o va a converger tan lentamente que el proceso finaliza antes de alcanzarla.

Se propone la siguiente metodología para calcular estos parámetros en una etapa (zonas de amortiguación). La simetría natural del problema de delimitación permite reutilizar la mayor parte de estos valores entre las siguientes etapas (zonas multifuncionales) para revisarlos sólo cuando la solución se desvíe de la esperada.

Paso 1. Comprobar que todos los mapas tienen el formato correcto y comparten sistema de coordenadas, límites y resolución.

Organiza:



Con el apoyo de:



VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fundación Biodiversidad



Oficina Española de Cambio Climático

Paso 2. En el fichero de configuración añadir los mapas de servicios ecosistémicos para esta delimitación, considerando la existencia de usos sinérgicos y antagónicos, y con los pesos correctos. Indicar las zonas de exclusión (núcleos, corredores, áreas artificiales, y pequeñas islas). Definir el porcentaje de celdas disponibles que van a ser seleccionadas.

Paso 3. Ejecutar el preprocesado. Se puede utilizar un parámetro extra para indicar que sólo se necesita ejecutar este paso, que todavía se están validando los datos, y que no hace falta recorrer todo el proceso. La ejecución crea un nuevo mapa *raster* con el nombre definido en el parámetro *output* del bloque *preprocess*:

```
c:\> inverde.exe --preprocess buffer.json
```

El área de trabajo queda definida en el mapa de salida por las celdas presentes en todos los mapas de potencial menos las zonas explícitamente señaladas con las máscaras de exclusión. Está repartida entre celdas disponibles y celdas seleccionadas en función del porcentaje indicado en un paso previo.

Revisar con este mapa que las zonas excluidas corresponden con las que el usuario quería eliminar; en caso contrario es probable que alguno de los mapas de potencial pueda estar mal definido en esas áreas y deba ser corregido. De la misma manera, revisar que se han excluido las zonas que pueden dar problemas (tal vez porque estén desconectadas del resto del mapa, por ejemplo, islas); en caso contrario, se puede añadir un nuevo fichero de máscara al fichero de configuración. Por último, comprobar que el número de celdas seleccionado es adecuado; en caso contrario, corregir el valor de porcentaje a transformar. Si se hacen cambios al fichero de configuración o a los mapas de entrada, repetir el paso 3.

Paso 4. En el fichero de configuración definir pesos realistas para la función objetivo. Si se utiliza el término de distancias, proporcionar el mapa de distancias o la máscara de puntos de interés que el algoritmo utilizará para calcular las distancias. En este caso (delimitación de zonas de amortiguación) la función objetivo usa los pesos de 2.0 (aptitud), 2.0 (perímetro), 0.5 (número de áreas), 1.0 (número de servicios por celda) y 2.0 (distancias); se busca minimizar la distancia a núcleos y corredores (disponemos de las máscaras).

Paso 5. En el fichero de configuración hay que definir los valores adecuados para el control de la optimización numérica. Primero, se seleccionan unos pocos valores y se intenta que la aplicación ajuste automáticamente el resto. El resultado es más útil cuando estos valores iniciales estén próximos a los reales, pero de momento el usuario todavía no sabe el rango de valores que puede utilizar. Seleccionar:

- *TINIT* = 1.0
- *NSTAGES* = 1
- *PINIT* = 0.1
- *autotuning* = yes

Paso 6. Ejecutar la optimización. Se puede utilizar un parámetro extra para indicar que sólo se necesita ejecutar este paso, que todavía se están buscando valores, y que no hace falta recorrer todo el proceso. La ejecución crea un nuevo mapa *raster* con el nombre definido en el parámetro *output* del bloque *process*:

Organiza:



Con el apoyo de:



GOBIERNO
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fundación Biodiversidad



```
c:\> inverde.exe --process buffer.json
```

De momento se va a ignorar el mapa de salida. Con los parámetros casi arbitrarios que se le han dado no va a ser especialmente útil. Sin embargo, durante la ejecución el proceso, ha calculado unos valores recomendados para *NMOVS* y *KB*. Tan pronto como aparezcan estos resultados en consola, el proceso se puede interrumpir. Estos valores dependen de los mapas de entrada, de la solución inicial, y del valor elegido para *TINIT*. Si algo de esto cambia, conviene recalcularlos.

Paso 7. En el fichero de configuración introducir los siguientes valores para examinar la evolución temporal de la función de coste:

- *TINIT* = 1.0
- *NSTAGES* = 5000
- *autotuning* = no
- *TNEXT* = 0.999
- *KB*, el valor obtenido en el paso anterior
- *NMOVS*, el valor obtenido en el paso anterior
- *debug-evolution* = yes

Paso 8. Ejecutar la optimización. Se puede utilizar un parámetro extra para indicar que sólo se necesita ejecutar este paso, que todavía se están buscando valores, y que no hace falta recorrer todo el proceso. La ejecución crea un nuevo mapa *raster* con el nombre definido en el parámetro *output* del bloque *process*:

```
c:\> inverde.exe --process buffer.json
```

De momento se va a ignorar el mapa de salida. Revisar el fichero con la evolución temporal. Para cada etapa, muestra temperatura, coste global, número de aceptaciones directas, número de aceptaciones probabilísticas, y valores de los cinco criterios heurísticos. En una optimización, la tercera columna (función de coste) va a decaer exponencialmente hasta estabilizarse en un valor inferior. En una buena optimización, la función de coste va a decrecer de manera suave durante el primer tercio del proceso y estabilizarse en el valor inferior antes de llegar al segundo tercio.

Organiza:



Con el apoyo de:

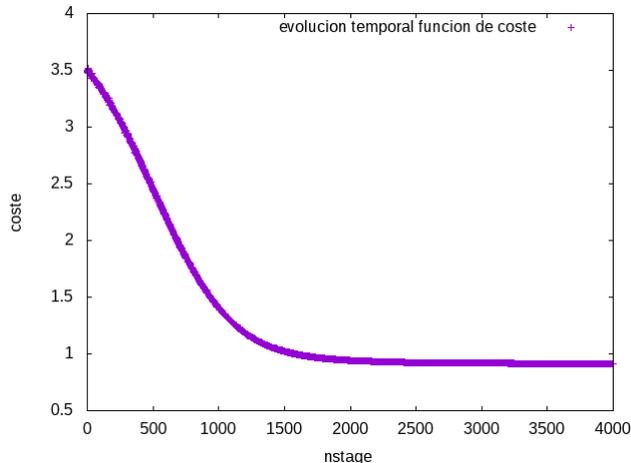
VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Fundación Biodiversidad



Oficina Española de Cambio Climático

Por ejemplo:



Revisar que la función de coste del actual proceso de optimización decrece cumpliendo las condiciones anteriores. Si la pendiente es demasiado brusca al principio, se puede corregir aumentando ligeramente el valor del parámetro *TNEXT* (nunca puede llegar a 1.0).

Una alternativa es modificar *NMOVS*: disminuir este valor debería ralentizar la evolución de la función de coste (reducir el enfriamiento) y viceversa. Pero si se disminuye demasiado las celdas tendrán pocas oportunidades para desplazarse a una mejor posición; y si aumenta mucho, la distribución se reordenará ya en las primeras etapas del proceso donde las aceptaciones probabilísticas son menos exigentes y la solución quedará en un estado de óptimo local. Por tanto, es preferible simplemente ajustar *TNEXT*.

Si se hacen cambios a los parámetros de control, buscando mejorar la evolución temporal, repetir el paso 8. En caso contrario, desactivar la generación del fichero de evolución temporal del fichero de configuración:

- *debug-evolution = no*

Paso 9. Continuar configurando el fichero de configuración con las estrategias de selección de zonas candidatas, y criterios para la expansión. Ejecutar el postprocesado. Se puede utilizar un parámetro extra para indicar que sólo se necesita ejecutar este paso, que todavía se están buscando valores, y que no hace falta recorrer todo el proceso. La ejecución crea un nuevo mapa *raster* con el nombre definido en el parámetro *output* del bloque *postprocess*:

```
c:\> inverde.exe --postprocess buffer.json
```

Revisar el mapa de salida. Si el resultado no es satisfactorio, el usuario puede modificar de nuevo el fichero de configuración y repetir el paso 9.

En el momento en que el fichero de configuración contiene los parámetros de todo el proceso, puede lanzarse todo el cálculo de una sola vez:

```
c:\> inverde.exe buffer.json
```

Parámetros en línea de comando

Esta implementación es una aplicación pensada para ser ejecutada desde línea de comandos, con versiones para *MS Windows*, *macOS* y *Linux*. En el modo de funcionamiento más sencillo, el usuario ejecuta la aplicación proporcionando el nombre del fichero de configuración como único parámetro.

```
c:\> inverde.exe configuration.json
```

Por comodidad, existe otros parámetros opcionales que pueden ser invocados **antes** del nombre del fichero de configuración. Permiten limitar la ejecución a sólo algunas de las tres fases: preprocesado, procesado y postprocesado. Sin embargo, el usuario debería tener en cuenta para la fase de procesado la aplicación necesita que exista el mapa generado en la etapa previa de preprocesado. Para ello va a leer en el fichero de configuración el nombre del fichero de salida del preprocesado y cargarlo para ejecutar el procesado. De la misma forma, al ejecutar el postprocesado la aplicación necesita el mapa generado en la etapa previa de procesado.

Llamada completa:

```
c:\> inverde.exe [--preprocess][--process][--postprocess] c.json
```

Se pueden especificar más de uno de estos parámetros opcionales para que la aplicación ejecute las fases correspondientes:

- `--preprocess`: ejecuta el preprocesado; se genera la solución inicial
- `--process`: ejecuta el procesado; se optimiza numéricamente la solución inicial
- `--postprocess`: ejecuta el postprocesado; se corrige la optimización numérica

Bibliografía

- VALLADARES, F., GIL, P. Y FORNER, A. (coord). (2017). Bases científico-técnicas para la Estrategia estatal de infraestructura verde y de la conectividad y restauración ecológicas. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid., 257 pp.
- EMILE H. L. AARTS, JAN KORTS. (2002). Selected topics in Simulated Annealing. Essays and Surveys in Metaheuristics. Operations Research/Computer Science Interfaces Series, vol 15, pp 1-37 Springer, Boston, MA.
- IETF rfc7159 (2014). The Javascript Object Notation (JSON) Data Interchange Format
- ESRI (2015) Arc/INFO GRID File structure.
- FV1.6. Metodología de selección de conjuntos de servicios ecosistémicos para la delimitación de la infraestructura verde.

Organiza:



Con el apoyo de:



GOBIERNO
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fundación Biodiversidad

