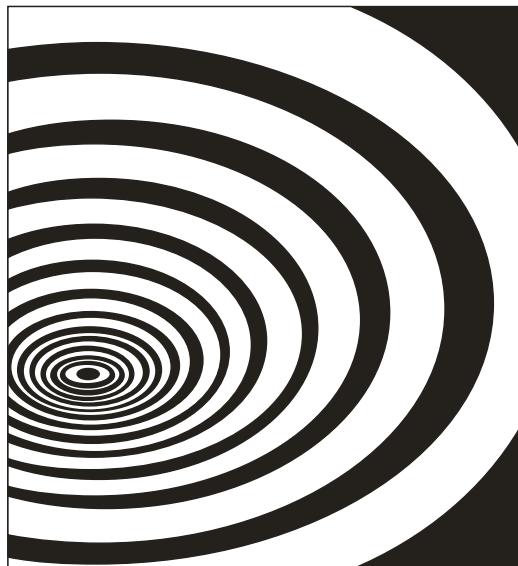


Modelamiento de Dinámica Ambiental con Dinamica EGO



Britaldo S. Soares Filho, Hermann O. Rodrigues, William L. Costa (2009)

Traducción por Renzo Giudice

Centro de Sensoriamento Remoto/Universidade Federal de Minas Gerais (CSR/UFMG).
Av. Antônio Carlos 6627, Belo Horizonte, 31270-901, MG, Brazil

Contenido

1. Introducción	4
1.1 La interfase gráfica de Dinamica EGO	7
1.2 Visor de imágenes	11
1.3 Estructura y formato de datos.....	13
2. Lección 1: Construcción de un modelo simple	15
3. Lección 2: Incorporación de iteraciones al modelo	26
4. Lección 3: Usode el concepto de región	32
5. Lección 4: Cálculo de una superficie de costos y de la ruta menos costosa	35
6. Lección 5: Evaluación Multi-Criterio (EMC) en Dinamica EGO.....	42
6.1 Primer paso: Identificación de áreas disponibles	42
6.2 Segundo paso: Construcción de buffers para definir areas no idóneas	44
6.3 Tercer paso: Cálculo del tiempo de viaje a pueblos vecinos.....	48
6.4 Cuarto paso: Combinación de criterios binarios.....	49
6.5 Quinto paso:.....	53
6.6 Sexto paso:	55
7. Lección 6: Construcción de un modelo de simulación del cambio de uso del suelo y cobertura (Land Use Change and Land Cover – LUCC).....	59
7.1 Primer paso: Cálculo de lasmatrices de transición	61
7.2 Segundo paso: Cálculo de rangos para categorizar variables continuas.....	64
7.3 Tercer paso: Cálculo de los coeficientes de pesos de evidencia	69
7.4 Cuarto paso: Análisis de correlación entre mapas.....	71
7.5 Quinto paso: Construcción yejecución del modelo de simulación LUCC	73
7.6 Sexto paso: Validaciónde la simulación mediante una función exponencial de decaimiento (exponential decay function).....	77
7.7 Séptimo paso: Validación de la simulación usando ventanas múltiples y una función de decaimiento constante.....	81
7.8 Octavo paso: Ejecución de la simulación con formación de parches.....	84
7.9 Noveno paso: Ejecución la simulación con formación de parches y expansiones	85
7.10 Décimo paso: Proyecciones de las trayectorias de deforestación	88
8. El lenguaje de programación Dinamica EGO y Console Launcher.....	90
9. Recursos avanzados	95
9.1 Variación de los parámetros de una simulación	96
9.2 Uso de subregiones en un modelo de simulación	97
9.3 Uso del tiempo de permanencia	101
9.4 Uso del tiempo de permanenciay transiciones determinísticas	103

9.5 Uso de la saturación local.....	104
10. Medidas del paisaje en Dinamica EGO	106
11. Estudio de caso REDD.....	107
11.1. Desarrollo de un modelo de proyección econométrico que predice las tasas de deforestación basándose en cambios en el contexto socioeconómico de municipios.....	110
11.2. Desarrollo de un modelo para monitorear las emisiones de carbono.....	112
12. Referencias	115
13. Lista de functors.....	117

1. Introducción

Qué aprenderá en la introducción?

- Qué es Dinamica EGO
- Qué es un functor
- De qué se trata esta guía
- Qué es lo nuevo en la versión 1.4 de Dinamica EGO (Septiembre 2009)

Bienvenidos a DINAMICA EGO. El término EGO hace referencia al concepto de Environment for Geoprocessing Objects (Entorno para Objetos de Geo-procesamiento). La versión previa de DINAMICA ha sido totalmente renovada, convirtiéndose en una herramienta de modelación con posibilidades excepcionales para el diseño de modelos que van, desde los espaciales estáticos hasta complejos modelos dinámicos, los cuales pueden involucrar iteraciones anidadas, retroalimentaciones dinámicas, aproximaciones multi-regionales, manipulación y combinación algebraica de datos en distintos formatos, tales como mapas, tablas, matrices, y constantes, y procesos de decisión para bifurcar y juntar flujos de ejecución, y una serie de complejos algoritmos para el análisis y simulación de fenómenos espacio-temporales (Fig.1).

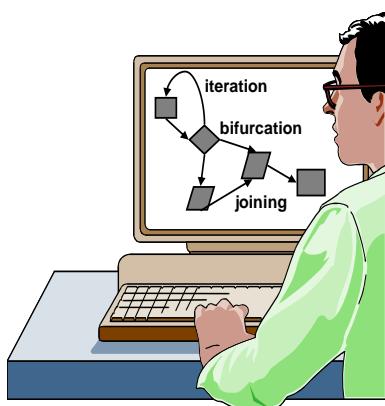


Fig. 1 – Cadena de flujo de datos presentando iteración, bifurcación, y unión.

El entorno del software, escrito en C++ y Java, contiene una serie de algoritmos llamados functors, cada uno de los cuales, ejecuta una operación específica. A la fecha, hemos implementado los algoritmos de análisis espacial más comunes, disponibles en SIG comerciales (Sistemas de Información Geográfica), además de una serie de algoritmos especialmente diseñados para simulaciones espaciales, incluyendo funciones de transición, calibración, y validación de métodos.

Estos functors están secuenciados para establecer un flujo de datos en forma gráfica. Mediante la interfase de Dinamica EGO, es posible crear modelos sólo con arrastrar y conectar functors a través de sus puertos, los cuales representan conectores hacia distintos tipos de datos, tales como mapas, tablas, matrices, expresiones matemáticas, y constantes. Los functors pueden ser agrupados dentro de "contenedores", una forma especial de functor, los cuales son utilizados, por ejemplo, para ejecutar iteraciones o procesar datos de una región específica de un mapa.

Por lo tanto, los modelos pueden ser diseñados como diagramas y su ejecución sigue una cadena de flujo de datos. Esta amigable interfase permite el diseño de modelos desde simples a modelos espaciales muy complejos que son almacenados en un lenguaje script en formato XML o en el lenguaje de programación EGO.

En suma, Dinamica EGO favorece la simplicidad, flexibilidad, y buena performance, optimizando velocidad y los recursos de la computadora, tales como la memoria virtual y el procesamiento paralelo. La mayoría de sus algoritmos están diseñados para aprovechar la arquitectura dual, o de mayor rango, del procesador. Adicionalmente, Dinamica EGO maneja imágenes raster de gran tamaño, hasta de 64,000x64,000 celdas, utilizando la paginación de discos (o disk paging). Por otro lado, si hay suficiente memoria, Dinamica EGO puede cargar todos los mapas iniciales (inputs) al inicio de la ejecución de un modelo y mantenerlos en la memoria sólo mientras sean requeridos. De esta forma, el programa sólo accede al disco duro al final de la ejecución para guardar los mapas producidos (outputs) o, si un usuario lo especifica, al final de una iteración, para guardar un mapa por cada paso.

El objetivo de este tutorial es presentarle la infinidad de posibilidades que Dinamica EGO ofrece para diseñar modelos que puedan representar la complejidad de varios fenómenos geográficos.

Qué es lo Nuevo en la versión 1.4 (Octubre 2009)

- ✓ Nuevo formato de script EGO: la performance del “parser” (análisis de sintaxis) ha sido perfeccionada para lograr una mejor validación del contenido del script y para mostrar más mensajes de error. Adicionalmente, los formatos EGO y XML son ahora 100% compatibles, de modo que no se pierde información cuando ésta es convertida de un formato a otro.
- ✓ El lenguaje de programación EGO ha sido perfeccionado.
- ✓ Nueva maquinaria de lectura de mapas raster. Ahora, a pesar que no haya suficiente memoria virtual, Dinamica EGO puede manejar imágenes grandes, gracias al mecanismo de paginación en disco (o disk swapping).
- ✓ Los bugs (errores de programación), en la lectura y escritura del contenido de algunos editores, han sido solucionados.
- ✓ Más functors han sido paralelizados.
- ✓ El nuevo Map Viewer(visor de imágenes) muestra mapas extensos y permite la manipulación de histogramas.
- ✓ Ahora, usted puede convertir cualquier matriz de cambio en una *LookupTable* (tabla de búsqueda) y vice-versa.
- ✓ Ahora, los functors pueden ser nombrados bajo un alias. El alias representa el nombre de una variable en el script EGO, por lo que modelos textuales son mucho más inteligibles.
- ✓ Un Nuevo mecanismo web de actualización de Dinamica EGO.
- ✓ La opción Menu presenta información centralizada.
- ✓ Nuevo panel de propiedades en dónde se pueden editar los puertos de los functors.
- ✓ Revisor de gramática dentro de un functor (sólo en Inglés).
- ✓ Nuevo mecanismo de “caída del sistema” que guarda el modelo automáticamente para evitar su pérdida.
- ✓ Ahora el functor *LookupTable* tiene una función de auto-llenado y una herramienta de visualización de gráficos.
- ✓ Nuevo functor de búsqueda por nombre, alias, y comentarios de los functors.
- ✓ Modificación del Look & Feel (apariencia y función de la interfase) para requisitos particulares.
- ✓ Función de backup (respaldo).
- ✓ Corrección de bugs y otras optimizaciones de performance.
- ✓ Panel de opciones con las propiedades de los modelos construidos (autor, versión, etc.), las cuales, además, podrán ser visualizadas como un tooltip en el explorador de windows.
- ✓ Nuevos functors del Map Algebra (álgebra de mapas), incluyendo pendiente, dirección, y acumulación del flujo hidrológico. Operadores que permiten asignar y obtener categorías de mapas, y nuevos contenedores para extraer una cobertura de un cubo

de imágenes raster y para ensamblar mapas en un cubo raster de múltiples coberturas.

- ✓ Los Functors para el control de flujos han sido renombrados para representar de una mejor forma los procesos que efectuan.
- ✓ Run external process (ejecución de procesos externos) permite “llamar” a un programa desde dentro de Dinamica EGO.
- ✓ Operadores de vecindad y nuevos operadores de tablas incluidos en el *Calculate map*.
- ✓ Un tutorial ampliado, incluye lecciones sobre los atributos avanzados de Dinamica EGO y un estudio de caso REDD.
- ✓ Ahora se pueden elaborar y guardar cuadros directamente de las *Lookup tables*.
- ✓ Nombres de categorías y valores pueden ser insertados en el encabezado de una lookup table.
- ✓ Valores lineales pueden ser interpolados en una lookup table.

1.1 La interfase gráfica de Dinamica EGO

Qué aprenderá?

- La interfase gráfica de Dinamica EGO
- Las herramientas de la interfase
- Cómo diseñar un modelo con Dinamica EGO

En Dinamica EGO, los modelos son expresados como una secuencia de functors, conectados a través de insumos y productos compatibles. Así se permite el flujo de datos a través de los functors para producir el resultado que representa la solución a una pregunta sobre algún tema ambiental.

La interfase gráfica de Dinamica EGO está dividida en seis ventanas. Desde la esquina superior izquierda y en sentido horario, éstas son: 1) library (biblioteca), 2) sketch (bosquejo), 3) message log (registro de mensajes), 4) bird view (vista de ave), 5) functor properties (propiedades de los functors) y 6) explorer tabs (explorador de pestañas) (Fig. 2).

Los modelos son diseñados simplemente al arrastrar functors desde la ventana library y colocarlos en el sketch. El bird view proporciona una mirada sinóptica del modelo y es especialmente útil para modelos extensos que no caben por completo dentro del sketch cuando son presentados en el tamaño regular. El área sombreada dentro del bird view corresponde a la ventana del sketch. Deslice la sombra con el mouse para visualizar una parte del modelo. La visualización tipo árbol proporciona una mirada jerárquica del modelo, permitiéndonos seleccionar o localizar un functor y editar sus propiedades a través de la ventana functor properties. En la parte baja de la interfase se encuentra el Message log, un espacio reservado para reportar mensajes de texto que muestran resultados, errores, advertencias, información, e información debug (limpieza de errores). Por defecto, el registro de texto dará el nivel de información “info”, pero el usuario puede cambiar esto, sólo con presionar el botón del nivel de información deseado. **TIP:** Usted puede incrementar la performance de algunos modelos reduciendo el nivel del mensaje. Otra forma de lograr esto es utilizando el functor *log policy* (ubicado en la pestaña Control). La ventana del sketch contiene una ventana de herramientas en la parte superior. **TIP:** Usted puede cambiar la perspectiva de la interfase, yendo a la opción Window en la barra del menu y eligiendo luego una de las tres perspectivas disponibles.

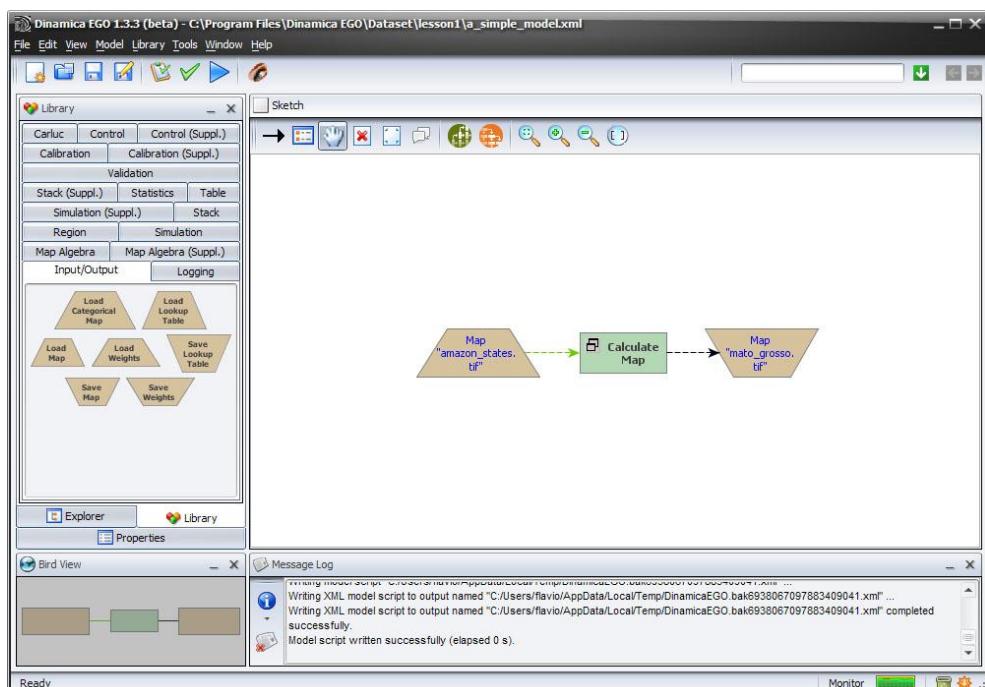
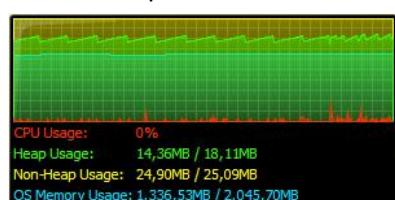


Fig. 2 – Interfase gráfica de Dinamica EGO

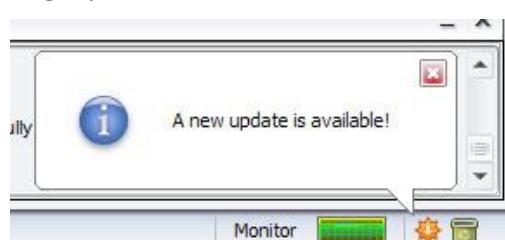
TIP: usted puede redimensionar o cerrar ventanas. Esto puede ser útil cuando el modelo incrementa el número de functors que utiliza. Sólo se necesita incrementar el tamaño de la ventana del sketch a expensas del tamaño de las demás ventanas.



En la barra más inferior, se encuentra la ventana del monitor y la herramienta colectora de "basura" que permiten al usuario reducir la memoria que Dinamica EGO distribuye dinámicamente.

Pase el mouse sobre la ventana del monito para agrandarla.

Cuando una nueva versión de Dinamica EGO esté disponible, un mensaje aparecerá en la esquina de la ventana de la interfase. Vaya a la página web de Dinamica EGO (www.csr.ufmg.br/dinamicaego) para actualizar su versión.



El conjunto de herramientas del sketch permite conectar, editar, seleccionar, mover functors y editar sus puertos, escribir comentarios sobre un functor, organizar la disposición del modelo, y mostrar esta disposición en distintos acercamientos (Fig.3). **TIP:** usted puede mover el conjunto de herramientas para colocarlo de forma vertical al lado izquierdo de la ventana del sketch. También se puede acceder a las herramientas haciendo click en el edit de la barra del menu principal o a través de los íconos mostrados en la opción edit.



- Connect functor via their ports: conecta los functors a través de sus puertos
- Edit functors: edita los functors
- Move/Select functors: mueve y selecciona functors
- Delete functors: borra functors
- Edit functor ports: edita los puertos de los functors
- Write comments to a functor: añade comentarios al functor
- Organiza la disposición del modelo de izquierda a derecha
- Organiza la disposición del modelo de izquierda hacia abajo
- Ajusta la disposición del modelo a la ventana de sketch
- Acerca el modelo
- Aleja el modelo
- Tamaño por defecto

TIP: los functors también pueden ser borrados; para ésto, selecciónelos con la herramienta de la mano y luego presione Supr.

En la ventana library encontrará los functors disponibles, organizados por grupos de acuerdo a su naturaleza y función.

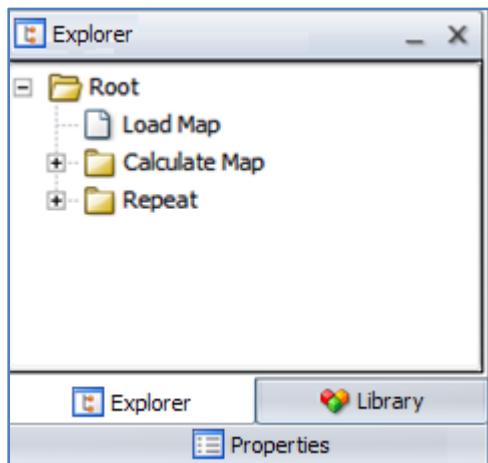
Los grupos con los que se cuenta a la fecha son:

- 1) Map Algebra (álgebra de mapas): functors de análisis espacial.
- 2) Map Algebra supplementary (suplemento de álgebra de mapas): functors auxiliares para utilizarse junto con los functors del Map Algebra.
- 3) Region (región): estos functors permiten subdividir un mapa en varias regiones, las cuales serán utilizadas individualmente en una iteración o en un sub-modelo en particular.
- 4) Simulation (simulación): grupo de functors especialmente diseñados para desarrollar modelos espacio-temporales.
- 5) Simulation supplementary (suplemento de simulación): functors auxiliares que se usan junto con los functors del map simulation.
- 6) Stack (pila): estos functors permiten seleccionar parámetros específicos de acuerdo a la iteración en ejecución.
- 7) Stack supplementary (suplemento de pila): aquellos functors a ser utilizados conjuntamente con aquellos del stack.
- 8) Statistics (estadísticos): functors para realizar análisis estadísticos espaciales.
- 9) Table (tabla): functors para manipular lookup tables (tablas de búsqueda).
- 10) Validation(validación): mediciones para comparar mapas.
- 11) Calibration (calibración): un conjunto de herramientas para calibrar modelos espacio temporales.
- 12) Calibration supplementary (suplemento de calibración): aquellos functors que se utilizan junto con aquellos de calibration.
- 13) Carluc (Carbono y Cambio del Uso del Suelo) (Hirsh et al., 2004). Este grupo ha sido deshabilitado ya que los modelos CARLUC son implementados directamente utilizando los demás functors.
- 14) Control: functors que controlan la cadena del flujo de información.
- 15) Control supplementary (suplemento de control): a usarse en conjunto con los de Control.
- 16) Input/output (insumos/productos): algoritmos para leer y grabar mapas, tablas, y datos de pesos de evidencia.
- 17) Logging (actividad forestal): específicamente para el modelo espacial de madera (Merry et al, 2009).

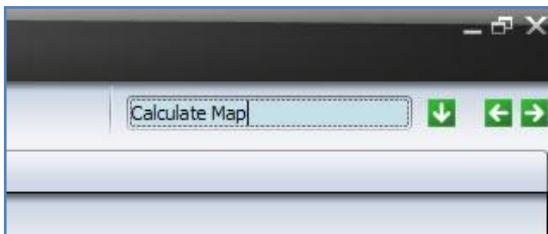
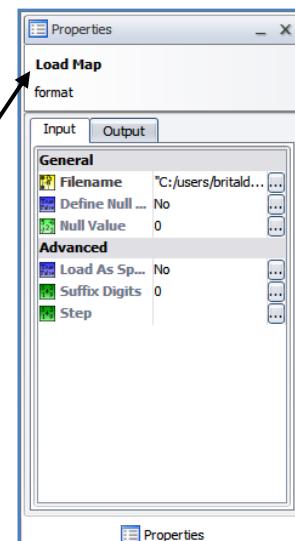
Finalmente, los íconos de la barra del menu permiten crear, abrir, y grabar modelos, grabarlos como un nuevo archivo, revisar la integridad de los operadores en el script del modelo, verificar la integridad de las conexiones en el modelo, ejecutar el modelo, y abrir el map viewer.**TIP:** Es posible abrir más de una ventana de Dinamica EGO a la vez. Esto puede ser útil, por ejemplo, para comparar la estructura de dos modelos. También puede abrir distintas ventanas del visor de imágenes para observar varios mapas. Sólo debe hacer click en el ícono del ojo cada vez que quiera abrir una nueva ventana.



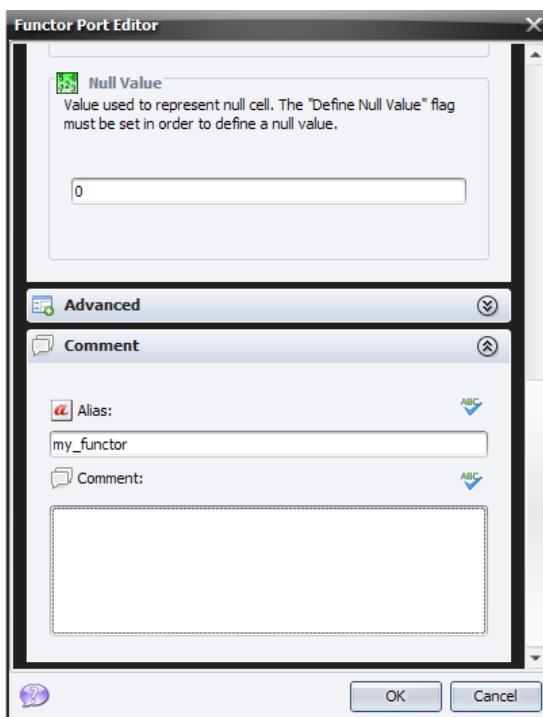
Una vez que empiece a construir un modelo, Dinamica EGO proporciona algunos atributos que facilitan la navegación a través de este. Puede utilizar la ventana Explorer (explorador) para observar una representación tipo árbol de su modelo.



Seleccione un elemento (con el botón izquierdo del mouse) para poder editarlo en la ventana properties:

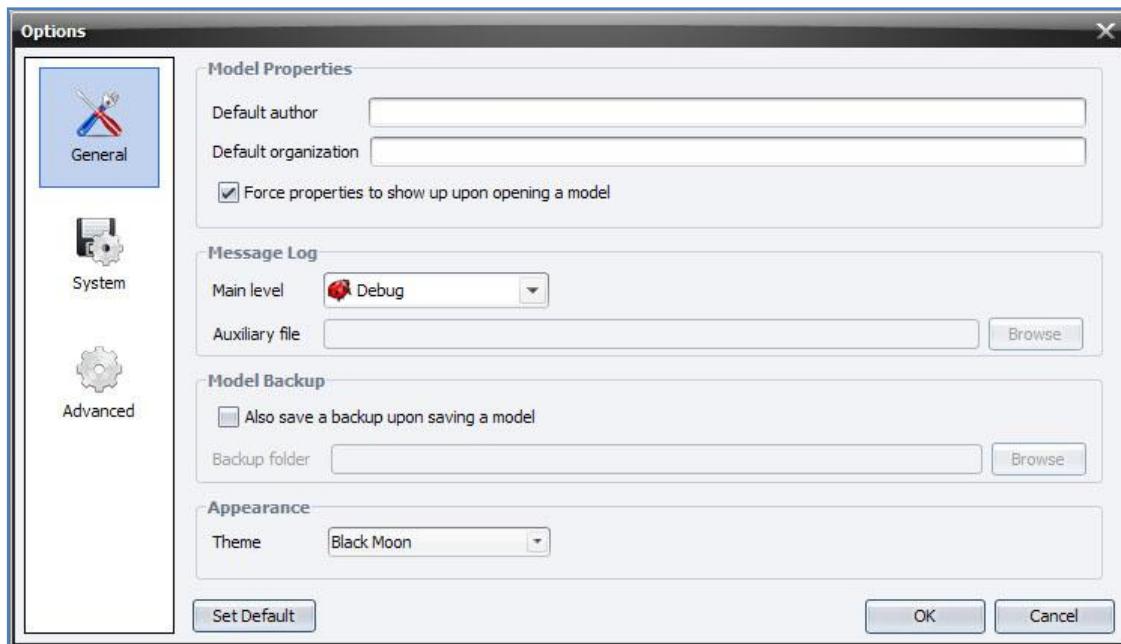


TIP: Los functors en el modelo pueden ser encontrados fácilmente al escribir su nombre en la ventana de texto ubicada en la esquina superior derecha de la interfase. También puede hacer una búsqueda por el alias o comentarios de los functors.



Es posible dar un alias a un functor para facilitar el entendimiento del modelo. Haga click sobre cualquier functor con la herramienta de edición de functors (Edit Functor), vaya a la pestaña comment (comentario) y escriba el alias.

Una nueva ventana de opciones está disponible para ingresar información del modelo y definir los parámetros del entorno en el que Dinamica EGO trabaja. Vaya a tools en el menu principal y luego elija options:



La ventana de opciones está dividida en tres pestañas. La primera (General), es para llenar la información del modelo, definir el registro de mensajes, el backup del modelo, y el look & feel. La segunda (System), permite definir los parámetros del entorno tales como el backup del sistema, auto-recuperación, y la carpeta de archivo temporal. La tercera (Advanced) permite deshabilitar la opción de intercambio de mapas raster. **TIP:** Si usted apaga la opción de intercambio de mapas raster, éstos serán mantenidos en la memoria virtual. Recuerde que modelos con datos extensos pueden causar un error y por lo tanto detener el proceso.

Para ver la lista de functors de Dinamica EGO, use la lista Dump Functor, localizada en el menú de ayuda (Help). La lista de functors se muestra dentro del Message Log. Ingrese a Help Contents (contenido de ayuda) para obtener una descripción detallada de cada functor y sus algoritmos.

1.2 Visor de imágenes

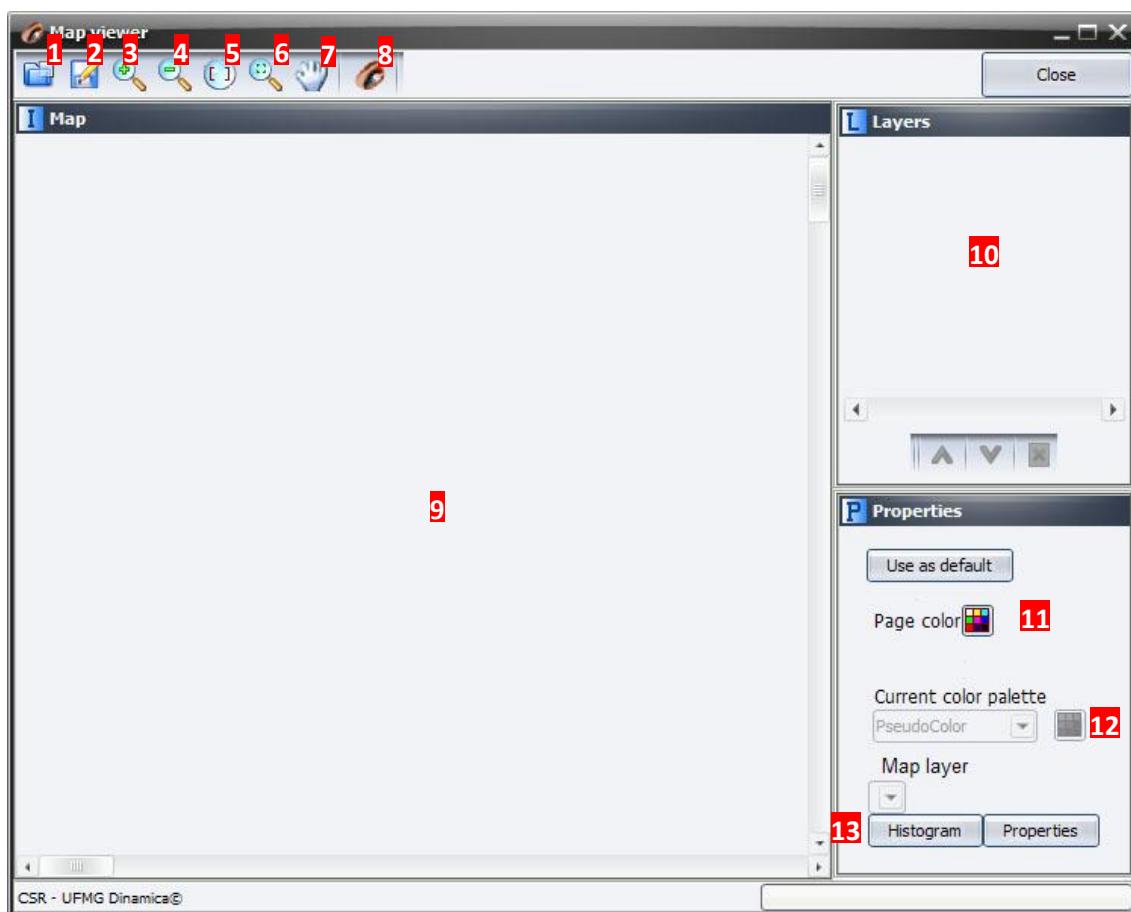
Qué aprenderá?

- Utilizar el visor de imágenes

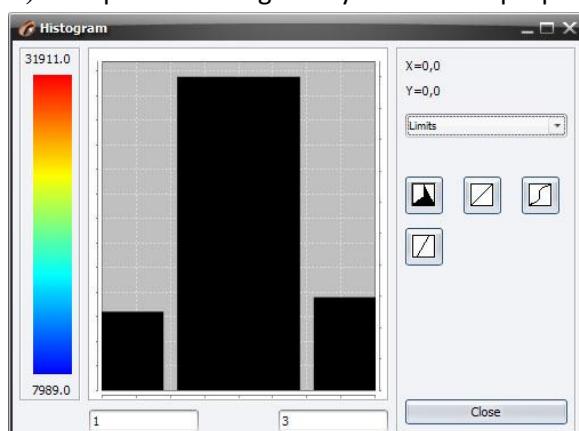
Dinamica EGO cuenta con una herramienta para visualizar los mapas iniciales y los que se obtengan como productos finales. Haga click sobre el ícono del Map Viewer (ojo) en la barra de herramientas.



Así es como se observa el visor de imágenes:



- 1) Cargar mapa
- 2) Grabar el mapa como nuevo archivo
- 3) Acercar
- 4) Alejar
- 5) Acercamiento 1:1
- 6) Encuadrar el mapa
- 7) Mover mapa
- 8) Abrir un nuevo Map Viewer
- 9) Ventana de visualización del mapa
- 10) Lista de coberturas de un cubo raster
- 11) Cambiar el color de fondo
- 12) Elegir el color palette con el cual se mostrará el mapa. **TIP:** es posible editar el color palette
- 13) Manipular el histograma y mostrar las propiedades del mapa.



Para una mejor visualización, el map viewer permite expandir el histograma de un mapa utilizando transformaciones lineales y ecualizadas.

1.3 Estructura y formato de datos

Qué aprenderá?

- La estructura de datos en Dinamica EGO
- Los formatos de archivos admitidos por Dinamica EGO

Dinamica EGO maneja datos en distintos formatos, incluyendo mapas o imágenes en formato raster, tablas, matrices, y archivos de los coeficientes de pesos de evidencia.

Para datos espaciales, **Dinamica sólo soporta datos en formato raster**. Por lo tanto, es necesario preparar previamente la base de datos que se utilizará con una herramienta SIG y luego exportar los mapas en uno de los tres formatos que se mencionan a continuación. Aunque Dinamica EGO reconoce la georeferencia, la cual además es necesaria, todos los mapas raster que ingresan en un modelo deben tener el mismo número de columnas y filas. Más aun, deben estar homologados al mismo sistema de coordenadas y al mismo punto de registro (Fig. 4).

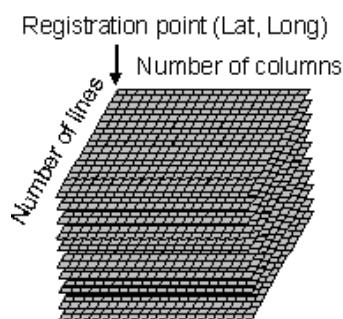


Fig.4 Cubo de datos raster

Dinamica EGO reconoce y generamapas raster en tres formatos: ERMapper, Geotiff, y ArcView ASCII. Los sistemas de coordenadas aceptados para la transformación al formato ERMapper son: Geodetic (WGS 84, SAD69, Corrego Alegre) y UTM (WGS84, SAD 69, Corrego Alegre). Cuando un sistema de coordenadas es distinto a los mencionados, Dinamica asume la proyección LOCAL y el datum WGS84 por defecto. Para el formato ASCII/ArcView, se asume siempre la proyección LOCAL y datum WGS84. Todos los sitemas de coordenadas Geotiff son aceptados por lo que no se requiere ninguna transformación. Cuando el tamaño de las celdas del formato GeoTiff es desconocido, se asume una resolución de 100 metros. El formato Geotiff tiling también es aceptado, por lo que no encontrará ningún problema cuando importe sus datos desde y hacia los más comunes SIG, tales como IDRISI, SPRING o ARCGIS 9.*.

TIP: Usted puede encontrar mayor información sobre GeoTiff en <http://trac.osgeo.org/geotiff/>

En el map algebra, el concepto de nulo (null) es muy importante para obtener un resultado inteligible a partir de la ejecución de un modelo. Nulo, significa la ausencia de datos. Por lo tanto, un mapa que contiene un área irregular de interés, la cual no cubre completamente el plano geográfico, debe presentar celdas con valor nulo (celdas nulas). El valor reservado para las celdas nulas puede variar dependiendo del tipo de datos que las celdas presenten, *i.e.* el tamaño en términos de bits de información, usado para almacenar el valor de las celdas de un mapa. Dinamica EGO acepta los siguientes valores:

1-Bit Integer [0, 1]
Signed 8 Bit Integer [-128, 127]
Unsigned 8 Bit Integer [0, 255]
Signed 16 Bit Integer [-32768, 32767]
Unsigned 16 Bit Integer [0, 65535]
Signed 32 Bit Integer [-2147483648, 2147483647]
Unsigned 32 Bit Integer [0, 4294967295]
IEEE 754 32 Bit Real [-3.4028235E38, 3.4028235E38]

Usualmente, el menor valor negativo es usado para representar el valor nulo (null value). Por ejemplo -32768 para números enteros positivos y negativos de 16 bits (Signed 16 Bit Integer). Pista: Elija siempre un tipo de dato para las celdas que abarque el rango de valores contenido por una variable. Por ejemplo: la altitud, variando de -10 a 4000 metros, debe ser representada por Signed 16 Bit o IEEE 754 32 Bit Real.

TIP: En algunos casos se tendrá que definir el valor nulo al cargar formatos Geotiff, los cuales carecen de esta definición (esto es lo más aconsejable). Aprenda cómo hacer esto en la lección 1.

Las tablas son una forma conveniente de representar atributos de datos, generalmente relacionados a cierta zona geográfica, por ejemplo: país, departamentos, o provincias. Dinamica EGO reconoce datos en formato “Comma Separate Value” (valores separados por comas), donde la primera columna representa la clave (key) y la segunda el valor, como se muestra a continuación.

TIP: La primera línea de la tabla debe contener los títulos de las columnas, la clave, y el nombre de la variable, tal como población, países, etc.

Key	Value
1	10
2	30
3	15

Las matrices de transición también son almacenadas utilizando este formato; la única diferencia es que la clave emplea un algoritmo compuesto que representa una transición de la siguiente manera:

Key	Value
1.002	0.223567
1.003	0.379618
2.001	0.024841
2.003	0.030573
3.002	0.000348

Así, la tabla anterior es equivalente a la siguiente matriz de transición (note que los valores en la diagonal no necesitan ser tomados en cuenta, así como tampoco aquellas transiciones iguales a cero):

	1	2	3
1	-	0.223567	0.379618
2	0.024841	-	0.030573
3	0	0	-

Otro de los formatos aceptados es el de los archivos de pesos de evidencia (weights of evidence) – un archivo de texto que contiene los coeficientes de los pesos de evidencia. Este archivo se obtiene a través del método estadístico de pesos de evidencia utilizado en el proceso de calibración. **TIP:** Usted puede editar este archivo directamente con un editor de texto o utilizando el editor gráfico de los pesos de evidencia vinculado al functor *Load Weights*.

2. Lección 1: Construcción de un modelo simple

Qué aprenderá?

- Functors y ports (puertos)
- Cómo conectar functors
- Cómo escribir expresiones algebraicas y lógicas
- Functors:
 - *LoadMap (cargar mapa)*
 - *SaveMap (guardar mapa)*
 - *CalculateMap (calcular mapa)*
 - *NumberMap (mapa número)*

El desarrollo de modelos espaciales involucra la obtención de mapas de un modelo cartográfico – es decir, un cubo de mapas raster apilados, donde cada mapa muestra un atributo geográfico en particular –, procesarlos de una manera ordenada, y luego almacenar los resultados intermedios para utilizarlos como insumos en procesos subsecuentes (Fig. 5). Para mejorar la performance, el sistema de procesamiento de Dinamica EGO accede al disco duro una sola vez, para leer los mapas iniciales, si existe suficiente memoria disponible, y luego, para guardar los resultados finales (Fig. 6). De esta manera, un modelo en Dinamica EGO es representado por una secuencia de functors cuya ejecución fluye de izquierda a derecha. Un modelo simple consiste de un functor que carga datos, por ejemplo, un mapa, otro que ejecuta un cálculo, y luego, uno que guarde el resultado en un archivo. Note que los functors están conectados uno a otro por intermedio de flechas. Para lograr esto, los functors deben intercambiar información compatible a través de sus puertos de entrada y salida. En Dinamica EGO, los parámetros de insumos, datos, y productos de cada functor, se denominan puertos. Por esta razón, los functors son conectados a través de los puertos de insumos y productos compatibles. Empecemos a diseñar nuestro primer modelo con Dinamica EGO.

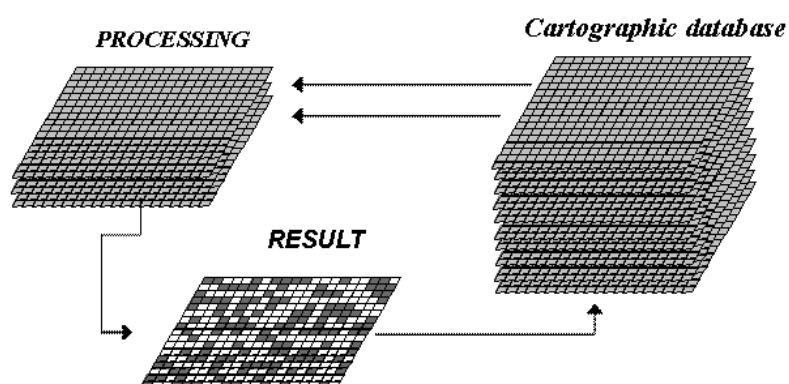


Fig. 5. Una secuencia tradicional de procesamiento de mapas.

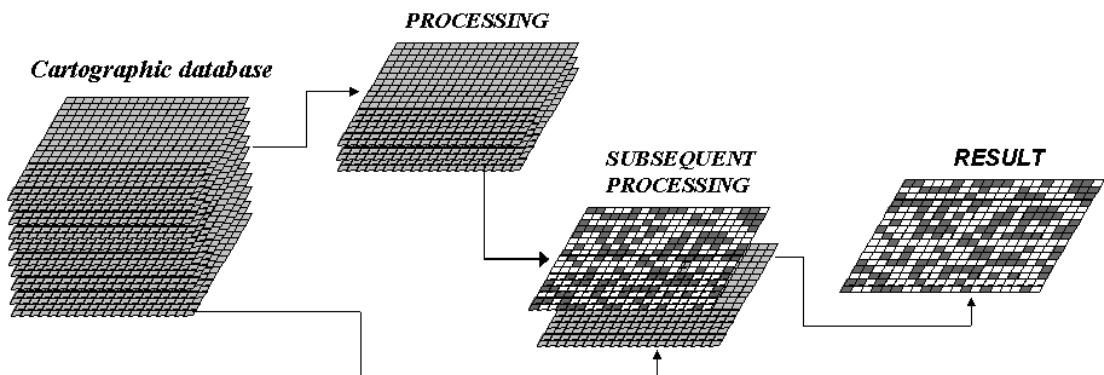
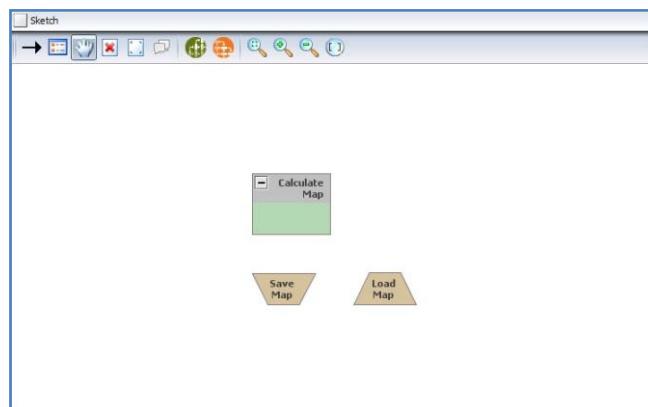


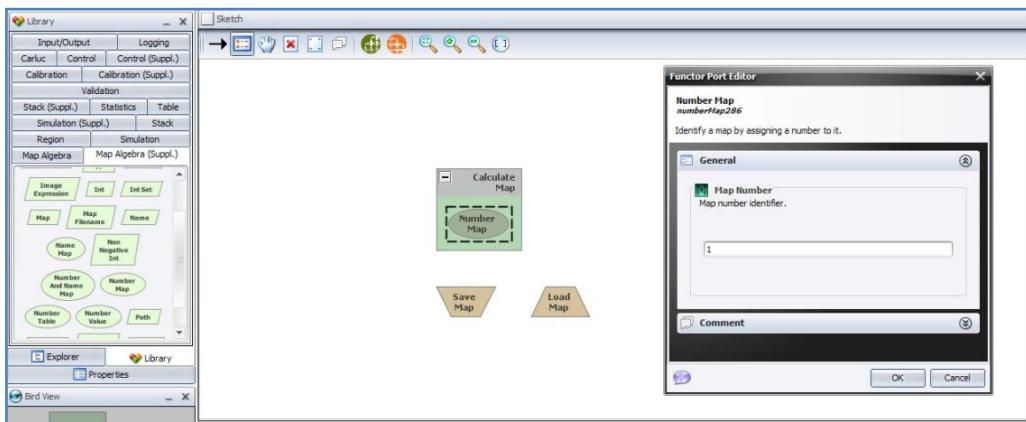
Fig. 6. Sistema de procesamiento enDinamica EGO. En este caso no es necesario guardar los resultados intermedios en los archivos del disco duro.

Desde la ventana library, dentro de la pestaña Input/Output, elija con el cursor del mouse y arrastre dentro del sketch, los functors *Load Map*¹ y *Save Map*. De la misma forma añada el contenedor *Calculate Map* de la pestaña Map Algebra. Recuerde que un contenedor es un tipo de functor especial que permite guardar functors complementarios o incluso, una secuencia de estos. Los contenedores se diferencian de un functor convencional porque presentan una barra con su título. **TIP:** Al hacer click en el ícono de la esquina izquierda de los contenedores, podrá cerrarlos y abrirlas. Usted debe obtener la siguiente vista:



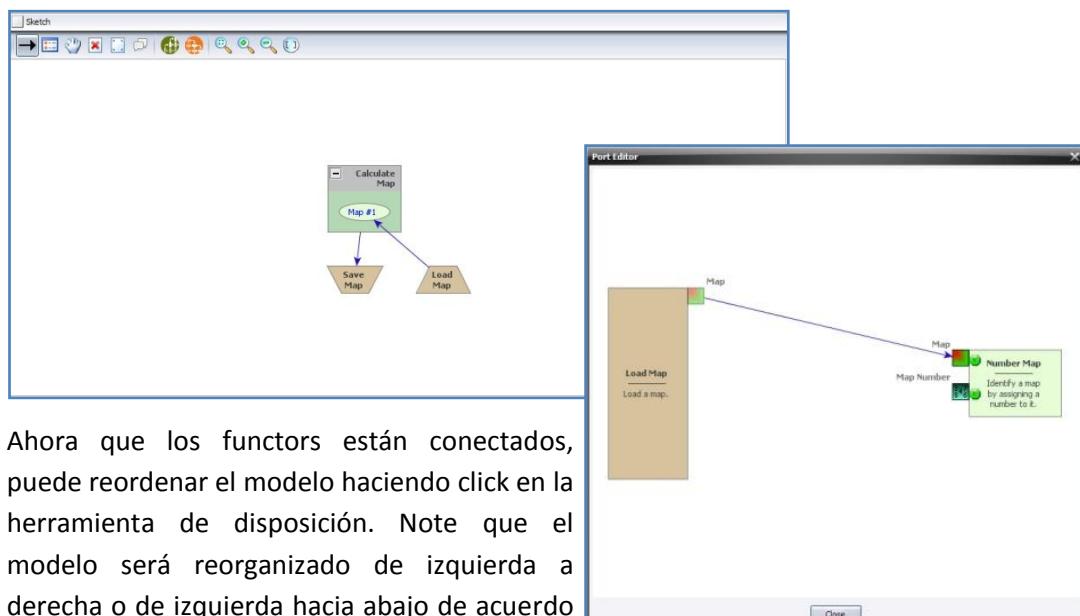
Ahora necesita conectar los functors para establecer el modelo. Primero, entendamos qué es lo que hace un *Calculate Map*. Este contenedor es un calculador utilizado por map algebra para combinar y procesar mapas, tablas, y constantes. Como contenedor, no funciona por sí sólo. Por lo tanto, es necesario adicionar otros functors a su interior. En este caso, cada mapa procesado por este contenedor será representado por un functor *Number Map*, que se encuentra en la pestaña Map Algebra Supplementary. Coja un *Number Map* y colóquelo dentro del contenedor *Calculate Map*. El contenedor aumentará de tamaño para hacerle espacio al *Number Map*.

¹ En el presente tutorial, todos los nombres de functors y contenedores están escritos en *cursivas*. Las opciones de los modelos y parámetros internos están escritos en **negritas** y datos que serán introducidos en los análisis y procesos están enmarcados en “comillas”.

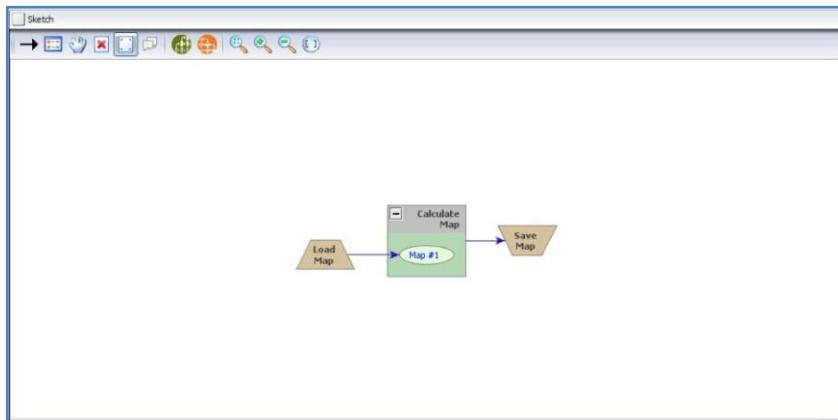


Haga click sobre el *Number Map* con la herramienta Functor Editor y escriba “1” (no escriba las comillas). Este es un identificador numérico de mapas y será representado dentro de la caja donde se escriben las ecuaciones como **i1** (insumo 1). Usted puede ingresar más mapas sólo con añadir más *Number Maps*, pero cada uno debe tener un identificador numérico distinto. Ahora, puede conectar el functor *Load Map* al *Number Map* el contenedor *Calculate Map* al *Save Map*. Use la herramienta de conexión (la flecha) para establecer las conexiones. Observe que la conexión se establece automáticamente porque sólo existe una opción de puertos compatibles en los functors y el contenedor correspondientes.

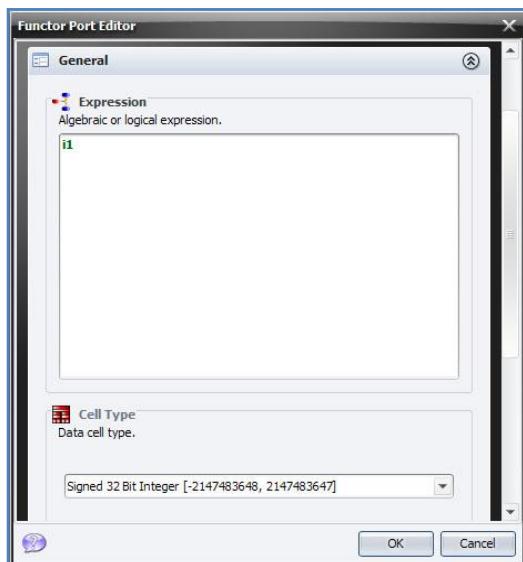
Al hacer click en la flecha de conexión con la herramienta Edit Functor Ports se podrán visualizar los vínculos entre un par de functors.



Ahora que los functors están conectados, puede reordenar el modelo haciendo click en la herramienta de disposición. Note que el modelo será reorganizado de izquierda a derecha o de izquierda hacia abajo de acuerdo a la secuencia de ejecución.



En el siguiente paso, abra el contenedor *Calculate Map*, para lo cual tendrá que elegir el Edit Functor y luego hacer click en el *Calculate Map*. Note que el mapa # 1 es representado por **i1**.



El contenedor *Calculate Map* permite la formulación de distintas ecuaciones algebraicas y lógicas que involucran mapas, tablas, y constantes. La siguiente tabla presenta ejemplos de operadores que pueden ser aplicados para procesar datos dentro de este contenedor. La tabla está dividida en cuatro grupos:lógicos, matemáticos, operadores de tablas, y operadores de vecindad. Además de escribir la ecuación, hay dos parámetros que deben ser fijados. El tipo de dato de la celda y el valor nulo. Siempre encontrará estos parámetros en functors que producen mapas como resultado. El valor por defecto es **Signed 32 Bit Integer**, pero se puede utilizar **IEEE 32 Bit Real** para representar fracciones. **TIP:** Trate siempre de usar la representación numérica para el tipo de dato de celda que sea más económica para ahorrar memoria. Si no está seguro sobre cuál es el rango numérico del resultado, use la representación de los números reales.

Operadores lógicos

Operador	Descripción	Símbolo	Ejemplo de uso
Binario O		or 	notisNull(i1) or isNull(i2) notisNull(i1) isNull(i2)
Binario Y		and &&	notisNull(i1) and isNull(i2) notisNull(i1) && isNull(i2)
Igualdad		= ==	i1 = 2 i1 == 2
No Igual		!=	i1 != 2

		/=	i1 /= 2
		<>	i1 <> 2
Mayor que		>	i1 > 2
Mayor o igual que		>=	i1 >= 2
Menor que		<	i1 < i2
Menor o igual que		<=	i1 <= i2
Condicional	Ejecuta el segundo o tercero término de la ecuación condicionalmente al primero	Si entonces de lo contrario (if then else)	if not isNull(i1) and isNull(i2) then i3 else if isNull(i1) then i1 – i1 / i2 else (i1 / i2) ? (i1 – i2)

Operadores Matemáticos

Operador	Descripción	Símbolo	Ejemplo de uso
Adición		+	i1 + i2
Substracción		-	i1 – i1 / i2
Multiplicación		*	i1 * i2
División		/	i1 / i2
Mod		%	i1 % 100
Potencia		^	i1 ^ 3
Encontrar error	Encontrar un error algebraico y reemplazarlo por el resultado de otra expresión	?	(i1 / i2) ? (i1 – i2)
Value			2 + i1 / -3.5e-2
Obtener el valor de una variable	Retorna el valor de la variable	vX donde X es un valor entero de 1 a 100	v1 + t1[v2 + 4]
Obtener el valor de una imagen		iX donde X es un valor entero de 1 a 100	i2
Obtener el valor de un lugar en una imagen	Retorna el valor de la celda ubicada en las coordenadas indicadas de una imagen	iX[,] donde X es un valor entero de 1 a 100	i1[line – 1, column – 2]
Obtener el valor nulo de una imagen	Retorna el valor nulo de la imagen en uso actual	null null(iX)	if i1 > 2 then i1 else null if null(i2) > 2 then 1 else null
Es Nulo		isNull(iX) donde X es un valor entero de 1 a 100	if not isNull(i1) then i1 else i2
Binario No		! not	not isNull(i1) ! isNull(i1)

Obtener el número de línea	Retorna el número de la línea de la celda en uso	line	line + 1
Obtener el número de columna	Retorna el número de la columna de la celda en uso	column	if column / 2 > 50 then 1 else null
Al azar	Genera un valor aleatorio utilizando una distribución de probabilidad uniforme	rand	if rand > 0.5 then i1 else i2
Negación	–	–	– ceil(i1 + i2)
Raíz cuadrada	sqrt()	sqrt(i1 / i4)	
Seno	sin()	sin(i1 / i4)	
Coseno	cos()	cos(i1 + i2)	
Tangente	tan()	tan(i1 * i5 + 6)	
Acoseno	acos()	acos(i1 + i2)	
Aseno	asin()	asin(i1 + i2)	
Atangnete	atan()	atan(i1 + i2)	
Tope	ceil()	ceil(i1 + i2)	
Exponencial	exp()	exp(i1[i1 + i2])	
Piso	floor()	floor(i1 + i2)	
Redondear	round()	round(i1 / i4)	
Abs	abs()	abs(i1 + i2)	
Ln	ln()	ln(i1 / i4)	
Log	log()	log(i1 / i4)	
Max	max()	max(i1, i2)	
Min	min()	min(i1, i4)	
Señal	Retorna +1, si la expresión es positiva, -1, si la expresión es negativa, y 0, de lo contrario.	signal	signal(i1 - 4)
Abortar	Abortar la ejecución del modelo	abort	if i1 > 0 then i1 * i2 + 4 else abort

Operadores de tablas

Operador	Descripción	Símbolo	Ejemplo de uso
Operadores de tablas	Los operadores de tablas retornan el valor correspondiente a una clave de acuerdo a un operador-regla. Utiliza la siguiente sintaxis: tX[N] donde: X es un identificador de tabla; N es el operador-regla.		
Obtener el valor de la tabla	Retorna el valor de la tabla en la posición de la X clave	tX[] donde X es un número entero de 1 a 100	t2[i1 + 2]
Obtener el valor de la tabla igual al límite menor	Retorna el valor de la tabla en la mayor clave menor o igual a la X posición de la clave en la tabla	tX[<=] tX{ } donde X es un número entero de 1 a 100	t2[<= 14] t2{14}
Obtener el valor del	Retorna el valor de la	tX[<]	t2[< i1 + 2]

Límite inferior de la tabla	tabla en la mayor clave menor que la X posición de la clave en la tabla	donde X es un número entero de 1 a 100	
Obtener el valor igual o mayor límite	Retorna el valor de la tabla en la menor clave mayor o igual que la X posición de la clave en la tabla	tX[>=] donde X es un número entero de 1 a 100	t2[>= i1 + i3]
Obtener el valor mayor al límite de la tabla	Retorna el valor de la tabla en la menor clave mayor que la posición X de la clave en la tabla	tX[>] donde X es un número entero de 1 a 100	t2[> i7]
Obtener el valor de la tabla más cercano	Retorna el valor de la tabla en la clave más cercana a la X posición de la clave de la tabla	tX[><] donde X es un número entero de 1 a 100	t2[>< 3 + i7]
Obtener un valor de la tabla interpolado	Retorna un valor linear interpolado tomado de las claves vecinas a la X posición de la clave en la tabla	tX[/] donde X es un número entero de 1 a 100	t2[/ i2]

Operadores de vecindad

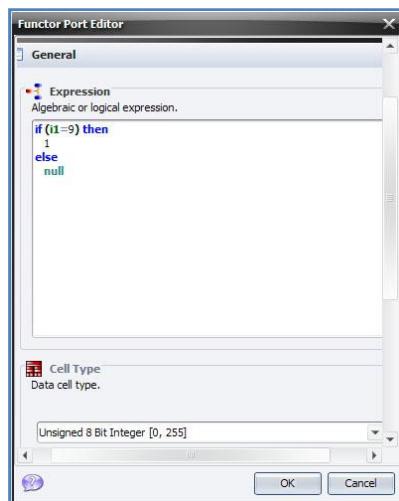
Operador	Descripción	Símbolo	Ejemplo de uso
Operadores de vecindad	<p>Los operadores de vecindad retornan el valor de una operación que afecta una ventana de vecindario definida (eg. 3 x 3 celdas).</p> <p>Usa la siguiente sintaxis:</p> $nbN(iX, h, w, y, x)$ <p>donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> N es el nombre del operador; X es un identificador de imagen; h es el número de líneas de la ventana que define la vecindad; w es el número de columnas de la ventana que define la vecindad; y es la línea dónde el centro de la ventana está anclado a la imagen; x es la columna dónde el centro de la ventana está anclado a la imagen. <p>El cálculo usualmente incluye al centro de la ventana.</p> <p>Las ventanas que presentan una longitud de borde que queda definida por un número par de celdas tendrán el centro desplazado hacia la esquina superior izquierda.</p> <p>El ancla de la ventana (y&x) puede ser omitida cuando el centro de la ventana está anclado a la línea y columna actuales. La sintaxis abreviada es.:</p> $nbN(iX, h, w)$		
Vecindad Min	Retorna el número mínimo de celdas con valor no nulo de la vecindad	nbMin()	nbMin(i4, 2, 3, line-1, column)
Vecindad Max	Retorna el máximo número de celdas con valor no nulo de la vecindad	nbMax()	nbMax(i1, 4, 4) - 1

Vecindad Sum	Retorna la suma de los valores de las celdas no nulas de la vecindad	nbSum()	nbSum(i3, 5, 5) + 7
Vecindad Product	Retorna el producto de los valores de las celdas no nulas de la vecindad.	nbProd()	if not isNull(i1) then nbProd(i1, 2, 2, 0, column) else 0
Vecindad Conteo	Retorna el número de celdas no nulas de la vecindad.	nbCount()	nbCount(i2, 3, 3) + nbCount(i1, 3, 3, line, column+3)
Vecindad Promedio	Retorna la media aritmética de los valores de las celdas no nulas de la vecindad.	nbAverage()	round(nbAverage(i1, 7, 7))
Vecindad mediana	Retorna la mediana de los valores de las celdas no nulas de la vecindad. Cuando existe un número par de valores, el operador retorna la mayor de las medianas.	nbMedian()	nbMedian(i1, 5, 5)
Vecindad moda	Retorna la moda de los valores de las celdas no nulas de la vecindad. Si no existe una moda, se obtiene un nulo como respuesta. Si hay más de una moda la menor se obtiene como resultado.	nbMode()	nbMode(i1, 5, 5)
Vecindad Varianza	Retorna la varianza de los valores de las celdas no nulas de acuerdo a la siguiente expresión: $s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-1} (X_i - \bar{X})^2$ <p>donde X_1, X_2, \dots, X_n son las celdas vecinas; \bar{X} es la media de las celdas vecinas.</p>	nbVar()	nbVar(i4, 7, 7) / 25
Vecindad Desviación Standard	Retorna la desviación standard del valor de las celdas no nulas de acuerdo a la expresión: $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (X_i - \bar{X})^2}$ <p>donde X_1, X_2, \dots, X_n son las celdas vecinas; \bar{X} es la media del valor de las celdas vecinas.</p>	nbStdDev()	nbStdDev(i2, 3, 3, line-1, column) + nbStdDev(i2, 3, 3) + nbStdDev(i2, 3, 3, line+1, column)

Ahora que usted ya conoce las vastas posibilidades que este contenedor ofrece, escribamos una ecuación simple:

if i1 = 9 then 1 else null

Con esta expresión le ordenamos al *Calculate Map* que encuentre la clase número 9 del mapa y que la re-categorice como 1, y que a las demás clases les asigne un valor nulo. Defina la **Data cell type** como **Unsigned 8 Bit Integer** y el **Null Value** como “0”. Ahora ya puede cerrar el contenedor y abrir el archivo del mapa para usarlo como insumo para este modelo.

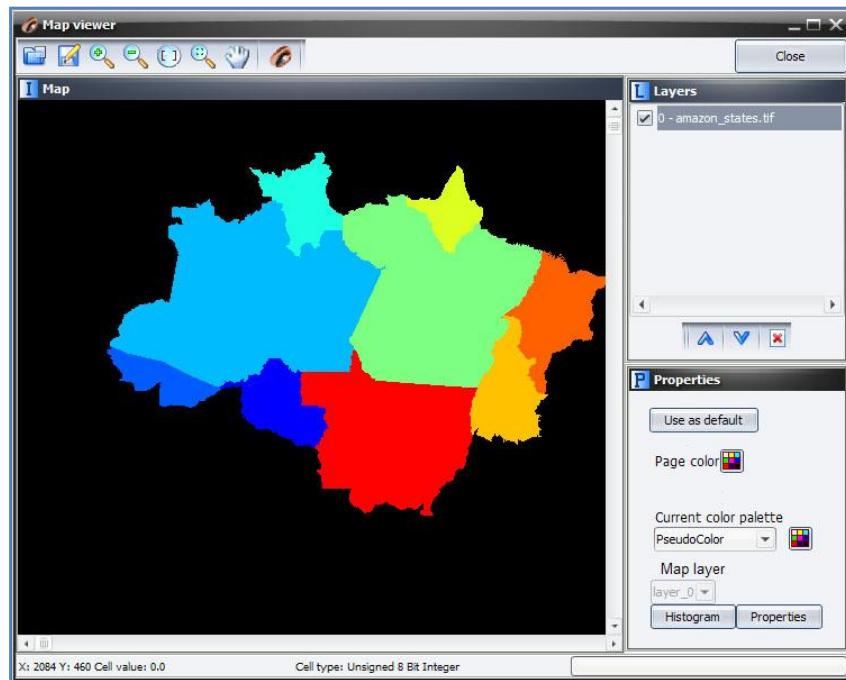


Abra el functor *Load Map* y cargue el archivo “amazon_states.tif” da la carpeta **lesson1** (no escriba las comillas). No se preocupe por las otras opciones, déjelas como están. Con el map viewer observe este mapa.



TIP: Aunque no es necesario en esta lección, usted puede definir el valor nulo, primero, activando el **Define Null Value** y luego ingresando en el campo **Null Value** “0”.

Observe este mapa usando el map viewer. Presione **Histogram** y luego elija **limits to actual** asegurándose que el color de la current color palette sea **PseudoColor**. El mapa que observará presenta los estados de la Amazonía brasileira:



TIP: Limits to actual despliega el histograma del mapa a lo largo del rango de valores de presentación, i.e. de 0 a 255. Se recomienda utilizar **PseudoColor** o **GrayScale** para datos cuantitativos, y **Categorical** para datos categóricos.

Ahora necesita nombrar el mapa resultante y guardarlo dentro de un archivo. Abra el *Save Map* y escriba "Mato_Grosso_state".

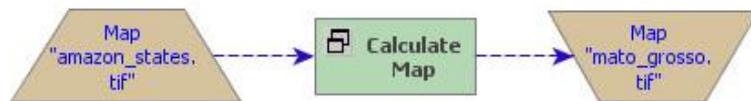


En Advanced hay una opción que permite definir el número de dígitos sufijos para el nombre del archivo (ej. Si indicamos 2 en el campo **suffix digits** obtendremos Mato_Grosso_State01 y Mato_Grosso_State02, para el caso en el que el modelo itere dos veces). A pesar que el valor por defecto es 2, lo cambiaremos por 0, ya que este modelo sólo itera una vez. **Use Compression** sólo se aplica a los formatos geotiff.

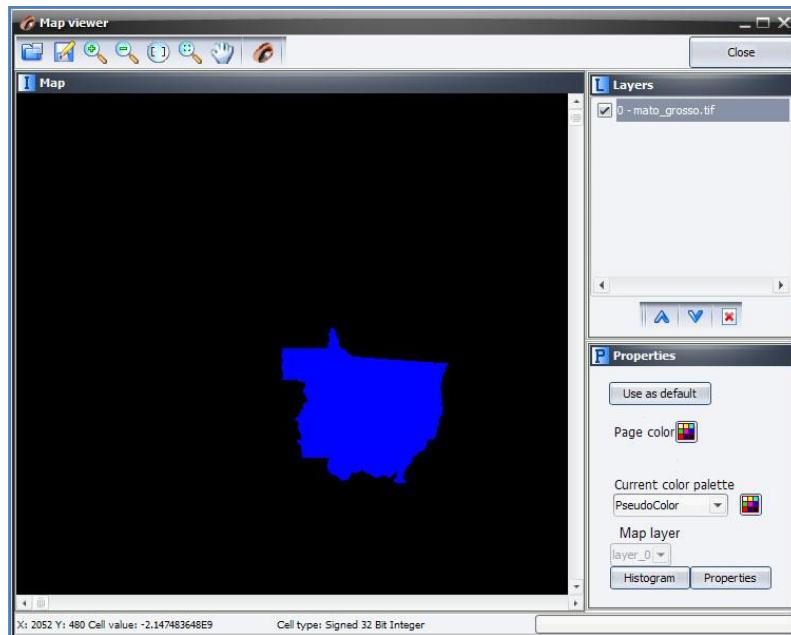
El insumo es un mapa categórico; sus valores no representan cantidades sino las clases del mapa, representadas de la siguiente manera:

Key	Estado
1	Rondonia
2	Acre
3	Amazonas
4	Roraima
5	Para
6	Amapa
7	Tocantins
8	Maranhao
9	Mato Grosso

Cierre el contenedor *Calculate Map* haciendo click en su barra superior. El modelo que obtiene debe verse así:



Grabe el modelo con el nombre “my_model” en la carpeta **lesson1**, haga click en **check model script integrity** para revisar si es que el modelo está listo para ser ejecutado y, si lo está, ejecútelo haciendo click en el botón **run model script** en la barra superior del menu de herramientas y observe el resultado con el Map Viewer. El mapa producido muestra sólo el estado de Mato Grosso.



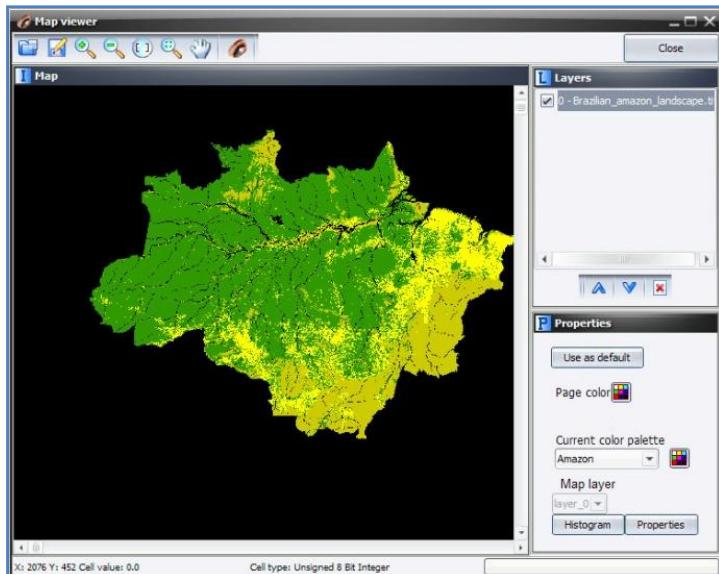
Felicitaciones! Usted ha terminado la primera lección. Ahora vayamos a la lección 2.

3. Lección2: Incorporación de iteraciones al modelo

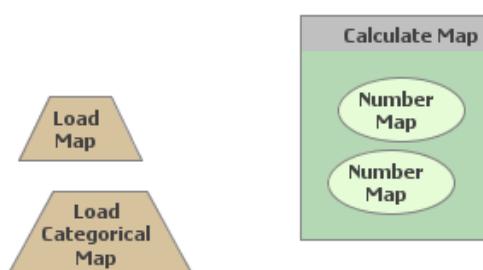
Qué aprenderá?

- Iteraciones
- Usando el Register Viewer (visor de registros)
- Functors:
 - *Repeat (repetir)*
 - *Step (iteración o paso)*
 - *Extract Map Attributes (extraer atributos del mapa)*
 - *Load Categorical Map (cargar mapa categorico)*
 - *Calculate Value (calcular el valor)*
 - *Mux Lookup Table (tabla de búsqueda Mux)*
 - *Set Lookup Table Values (definir valores de las tablas de búsqueda)*

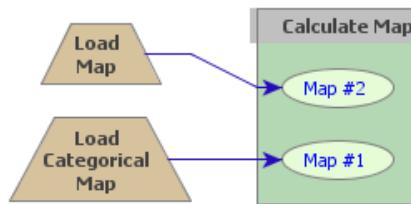
Utilizando el map viewer, cargue el archivo “brazilian_amazon_landscape.tif” ubicado en la carpeta **lesson2**. Utilice **Amazon** en el **current color palette**. Este es un mapa de cobertura del suelo de la Amazonía Brasileña. El mapa tiene las siguientes clases: 1 – deforestado (amarillo), 2 – bosque (verde), y 3 – no-bosque (marrón claro).



Empecemos colocando un *Load Map* y un *Load Categorical Map* en el sketch. Este último functor categoriza un mapa, (*i.e.* los valores de cada celda representarán las clases del mapa, de tal manera que cuando un mapa es cargado, este functor analiza el mapa para identificar todas las celdas que representan cada una de sus categorías o clases, produciendo una lista de clases que está incluida en el encabezado del mapa). Coloque un *Calculate Map* dos *Number Map* dentro de este.

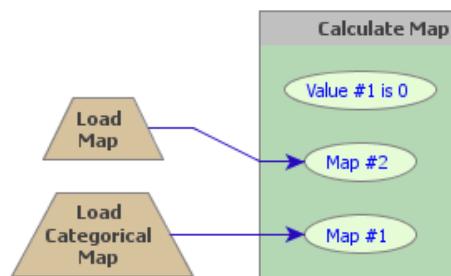


Ahora asigne un número a cada *Number Map* y luego conecte el *Load Map* y el *Load Categorical Map* a cada uno de ellos.

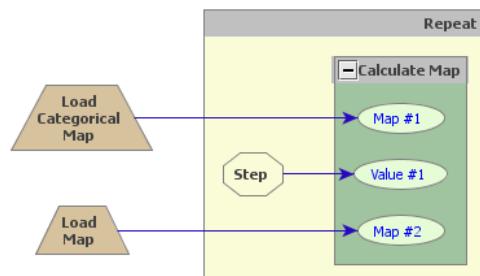


Cargue los archivos “amazon_states.tif”, utilizando el *Load Categorical Map*, y “Brazilian_amazon_landscape.tif”, con el *Load Map*. Añada un *Number Value* (ubicado en la pestaña *Map Algebra Supplementary*) dentro del *Calculate Map*, asígnale el número “1” y escriba la siguiente ecuación: (if $i1 = v1$ and $i2 = 2$ then 1 else null). **TIP:** usted puede copiar una ecuación escrita en un editor de textos y pegarla en la caja de ecuaciones.

Un valor es representado por **v# (v1, v2, ..vn)**. Cierre el contenedor. No olvide definir el **Datacell type** en **Unsigned 8 Bit Integer** y el **null value** en “0”.



Seleccione el contenedor *Repeat* de la pestaña Control y colóquelo en el sketch. Arrastre el *Calculate Map* dentro del *Repeat*. Éste aumentará de tamaño automáticamente para albergar al *Calculate Map*. Luego añada el functor *Step* dentro del *Repeat*. Haga click sobre el ícono ubicado en la esquina superior izquierda del *Calculate Map* para abrirlo y conecte el *Step* al puerto **Value** del *Number Value*.



Abra el *Repeat* con la herramienta *Edit Functor* e inserte “9”.



Esto implica que el modelo va a iterar nueve veces. El functor *Step* se asocia con el contenedor donde se encuentra y le pasa al *Calculate Map* los datos correspondientes al paso actual. Así, para cada iteración el *Calculate Map* produce un mapa que contiene el bosque remanente (clase 2) de cada estado.

Ahora necesitamos sumar todas las celdas que representan al bosque. Note que el resultado es un mapa binario cuyas celdas presentan sólo dos valores, 1 o nulo; este último es representado por cero. Seguidamente, utilice el *Extract Map Attribute* (de la pestaña Map Algebra) para extraer la suma de las celdas no nulas. Este functor produce una tabla con los siguientes atributos de mapas:

Key Descripción

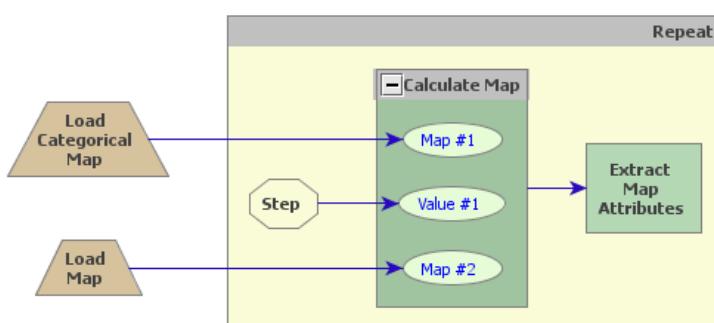
- 1 Número de líneas
- 2 Número de columnas
- 3 Número de celdas (número de lineas multiplicadas por el de columnas).
- 4 Número de coberturas
- 5 Largo de celdas (en metros)
- 6 Ancho de celdas(en metros)
- 7 Área de celda (en hectáreas)

Atributos dinámicos:

- 8 Número de celdas nulas
- 9 Número de celdas no nulas
- 10 Valor mínimo (excluyendo celdas nulas)
- 11 Valor máximo (excluyendo celdas nulas)
- 12 Suma de valores (excluyendo celdas nulas)

Atributos estadísticos:

- 13 Promedio (excluyendo celdas nulas)
- 14 Varianza (excluyendo celdas nulas)
- 15 Desviación standard (excluyendo celdas nulas)



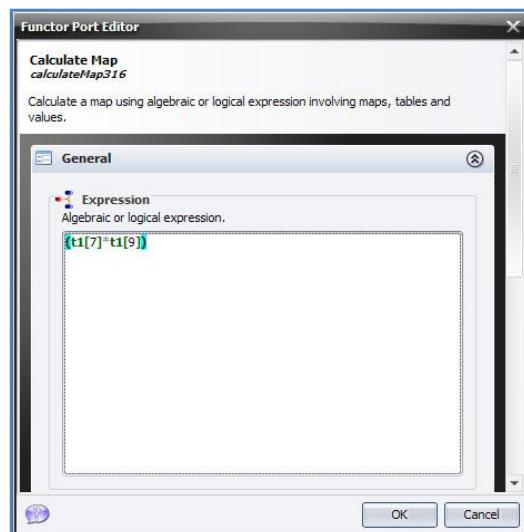
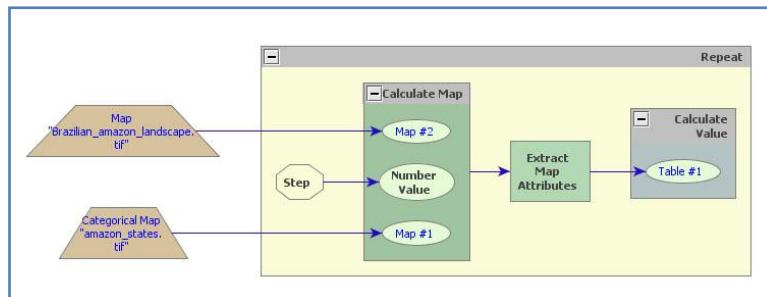
La extensión del área boscosa es la suma de las celdas no nulas (key 9) multiplicado por el área de una celda (en hectáreas) (key 7). Para ejecutar este cálculo necesitamos adicionar un *Calculate Value*, ubicado en la pestaña Table. Además, arrastre un *Number Table* dentro de

éste (desde la pestaña Map Algebra Supplementary), la cual recibirá el atributo de la tabla producida por el *Extract Map Attributes*. Ingrese “1” como identificador de esta tabla. Finalmente, escriba:

(t1[7]*t1[9])

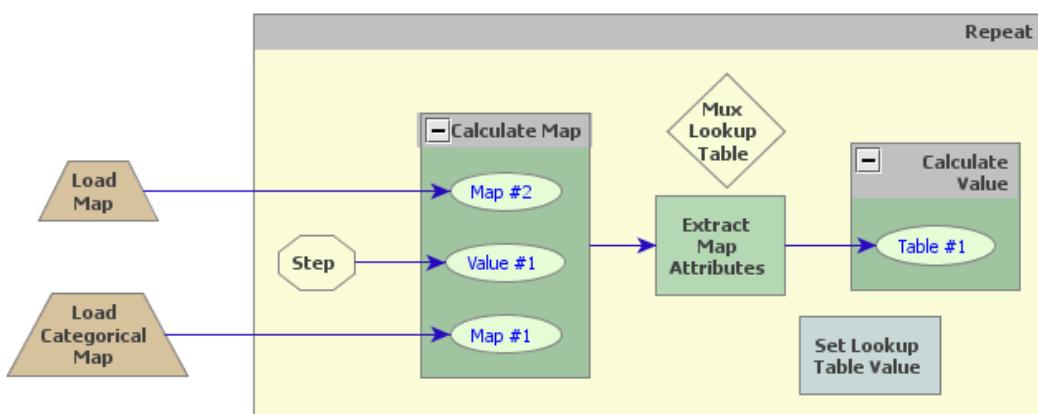
(área de la celda (en hectáreas) * suma de los valores (excluyendo celdas nulas))

Note que **t1** significa tabla 1. En este caso, los corchetes son necesarios para representar el valor asociado a una clave de tabla.



Ahora es necesario llenar una tabla con el área calculada para cada estado. El functor *Set Lookup Table Value* actualiza una lookup table colocando un valor en una posición definida por una clave. Para llenar toda la lookup table, es necesario establecer un bucle o “loop” que le permita a este functor explorar la tabla por completo. Para cerrar el loop, necesitaremos un functor que es sumamente importante para la construcción de modelos dinámicos: el functor *Mux*.

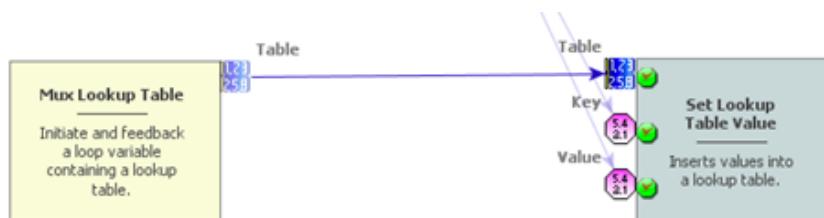
Un functor *Mux* puede ser un mapa, un mapa categórico, un lookup table, o unvalor. Busque en la pestaña Control el *Mux Lookup Table* y arrástrelo dentro del *Repeat*. Arrastre también un *Set Lookup Table Value* desde la pestaña Table.



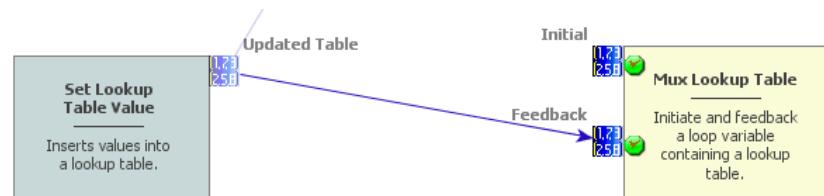
Ahora, haga click en el *Mux Lookup Table* luego de seleccionar el Edit Functor Ports (en la barra de herramientas del Sketch). Todo functor *Mux* tiene dos puertos de ingreso. En la primera

iteración, el **Mux** reconoce el insumo del puerto **Initial**; después recibe los datos correspondientes a cada iteración a través del puerto **Feedback**. Este proceso permite al modelo actualizar los datos, haciéndolo dinámico. Por lo tanto, este funtor es clave para incorporar procesos de retroalimentación en modelos dinámicos. Abra también el *Set Lookup Table Value* con *Edit Functor Ports*.

Este functor recibe una tabla que será actualizada con un valor ubicado en una posición definida por una clave (key). Entonces, tiene que conectar el puerto de salida **Table** del **Mux Lookup Table** con el Puerto de entrada del *Set Lookup Table Value*.

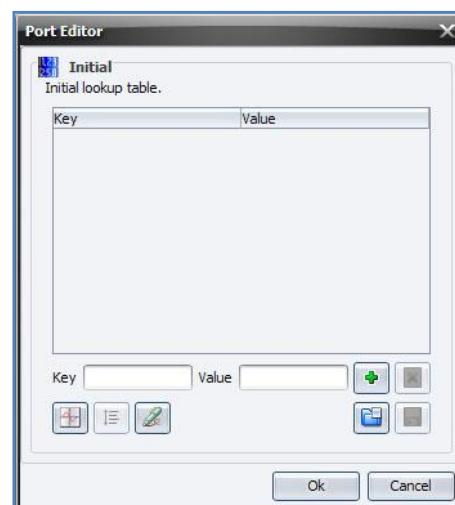


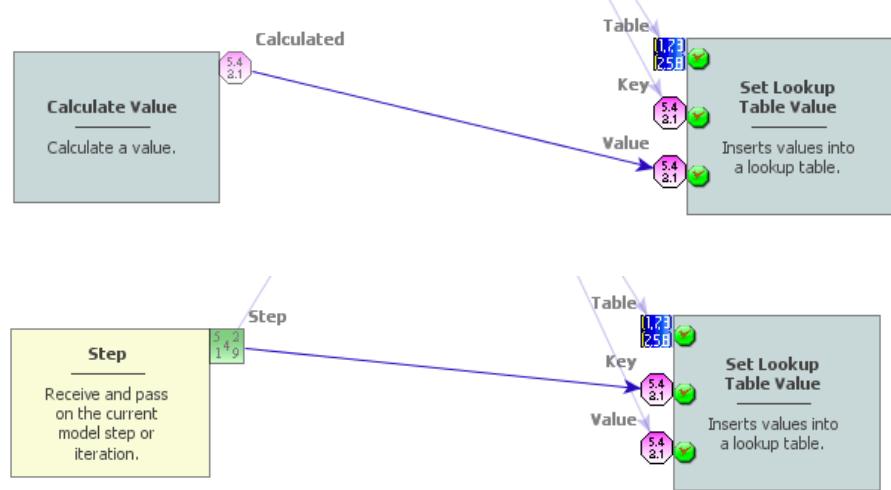
Nuevamente, conecte el Puerto de salida del *Set Lookup Table Value* con el *Mux Lookup Table*. Cuando una conexión tenga dos o más puertos de entrada, la ventana del editor de puertos se abre automáticamente. En este caso, tiene que elegir el puerto **Feedback**.



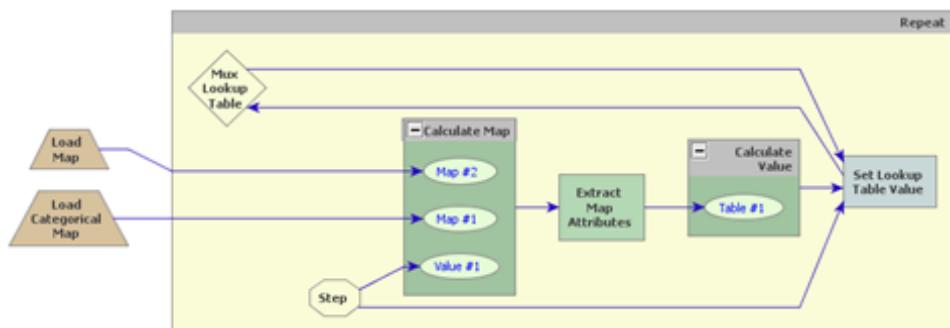
Ahora haga click en el puerto **Initial** con el botón derecho del mouse. Así abrirá un editor de tabla. En este caso, debe ingresar “0, 0” como **Key** y **Value** para el primer registro de la tabla, y luego guardar estos inputs utilizando el botón ‘+’.

Todavía necesita conectar el puerto de salida del *Calculate Value* con el puerto de entrada del *Set Lookup Table Value*. La ventana del editor de puertos emerge porque hay dos opciones. Conecte la flecha al puerto **Value**; la key viene de la iteración correspondiente y conecte *Step* a *Set Lookup Table Value*.

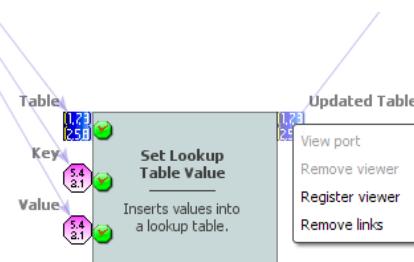




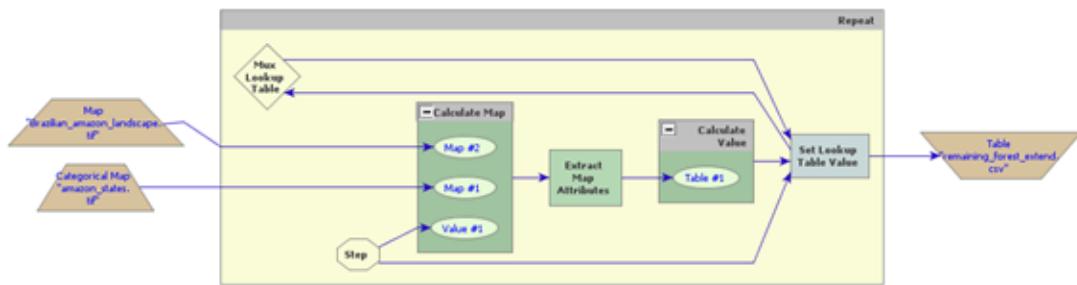
Haga click en la herramienta de distribución del modelo para que este se ordene de izquierda a derecha y su modelo se verá como el que se muestra abajo. Observe la retroalimentación entre el *Mux Lookup Table* y el *Set Lookup Table Value*. Como último paso, necesita guardar la lookup table en un archivo. Arrastre el functor *Save Lookup Table* desde la pestaña Input/Output. Conecte el *Set Lookup Table* a este y edite el nombre del archivo CSV. A pesar que el **Suffix Digits** aparece con el número “2” por defecto, el nombre del archivo no tendrá un sufijo ya que será guardado sólo una vez después que el functor *Repeat* termine con la iteración del modelo. **TIP:** Si *Save Map* es colocado dentro de un *Repeat*, guardará un archivo por cada iteración y un dígito representando el número de la iteración será adicionado al final del nombre de cada archivo.



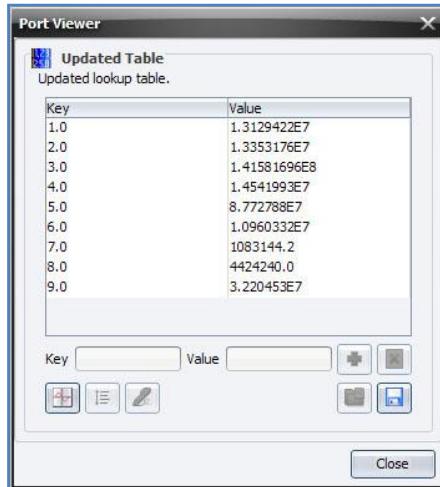
Como último paso, abra el *Set Lookup Table Value* con Edit Functor Ports. Haga click en el **Updated Table** con el botón derecho del mouse y haga click sobre la opción **Register viewer** para activarla.



Compruebe la integridad del modelo, grábelo, y si todo está O.K. ejecútelo. Esto debe tomar poco tiempo.



Vaya a **Set Lookup Table Value**,ábralo con Edit Functor Portsy haga click con el botón derecho del mouse en **Updated Table**para ver el resultado.



Estas son las áreas del bosque remanente de cada estado (en hectáreas). **TIP:** También puede abrir el archivo CSV con un programa de hoja de cálculo.

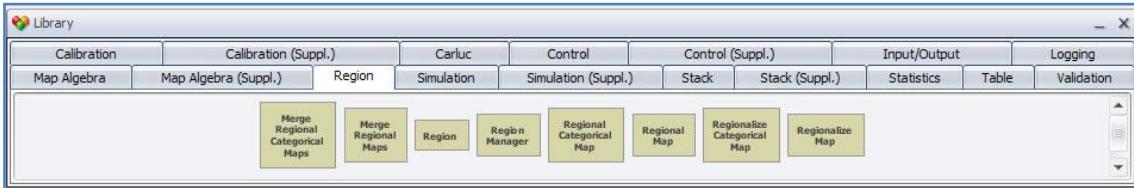
Usted ha completado satisfactoriamente las dos lecciones introductorias de Dinamica EGO. Otra forma de resolver la pregunta de la lección 2 es através del uso de un sub-grupo de functores que aplican el concepto de región. Esto será el tema de la siguiente lección.

4. Lección 3: Usodel concepto de región

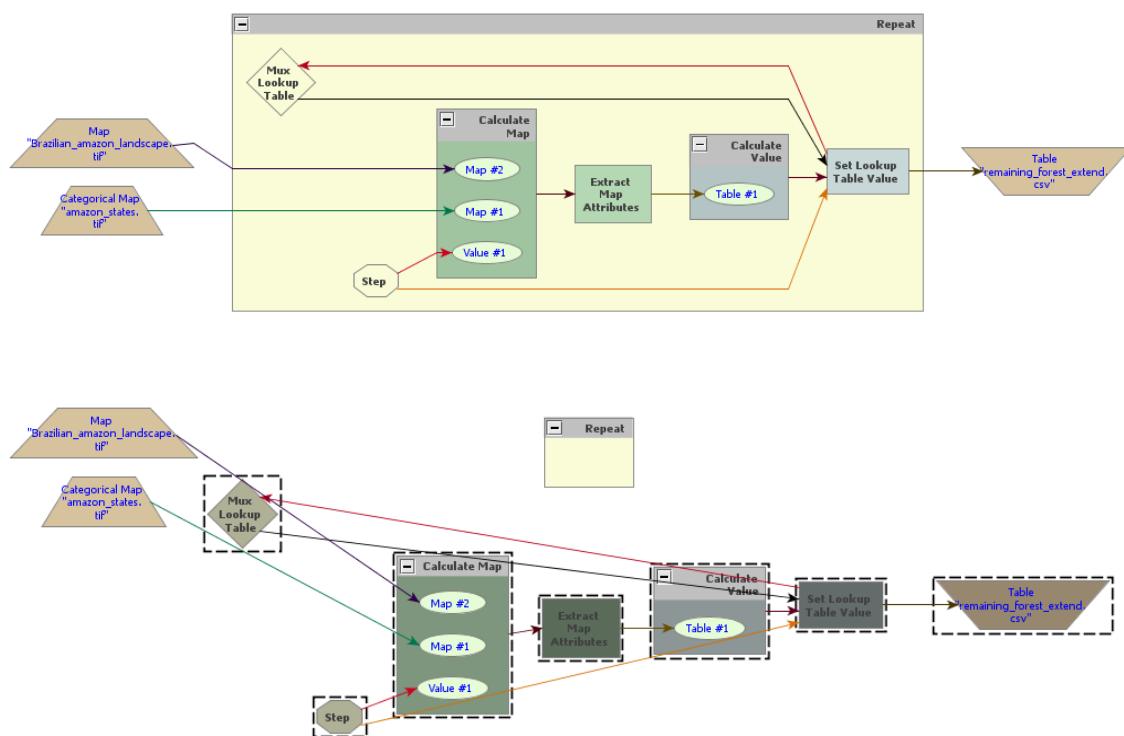
Qué aprenderá?

- Cómo usar el concepto de regiones
- Functors:
 - *Region manager (administrador de regiones)*
 - *For Each Category (para cada categoría)*

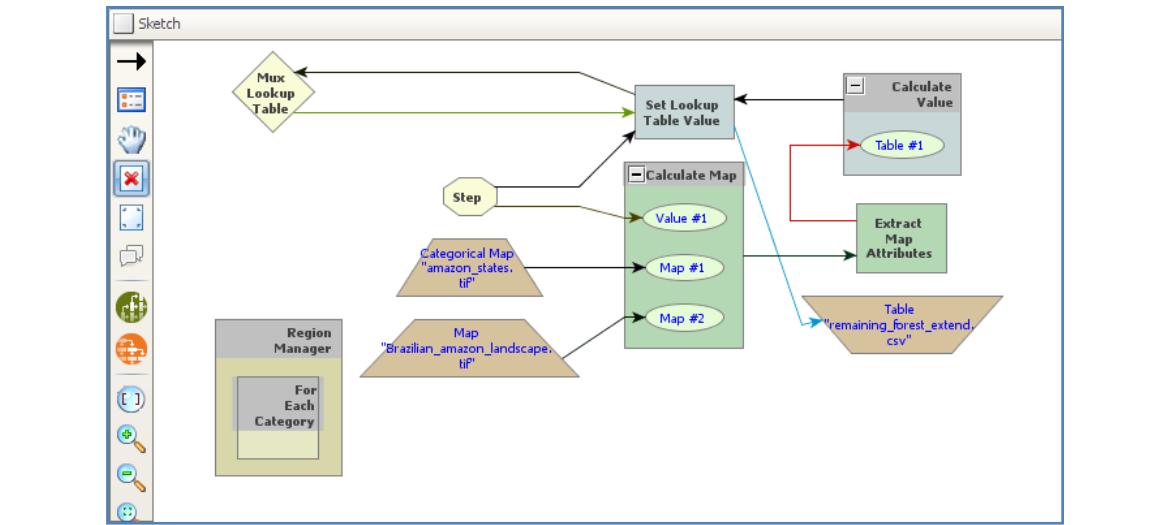
Otra forma de resolver el ejercicio de la segunda lección es mediante los functores del sub-grupoRegion. Estos permiten dividir un mapa en varias regiones, convirtiéndose éstas en mapas independientes que ingresan a modelos o submodelos y cuyos parámetros son definidos individualmente. Adaptemos el modelo previo al uso del concepto de regiones. Primero, abra la pestaña Region ubicada en library.



Estos functors pueden ser combinados para producir mapas regionales y submodelos, así como también, para unir mapas regionales en uno sólo al finalizar un proceso. En esta lección usted aprenderá a obtener el área del bosque remanente para cada Estado; por lo tanto, cada mapa regional corresponderá a un Estado. Abra el modelo obtenido en la **lección 2**. Seleccione los functors dentro del contenedor *Repeat* con la herramienta de la mano y luego arrástrelos fuera del *Repeat*. **TIP:** Use **Crtl + botón derecho** para seleccionar continuamente los functors, evitando a la vez elegir al *Repeat* también. El functor *Repeat* reducirá su tamaño.



Elimine el contenedor *Repeaty* coloque los contenedores *Region Manager* de la pestaña Region y *For Each Category* de la pestaña Control. Ponga este último dentro del primero.

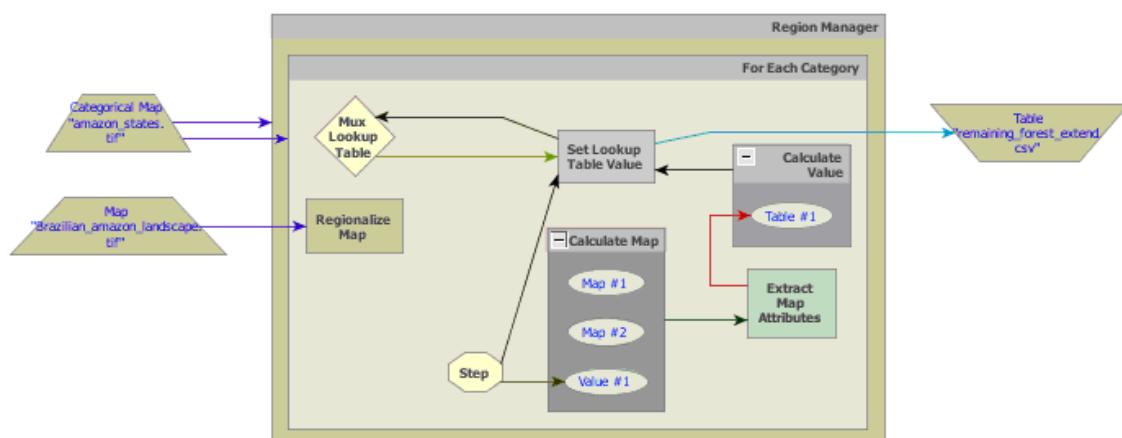


El functor *Region Manager* maneja el proceso de regionalización, mientras que *For Each Category* remplaza la función que tenía el *Repeat* de hacer iterar al modelo para cada categoría del mapa (mapa categórico) que define las regiones; en este caso, el mapa de los estados de la Amazonía Brasileña.

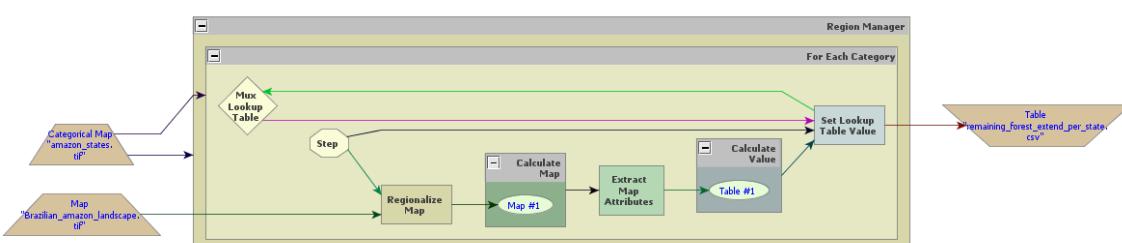
TIP:Mientras que el repeat itera secuencialmente, *For Each Category* itera de acuerdo al mapa de categorías, lo cual no necesariamente se da de forma secuencial.

Ahora seleccione todos los functors, excepto los mapas inicial y final, y colóquelos dentro de *For Each Category*. **TIP:**es más fácil seleccionar todo lo que será colocado dentro de *For Each Category* y luego sacar sólo *Load Map* y *Save Map* fuera de él.

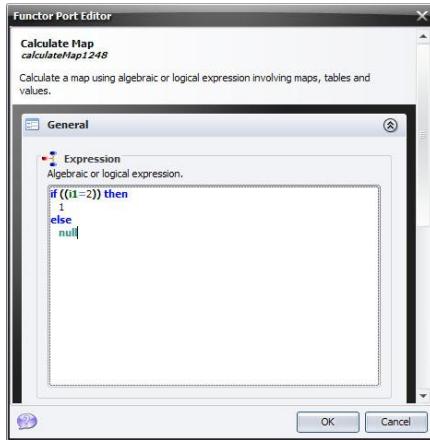
Ahora deshaga el vínculo entre *Categorical Map* y *Calculate Map* (selecciónela herramienta para eliminar elementos y haga click sobre la flecha que conecta ambos functors); seguidamente conecte el primero con el *Region Manager* y con el *For Each Category* también. Este mapa controlará el proceso de regionalización separando a los otros mapas en varias regiones de acuerdo a las clases de sus celdas o categorías mediante el functor *Regionalize Map*. Arrastre este functor y colóquelo dentro de *For Each Category*, deshaga el vínculo entre *Map* y *Calculate Map* y finalmente conecte el primero con el *Regionalize Map*.



Note que hay dos *Number Map* desconectados dentro del *Calculate Map*. Usted ya no necesita *Map # 2* y *Value # 1*, elimínelos. Ahora conecte *Regionalize Map* al *Map # 1*. Abra el functor *Table* y cambie el nombre del archivo a “*remaining_forest_extend_per_state*”. Asegúrese de guardarla en la carpeta **lesson3**. Necesitará conectar el *Step* al *Regionalize Map*, permitiendo que le pase al primero la identificación de la región actual, que viene del *For Each Category*.



Como paso final, necesitará modificar el *Calculate Map*. Ábralo con el *Edit Functor*. Escriba: (if *i1* = 2 then 1 else null). Recuerde que “2” representa al bosque.



Finalmente, grabe el modelo como un nuevo archivo bajo el nombre de: "my_calc_forest_remaining_per_state_using_subregions.xml" en la carpeta **lesson3**.

Compruebe la integridad del modelo, y si todo está O.K., ejecútelo. Compare el resultado de este modelo con aquel de la lección anterior. ¿Coinciden? ¿Puede explicar cómo funciona este modelo? Observe que no tuvo que dividir la información por Estado en el *Calculate Map* porque el *Regionalize Map* y a lo hizo. **TIP:**el concepto de regiones una manera útil de dividir el mapa en varios subgrupos, ya sea para adecuar un modelo, por ejemplo, para ejecutarlo con diferentes parámetros por Departamento, Estado, o Municipio, o para optimizar el uso de la memoria, ya que el modelo no necesita manejar todas las celdas de los mapas para un cálculo o procesoespecífico, sino,sólo las celdas seleccionadas de una region a la vez. Ahora sigamos con análisis espaciales más avanzados.

5. Lección 4: Cálculo de una superficie de costos y de la ruta menos costosa

Qué aprenderá?

- Calcular una superficie de fricción, superficie de costos, y la ruta menos costosa
- Functors:
 - *Calc Cost map (calcular el mapa de costos)*
 - *Calc Pathway map (calcular el mapa de rutas)*

En este ejercicio se requiere calcular una superficie de fricción,que represente el costo relativo de atravesar una celda, en función del tipo de uso de suelo. Podemos expresar esta superficie en términos de (1) distancia – sin que exista un costo diferente entre distintos tipos de uso; por lo tanto laruta menos costosa será la más corta, *i.e.* la distancia Euclidiana – (2) tiempo, el costo financiero, o algún tipo de valor que represente el esfuerzo. Así, el valor es calculado en función de una unidad (tiempo, costo de transporte, etc.).

Exploraremos también el uso de los functors *Calc Cost Map* y *Calc Pathway Map*. Para encontrar una solución óptima para la superficie de costos acumulados, el functor *Calc Cost Map* usa un algoritmo heurístico que analiza (o “peina”) el mapa e iteradamente hasta obtener la mejor superficie de costo. A mayor número de pasadas, más se aproximará a una solución óptima. Use “0” como el número de pasadas para obtener una solución óptima, pero en general, sólo dos pasadas son suficientes para obtener una superficie muy cercana a la solución óptima.

Pregunta:

Queremos definir la ruta menos costosa que seguirá un tren que conectará una ferrovía existente con un pueblo de la región. Desde la perspectiva de los ingenieros, el trazo debe ser el menos costoso (*i.e.* el más corto), pero algunas áreas no pueden ser convertidas a espacios abiertos para la ferrovía, representando una barrera, y otros áreas tienen un alto costo de ser atravesados (en función del uso actual del suelo). Nuestra tarea es determinar la ruta más corta entre el pueblo y la ferrovía existente.

La base de datos empleada en este ejercicio comprende:

1. Un mapa de la cobertura y uso del suelo de la región del Norte de Mato Grosso, en la Amazonía Brasileña (fig.7). (landuse.tif)
2. Un mapa de pendiente (slope.tif)
3. Un mapa con el pueblo a ser interconectado. (town1.tif)
4. Un mapa con la ferrovía actual (railroad.tif)

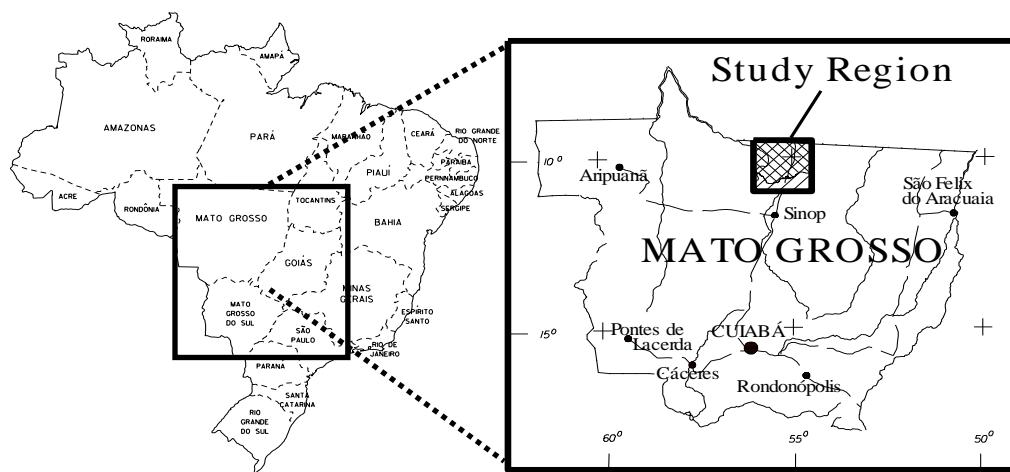


Fig. 7 – Norte de Mato Grosso y su ubicación dentro de Brasil.

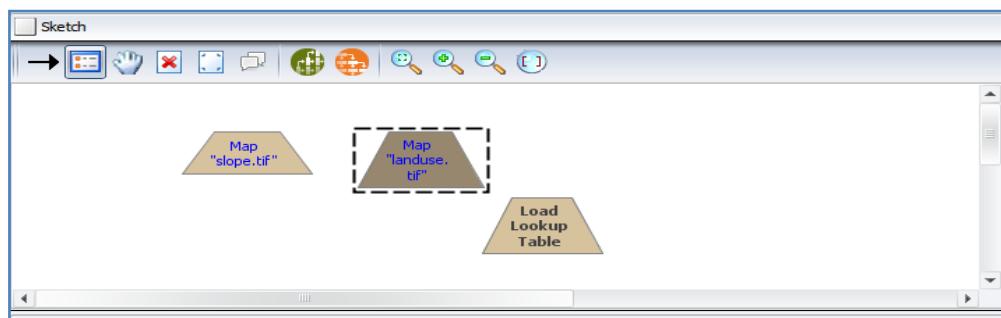
Abra Dinamica EGO y cargue los mapas mencionados desde la carpeta **lesson4\originals** en el Map Viewer utilizando el color “mt”. Abra el mapa de pendientes utilizando “Pseudocolor” en el **current color palette** y en el histograma haga clic en **Limits to Actualy** en **Histogram Equalize**. Como primer paso, necesita reclasificar el mapa de uso de suelos para mostrar el costo de cruzar cada uno de estos. Además necesita reclasificar el mapa de pendientes y luego combinarlo con el de usos. Para el mapa de usos, utilice la siguiente tabla:

Uso del suelo	Atributo	Fricción	Explicación
Planicies inundadas	0	10000	Virtualmente una barrera
Ríos pequeños	1	50	Se necesitan construir puentes
Pastura	2	1	El costo más bajo
Regeneración	3	10	Es necesario cortar arbustos y árboles pequeños
Bosque remanente	4	500	Es necesario obtener una licencia para desmontar el bosque, el cual tiene un valor intrínseco de conservación
Urbano	5	10000	Virtualmente una barrera
Carreteras	6	30	Es necesario construir sobre-pasos o instalar señales para detener el tránsito

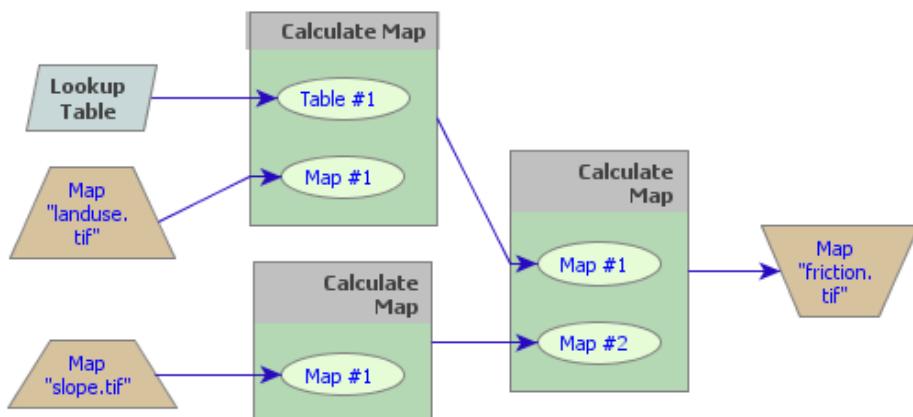
La fricción se incrementa en función de los rangos de pendientes como se muestra a continuación:

Pendiente (grados)	Fricción
0-1	1
2-5	1.3
5-10	1.5
10-15	1.9
15-20	2.5
> 20	5

Empecemos a construir el modelo, cargue los mapas "landuse.tif" y "slope.tif" utilizando el functor *Load Map*. Luego, incorporemos las dos tablas previas. Añada una *Lookup Table* desde la pestaña Table. Usted debe obtener algo así:

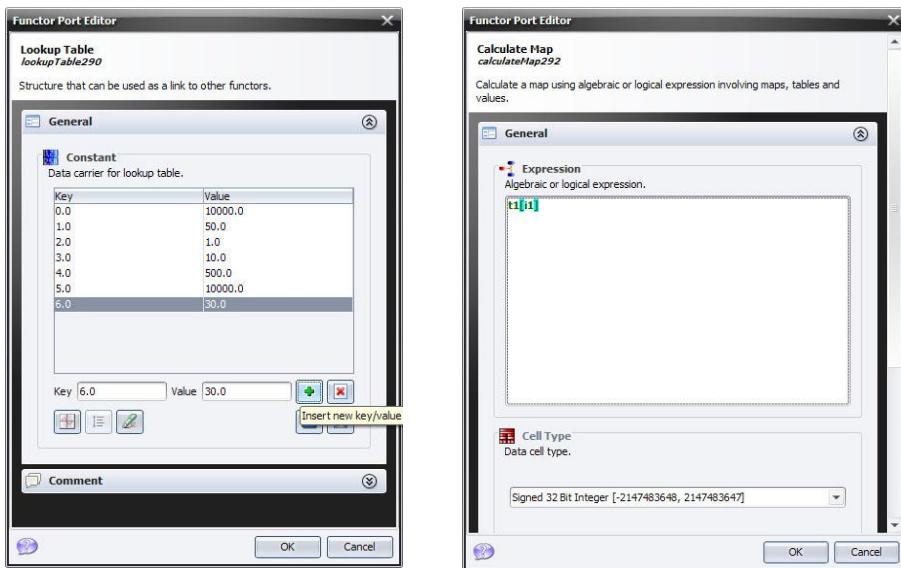


Ahora coloque tres functors *Calculate Map* y cuatro *Number Map*, uno dentro de cada *Calculate Map* y dos *Number Map* dentro del tercero, y un *Number Table* dentro de uno de los primeros *Calculate Map* y *Save Map*. Abra el *Number Map*, y asignele un número (1 y 2) a cada uno y "1" a *Number Table*. Finalmente conecte el mapa "landuse.tif" al *Number Map 1* y el mapa "slope.tif" al *Number Map 2* de los dos primeros *Calculate Map*. Luego, conecte los dos primeros *Calculate Map* al tercero y éste al *Save Map*. Abra *Save Map* e ingrese "friction.tif". Primero, suba de nivel la carpeta, y cambie el formato de archivo a "geotiff". Esto es lo que obtiene:



Ahora, necesita introducir la tabla de uso de suelos dentro del functor *Lookup Table*. Ábralo con el *Edit Functor* e ingrese claves y valores (llene los campos y presione el signo +):

Abra el *Calculate Map* que contiene el *Number Table* y escribala siguiente fórmula: $t1[i1]$



Esta fórmula permitirá obtener el valor desde el mapa y usarlo como una clave para acceder a la tabla, por lo tanto, reclasificará el mapa de acuerdo a los valores de costos.

Ingrese la siguiente ecuación dentro del segundo *Calculate Map*:

if i1 < 1 then 1 else if i1 < 5 then 1.3 else if i1 < 10 then 1.5 else if i1 < 15 then 1.9 else if i1 < 20 then 2.5 else 5

Esto corresponde a la tabla de fricciones de la pendiente.

En el tercer *Calculate Map* ingrese:

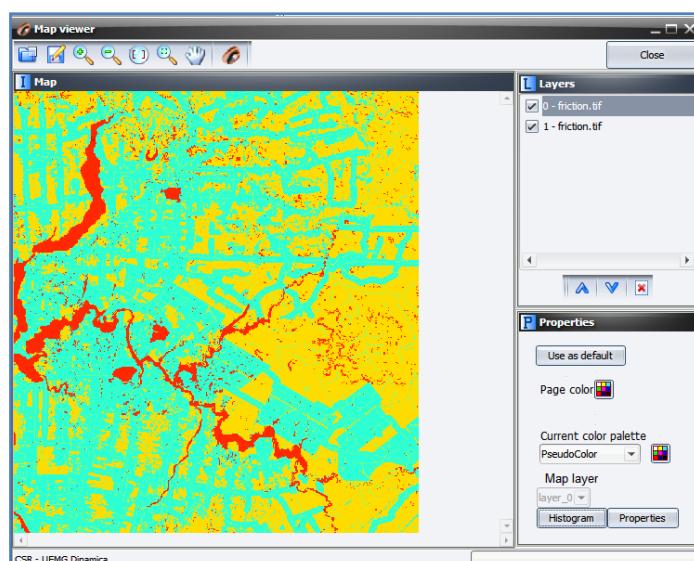
i1*i2

Guarde el modelo como “my_friction”, verifique su integridad, y si todo está bien, córralo.

Con el Map Viewer abra el mapa “friction.tif”, usando “Pseudocolor” en el **Current Color Palette** y en el histograma haga click en **Limits to Actual** y en **Histogram Equalize**.

¿Qué observa? Fíjese que el color rojo representa las áreas más costosas de ser atravesadas.

TIP: Usted puede utilizar otro software para visualizar los mapas. El formato Geotiff se abre automáticamente en ARC GIS, ER MAPPER o ERDAS.



Sigamos con la segunda parte del ejercicio. Cargue el “town1.tif” de la carpeta \originals utilizando *Load Map* y “railroad.tif” usando *Load Categorical Map*. Recuerde que este functor categoriza un mapa.

Arrastre el *Calc Cost Map* y *Calc Pathway Map* desde la pestaña Map Algebra yañada un *Save Map*.

Aquí unas notas sobre este algoritmo:

El algoritmo que calcula el mapa de costos es un tipo general de "Pushbroom". Sin embargo, su performance espacial se aproxima a la del algoritmo denominado "Pushgrow", especialmente cuando se usan dos o más pasadas.

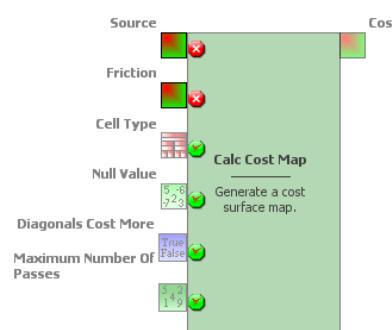
Por defecto, las dimensiones de las celdas (ancho y largo) no están consideradas en los cálculos de costos. Para tomar esto en cuenta, en Advanced active la opción **Friction is relative**.

Penalizar los movimientos diagonales es efectivo sólo cuando los valores de fricción son altos o el mapa de costos está representado por números reales.

Mapas de fricción representados por números reales requieren mapas de costos con celdas representadas también por números reales, de lo contrario se genera un error.

Cada pasada utilizada para calcular el mapa de costos corresponde a cuatro pasadas sobre el mapa originadas desde direcciones opuestas.

Lugares inaccesibles en el mapa de fricciones son obviados en el mapa de costos y por lo tanto, son representados por celdas nulas. El costo no es acumulado a través de celdas nulas, por lo que a las regiones rodeadas por celdas nulas no se les calculará un costo a menos que haya un atributo dentro de esta región.

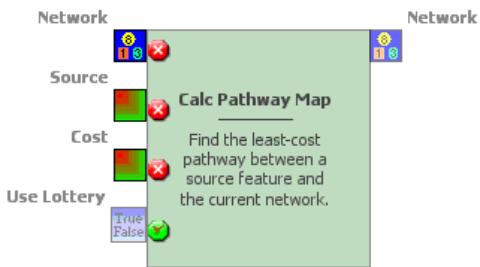


El puerto **Source** (fuente) recibirá el mapa “railroad.tif” y el mapa de fricción producido en el tercer *Calculate Map*. Active la opción **Diagonals Cost More**. Ésta penalizará el movimiento a través de celdas ubicadas diagonalmente. Defina el **Maximum Number of Passes** en “2”. No cambie las demás opciones.

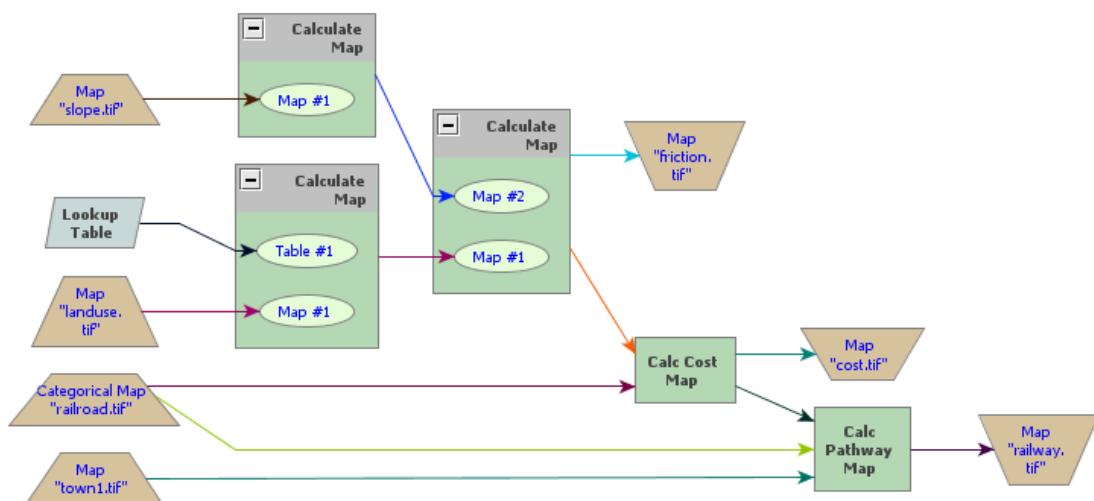


Abra el *Calc Pathway Map* con el *Edit Functor Ports*. Conecte el *Map* “town1.tif” con el puerto **Source** (**TIP: Source**, en este caso, también representa el destino, ya que el mapa de costos fue construido en base a la ferrovía existente. De esta forma, este algoritmo buscará el camino menos costoso desde la fuente al atributo existente, *i.e.* la ferrovía), conecte el mapa producido desde *Calc Cost Map* al puerto **Cost** y el *Map railroad.tif* al puerto **Network** (representa una red de atributos lineales) y el puerto de salida **Network** al *Save Map*. Active la opción **Use Lottery** (este es un artefacto que le permite al modelo definir el camino a trazar cuando dos o más valores mínimos de fricción son encontrados).

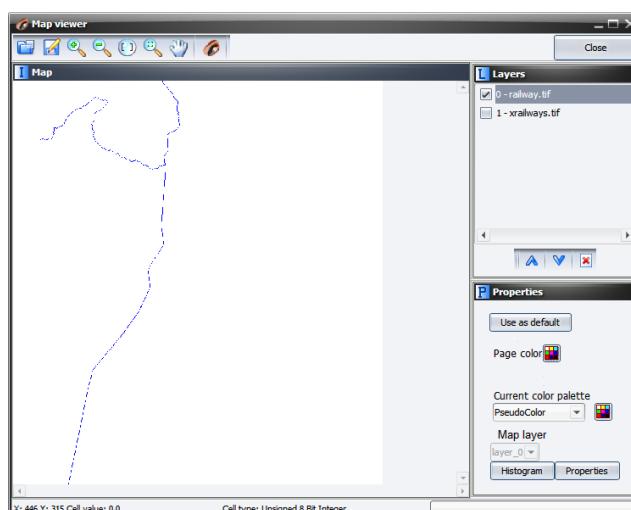
Calc Pathway Map no toma en cuenta celdas con valores iguales o menores que cero, ni celdas nulas. En cambio, *Calc Cost Map* necesita un mapa con la red de caminos en el que las celdas nulas representan la ausencia de atributos. Vaya al *Categorical Map* y ábralo con el Edit Functor. Active el **Define Null Value** y asegúrese que el **Null Value** es “0”.



Haga click en *Save Map* con el Edit Functor, cambie la carpeta a un nivel superior, cambie el formato de archivo a “geotiff” y defina el **Suffix to Digits** en “0”, finalmente nómbrelo “railway.tif”. El modelo final se verá así:

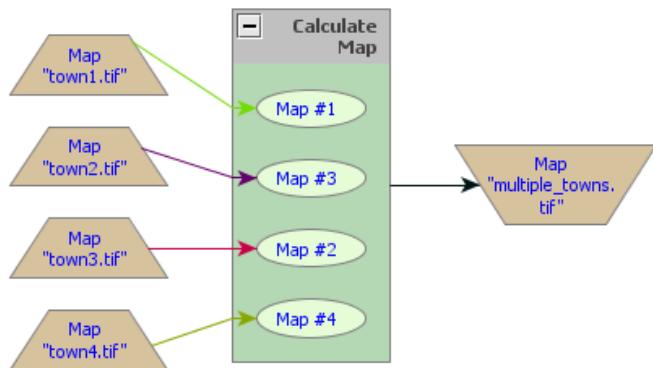


Guarde el modelo como en un nuevo archivo: “my_pathway.xml”, verifíquelo y si todo está O.K., ejecútelo. Esto va a tomar sólo un momento. Dinamica EGO tiene una performance superior en relación a la mayoría de los paquetes SIG comerciales; puede intentar aplicar este modelo en otro software para comparar la performance. Abra el “railway.tif” con el Map Viewer usando “**PseudoColor**” en el **Current Color Palette**. ¿Qué observa?



Puede tratar de maximizar la solución del algoritmo *Calc Cost Map* al definir el **Maximum Number of Passes** (máximo número de pasadas) en “0”. Compare el tiempo empleado en ejecutar el modelo con este parámetro y su resultado con el anterior. ¿Encuentra una gran diferencia?

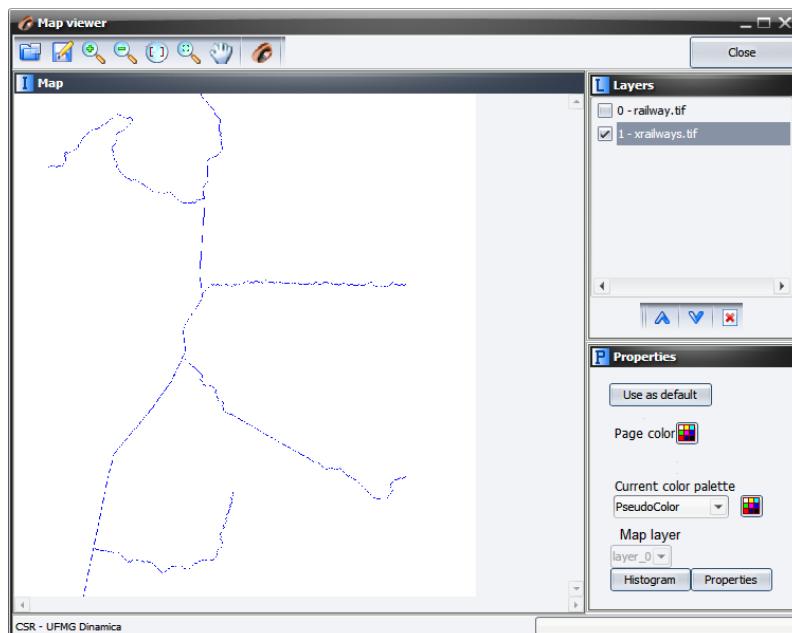
Este tipo de modelo también puede ser modificado para crear multiples caminos simultáneamente. Abra el modelo “join_towns.xml” de la carpeta **lesson4**.



Este modelo muestra como se puede utilizar el *Calculate Map* para unir la información de varios mapas en uno sólo. El producto será un mapa que muestra las celdas de los cuatro pueblos. **TIP:**use sólo una celda para representar la ubicación a ser conectada por el *Calc Pathway Map*.

Ahora reemplace el archivo dentro de *Map “town1.tif”* por “multiple_towns.tif” y cargue el archivo en *Map “railway.tif”* por “xrailways.tif”.

¿Obtuvo algo como esto?



Si revisa la carpeta `Examples\run_lucc_northern_mato_grosso\run_roads_with_comments` y abre el modelo “`mato_grosso_road.xml`”, encontrará como este conjunto de algoritmos pueden ser adaptados y combinados para construir un Road Constructor Module (módulo de

construcción de carreteras), un submodelo que simula la expansión de la red de carreteras en una región de frontera de la Amazonía. Este modelo es un ejemplo de la habilidad de Dinamica EGO para el ingenioso diseño de modelos espaciales.

6. Lección 5: Evaluación Multi-Criterio (EMC)en Dinamica EGO

Qué aprenderá?

- EMCpara planeamiento urbano y regional.
- Functors:
 - *Calculate Distance to Feature Map (calculo de distancia a mapa de atributos)*
 - *Group (grupo)*

El métodode Evaluación Multi-Criterio(EMC) es comúnmente utilizado para evaluaciones de impacto ambiental o planeamiento urbano y regional. En este ejercicio usted aplicará EMC para identificar las áreas favorables donde establecer un nuevo centro urbano en el norte del Estado de Mato Grosso – una región de frontera amazónica –, mitigando, al mismo tiempo, posibles impactos ambientales derivados del asentamiento urbano. Nuevamente, confrontamos dos puntos de vista, el de los “desarrolladores” y el de los ambientalistas. Una forma de resolver esta pregunta es enumerar todos los criterios que favorecen la ubicación del futuro centro urbano y aquellos que lo limitan o impiden.

En este problema, tenemos dos tipos de criterios, aquellos que limitan nuestro análisis sólo a áreas específicas, por lo que son binarios, 1 ó 0, y aquellos otros que asignan un grado de idoneidad para una ubicación dependiendo de sus atributos biofísicos y de infraestructura.

Nuestros criterios son:

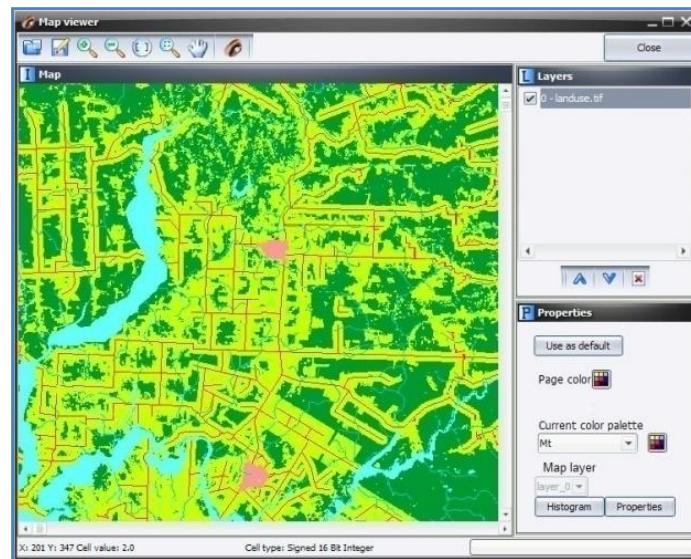
- 1) Distancia a carreteras principales < 15 kilómetros.
- 2) Tiempo de viaje a pueblos vecinos < 30 minutes.
- 3) Por lo menos 10 Km.de distancia a pueblos existentes.
- 4) Por lo menos 1 Km. lejos de planicies inundadas(Malaria es una enfermedad endémica en la región).
- 5) Adicionalmente, necesitamos considerar que no toda la tierra esde libre disponibilidad. No se desea promover mayor deforestación en la región, por lo que es necesario utilizar sólo tierras deforestadas o abandonadas. Así mismo, las áreas urbanas existentes, ríos, y planicies inundables, deben ser excluidas.
- 6) Por lo menos áreas de más de 1,000 ha.
- 7) Pendiente promedio < 0.5 grados.

6.1 Primer paso: Identificación de áreas disponibles

El mapa de uso de suelos tiene las siguientes clases:

Uso del suelo	id
Planicies inundadas	0
Ríos pequeños	1
Pasturas	2
Regeneración	3
Bosque remanente	4
Urbano	5
Carreteras	6

Cargue “\lesson4\originals\landuse.tif” en el Map Viewer y cambie el **Current color palette** a “Mt”.

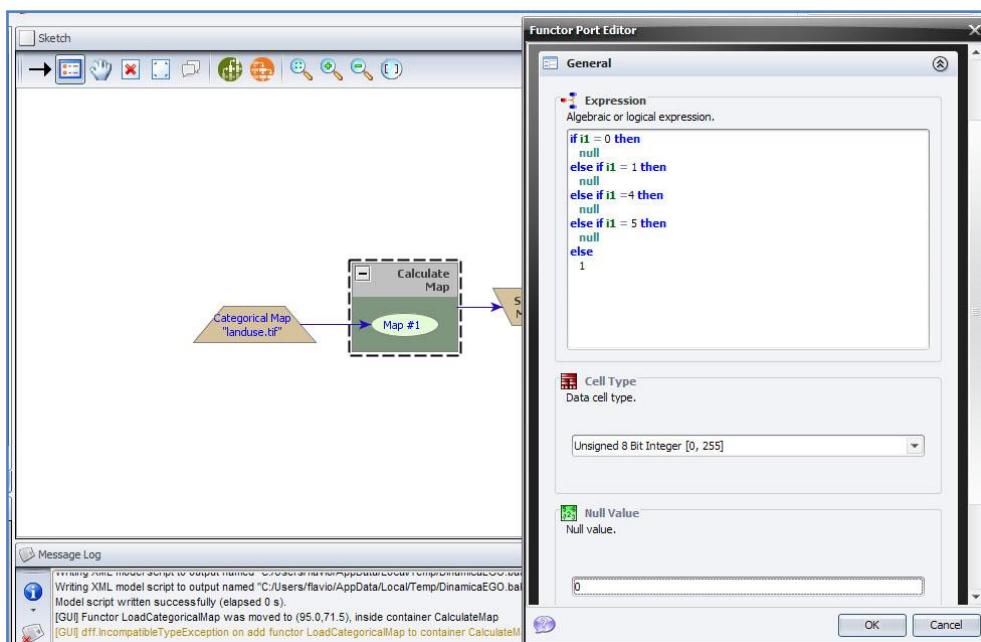


Empecemos a construir el modelo. Coloque un *Load Categorical Map* en el sketch y cargue el archivo “\lesson4\original\landuse.tif”. Ahora coloque un *Calculate Map* y un *Number Map* dentro de este. Escriba “1” en el **Map Number** del *Number Map*. Ahora añada un *Save Map* y grabe el archivo bajo el nombre de “unconstrained_areas.tif”, asegúrese que ha cambiado la carpeta a **lesson5**. Cambie el formato de archivo a **Geotiffy** defina el **Suffix Digits** en “0”. (**TIP:** puede incrementar la performance del modelo al evitar guardar los mapas de resultados intermedios). En este paso, grabará el mapa sólo para revisar el resultado de esta operación. No olvide conectar todos los functors.

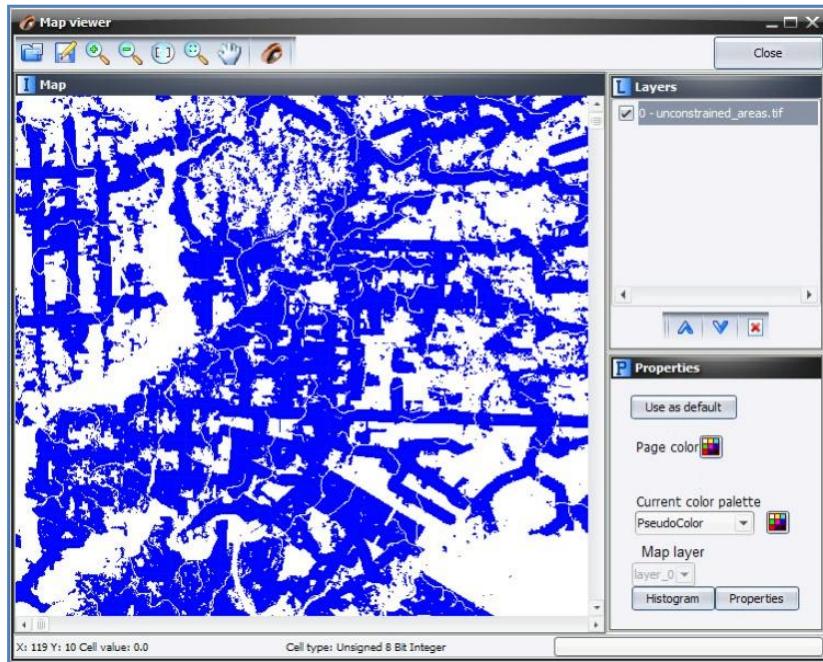
Ahora abra el *Calculate Map* con el Edit Functor y escribala siguiente ecuación:

(if i1 = 0 then null else if i1 = 1 then null else if i1 = 4 then null else if i1 = 5 then null else 1)

El valor nulo enmascara a los ríos, planicies inundables, áreas urbanas, y carreteras, de manera que no afecten las operaciones que haremos sobre el mapa. No olvide definir el **Data Cell Type** como “Unsigned 8 Bit Integer” y **Null Value** en “0”.



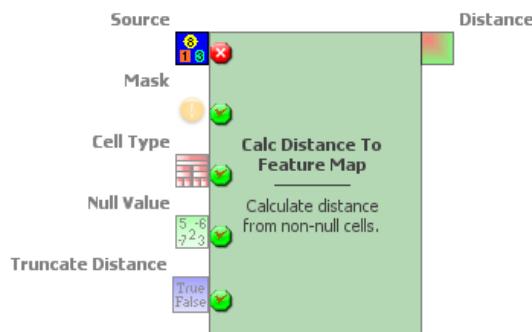
Grabe el modelo con el nombre de “My_MCE_part1.xml”, ejecútelo, y examine el resultado con el Map Viewer.



6.2 Segundo paso: Construcción de buffers para definir áreas no idóneas

En este paso construiremos buffers para incorporar los criterios de distancia a poblados existentes y a áreas inundadas.

Cargue un *Calculate Categorical Map* y incluya un *Number Map* dentro (**TIP:**la única diferencia entre el *Calculate Map* y el *Calculate Categorical Map* es que este último produce un mapa categórico). Necesitará un *Calculate Categorical Map* para utilizar el functor *Calc Distance to Feature Map*; búskelo en la pestaña Map Algebra. Aunque no es necesario, usted puede guardar el mapa utilizando un *Save Map*. Guárdelo bajo el nombre de “distance_to_towns.tif”. Ahora conecte el *Categorical Map* “landuse.tif” al *Number Map*, luego de haber definido el **Map Number** en “1”. Abra el *Calc Distance to Feature Map* con el Edit Functor Ports.



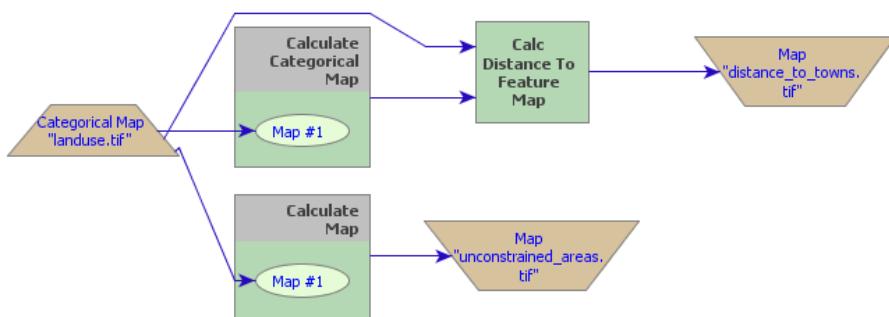
El puerto **Source** recibe un mapa que contiene los atributos a los que se calcularán las distancias. Un atributo es representado por un valor no nulo. **Mask** es un mapa que es utilizado para enmascarar ciertos atributos, y por lo tanto, permite omitir este caso las celdas nulas.

en el cálculo de las distancias. Conectemos el producto del *Calculate Categorical Map* al puerto **Source** y el *Categorical Map "landuse.tif"* al puerto**Mask**. Ahora abra el *Calculate Categorical Map* y escriba la siguiente ecuación:

if i1 = 5 then1 else null

Recuerde que 5 es el identificador para el uso urbano. No necesita cambiar ni **Data cell type** ni **Null Value** en los functors *Calaculate Map* y *Calculate Categorical Map*, aunque para ahorrar memoria puede utilizar "Signed 8 Bit Integer" y **Null Value "0"** en el segundo. También puede activar la opción **Truncate Distance** en *Calc Distance to Feature Map*. Esto evitara exceder la máxima representación numérica seleccionada en **Data cell type**.

Ahora conecte el puerto **Distance** del *Calc Distance to Feature Map* al *Save Map*. El modelo debe estar listo para ser ejecutado. Siempre grabe el modelo antes de ejecutarlo. Grábelo con el nombre de "my_MCE_part1&2.xml". Examine el resultado con el Map Viewer.

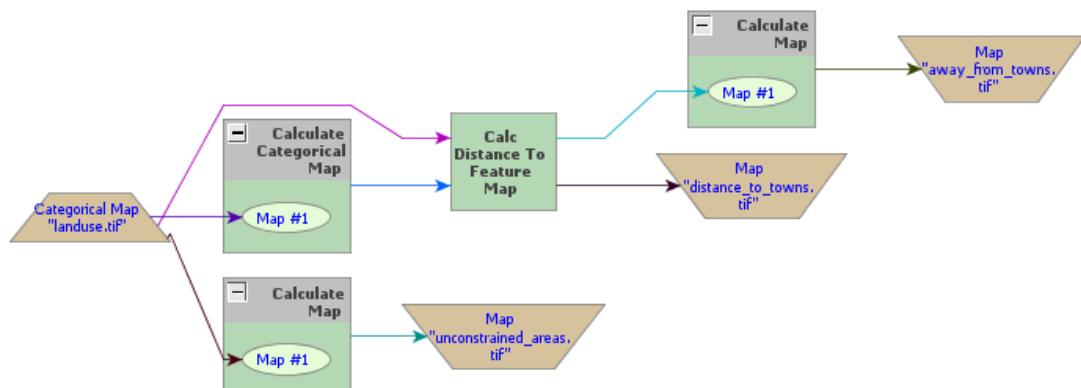


Como paso final, coloque un *Calculate Map* con su correspondiente *Number Map (#1)*, conecte el resultado de *Calc Distance to Feature Map* con el *Number Map*, y luego, este con un *Save Map* denominado "away_from_towns.tif". Note que en esta fase, estamos omitiendo algunos pasos que ya deben sobreentenderse. Escriba la siguiente ecuación en la caja de ecuaciones del *Calculate Map*.

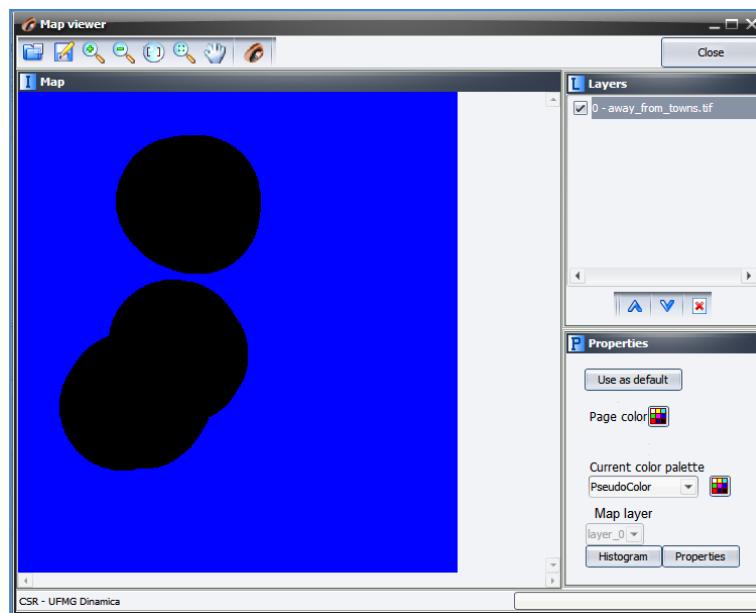
if i1 < 10000 then null else 1

TIP: el mapa de distancias siempre se produce en metros; el criterio limitante es siempre definido como nulo.

Obtendrá el siguiente modelo.



Grábelo y ejecútelo. Abra el mapa “away_from_towns.tif”. ¿Es esto lo que obtuvo?



¿Cómo resolvería el problema teniendo los siguiente criterios?

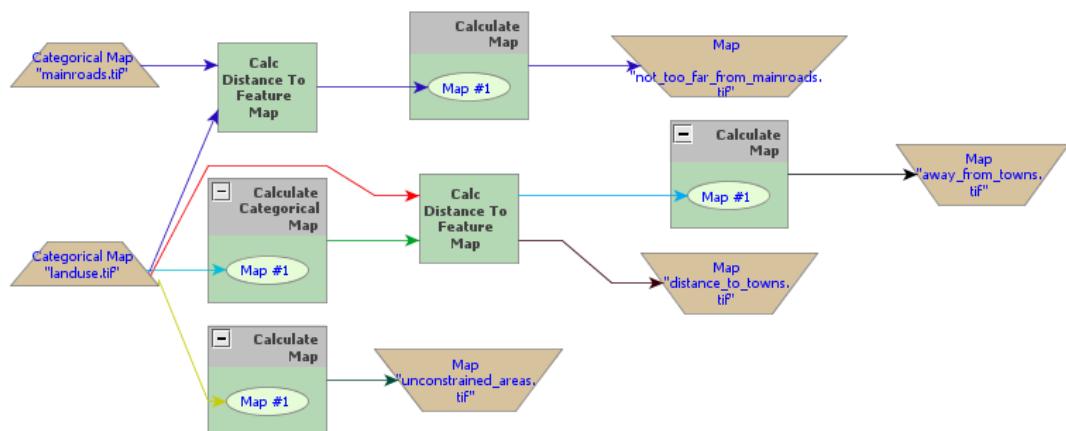
- Distancia a carreteras principales < 15 Km.
- Por lo menos 1,000 m lejos de planicies inundadas.

Necesitará añadir otro *Load Categorical Map* y ingresar el archivo “mainroads.tif” desde la carpeta **lesson5**. Necesita activar la opción **Define Null Value** y definirel **Null Value** en “0”. Conecteeste functor directamente a un nuevo *Calc Distance to Feature Map* que debe ser añadido al Sketch. Nuevamente, utilice el *Categorical Map* “landuse.tif” como**Mask**.

Use la siguiente ecuación en el respectivo*Calculate Map* (en adelante, necesitará escribir una ecuación para cada criterio): (if $i1 > 15000$ then null else 1).

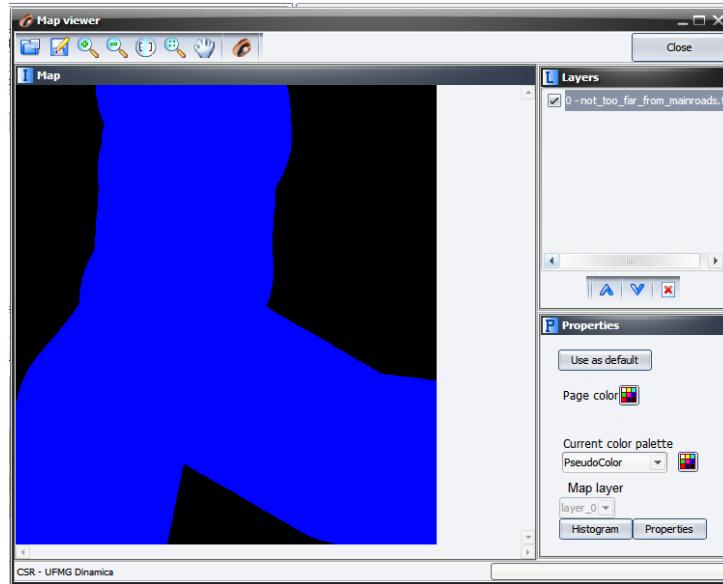
Ahora conecte su resultado al *Save Map* “not_too_far_from_mainroads.tif”

Obtendrá el siguiente modelo:



Revise su integridad, grábelo como “my_MCE_part1&2.1.xml”, y ejecútelo.

¿Obtuvo un mapa “not_too_far_from_mainroads.tif” como este?



Para el criterio de planicies inundadas necesitará añadir otro *Calculate Categorical Map* para ubicarlas en el espacio, antes de pasar el mapa resultante a un nuevo *Calc Distance to Feature Map*.

Conecte el *Categorical Map* “landuse.tif” al *Calculate Categorical Map* y escriba la siguiente ecuación.

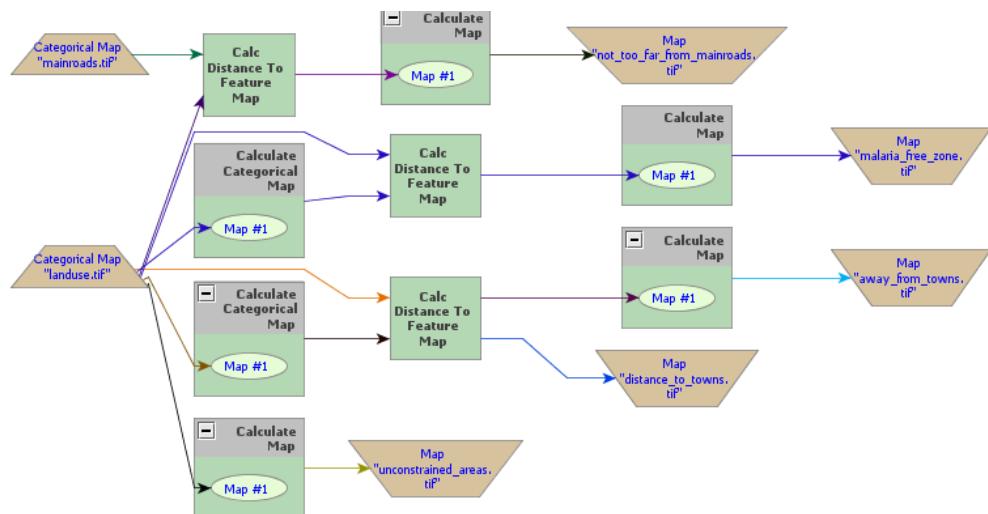
if i1 = 0 then 1 else null

Ahora conecte este resultado al *Calc Distance to Feature Map* através del puerto **Source**, y nuevamente conecte el *Categorical Map* “landuse.tif” al puerto **Mask**. El resultado del nuevo *Calc Distance to Feature Map* debe ser conectado a otro *Calculate Map*, donde escribirá la siguiente ecuación:

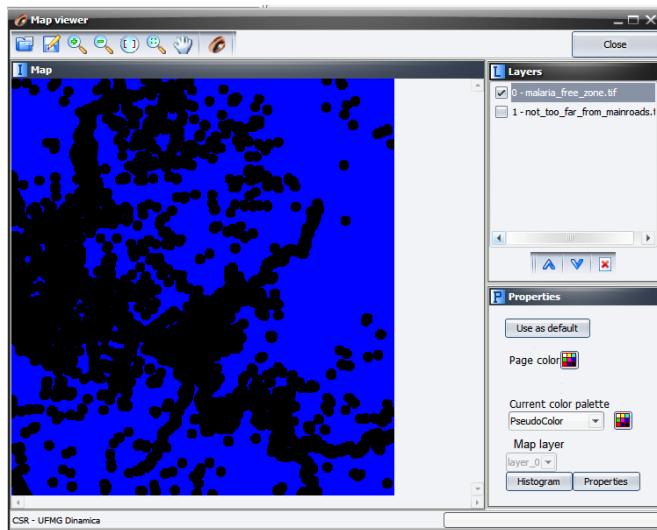
if i1 < 1000 then null else 1

Grabe el resultado como “malaria_free_zone.tif”

El modelo para los tres criterios combinados debe verse así:



Grave el modelo como "my_MCE_part1&2complete.xml", ejecútelo, y analice el mapa "malaria_free_zone.tif". ¿Se ve así?



6.3 Tercer paso: Cálculo del tiempo de viaje a pueblos vecinos

El tiempo de viaje a pueblos vecinos no puede exceder 30 minutos. Este cuarto criterio requiere el uso de *Calc Cost Map*, así como también, de una superficie de costos de transporte.

Para incorporar este criterio, el modelo establecerá dos velocidades de viaje: una para la red de carreteras y otra para todos los tipos de uso del suelo. La velocidad media en carretera es 60km/h. Por lo tanto la velocidad correspondiente para cruzar una celda de 100 metros de resolución será de 0.1

Explicación x (horas) -> 0.1 km 1 h -> 60 km Esto es igual a = 0.1 km/60 km x 60 minutos = 0.1 minutos
--

minutos (Ver **Explicación**). Así mismo, la velocidad media a través del campo es 20 km/h, lo cual es equivalente a 0.3 celdas/minuto.

Reclasifiquemos el mapa "landuse.tif" para producir la superficie de fricción. Para esto, coloque otro *Calculate Map* y escribala siguiente ecuación:

if i1 = 6 then 0.1 else 0.3

Ahora conecte el resultado a un *Calculate Cost Map* (al puerto **Friction**). Necesitará otro *Calculate Map* para ubicar los pueblos vecinos del mapa de uso de suelos utilizando la siguiente ecuación:

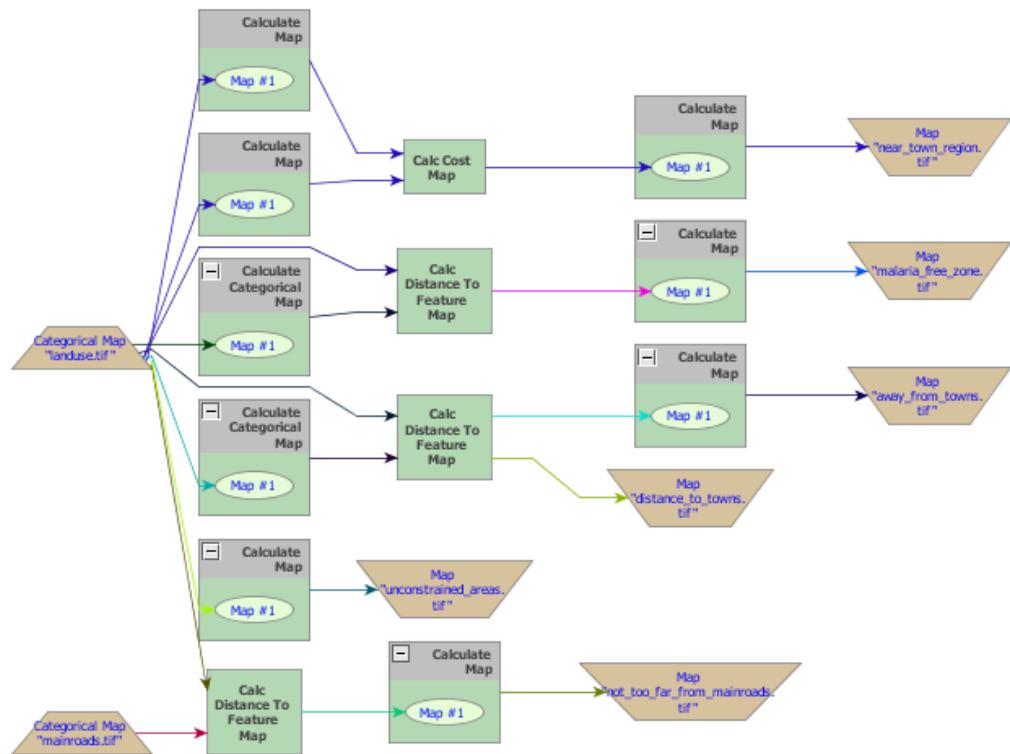
if i1 = 5 then 1 else null

Importante: No olvide cambiar **Cell Type** en el *Calculate Map* que genera el mapa de fricción y también en el *Calc Cost Map* a "IEEE 754 Bit Real". Recuerde que el costo de cada celda es expresado en fracciones.

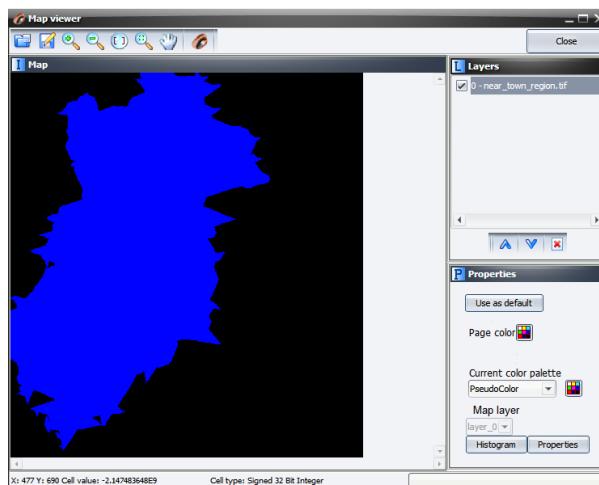
Ahora, conecte el resultado del *Calc Cost Map* a otro *Calculate Map* para producir un mapa binario en función del máximo tiempo de viaje, mediante la siguiente fórmula:

if i1 < 30 then 1 else null

Finalmente guarde el mapa producido como "near_town_region.tif". Note que se han incorporado al modelo tres *Calculate Map* adicionales, tres *Number Map*, un *Calc Cost Map*, y otro *Save Map*. El modelo producido con los nuevos functors incorporados en la parte superior, debe verse como se muestra a continuación:



Revise la integridad del modelo, grábelo como "my_MCE_part1&2&3.xml", y ejecútelo. Examine el mapa "near_town_region.tif". ¿Es esto lo que obtiene?



6.4 Cuarto paso: Combinación de criterios binarios

Hasta ahora ha incorporado los siguiente criterios.

- 1) Distancia a las carreteras principales < 15 kilometers.
- 2) Tiempo de viaje a pueblos vecinos < 30 minutes
- 3) Por lo menos 10 Km lejos de pueblos existentes.
- 4) Por lo menos 1000 metros lejos de planicies inundadas.

- 5) Adicionalmente,necesitamos considerar que no toda la tierra está disponible. No deseamos promover más deforestación en la región, por lo que sólamente se usarán áreas ya deforestadas o abandonadas. Áreas urbanas, ríos, y planicies inundadas también deben ser excluidas.

Los dos criterios restantes (áreas iguales o mayores a 1,000 hectáreas, y la pendiente promedio < 0.5 grados) deben ser incorporados utilizando un enfoque zonal que está contenido en los functors de Region. Antes de continuar con este paso, usted debe combinar todos los criterios incorporados hasta ahora en un sólo mapa.

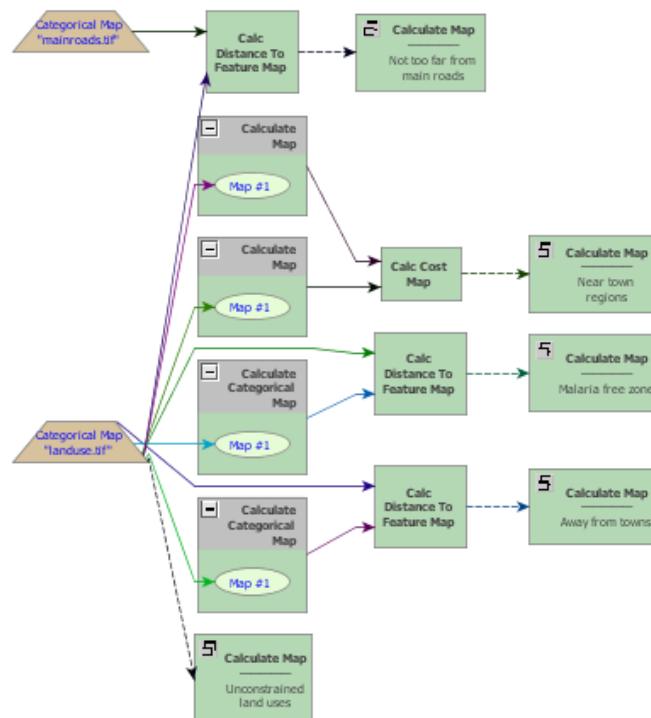
Como ha podido notar, este modelo ha alcanzado cierto grado de complejidad, y está empezando a ser más difícil entender su estructura a través de la interfase gráfica. Dinamica presenta algunas facilidades para reducir la complejidad visual de los modelos.

Primero, usted puede eliminar los functors *Save Map*, dado que ya verificó sus resultados. Segundo, usted puede añadir comentarios a algunos de los functors indicando sus resultados. Hagámoslo!

Elija la herramienta Add Comment to Functor (añadir comentario al functor) ubicada en la barra de herramientas del Sketch. Describa el producto de cada functor que precede a los *Save Map*, de tal forma que pueda rastrear cada flujo de datos desde sus nodos iniciales (es decir, desde el mapa "landuse.tif"). Para poder visualizar el comentario, primero, debe cerrar el contenedor *Calculate Map*. Hágalo mediante un click en el ícono de la esquina superior izquierda.

En los functors correspondientes, escriba lo siguiente: Near town regions (regiones cercanas a pueblos), Malaria free zone (zona libre de malaria), Away from towns (lejos de pueblos), Unconstrained land uses (usos de la tierra sin restricciones), Not too far from main roads (no muy lejos de las carreteras principales).

En esta etapa, puede eliminar los functors *Save Map*. Luego de hacerlo, organice la distribución del modelo de izquierda a derecha. **TIP:** agrande la ventana del sketch para tener un acercamiento del modelo. Esto es lo que debe obtener.



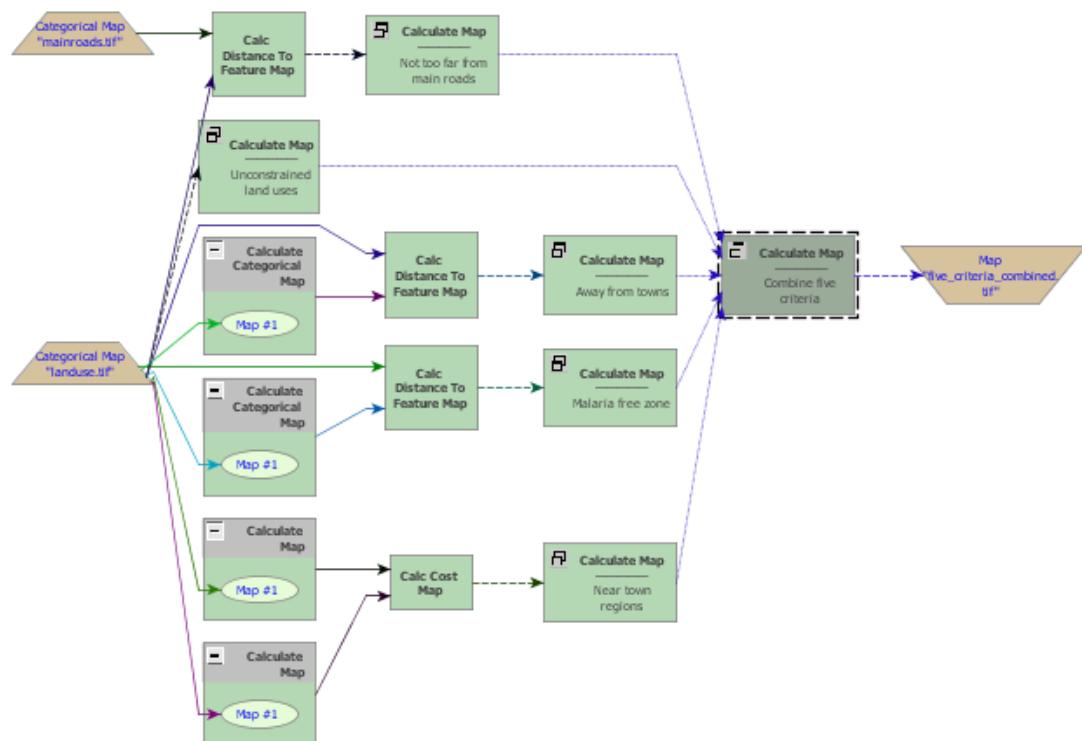
Los cinco functors *Calculate Map* ubicados en la extrema derecha, producen los cinco criterios ya incorporados. Ahora sólo necesita combinarlos con un *Calculate Map*.

Coloque cinco *Number Maps* dentro del *Calculate Map*. Ábralo y escriba la siguiente ecuación.

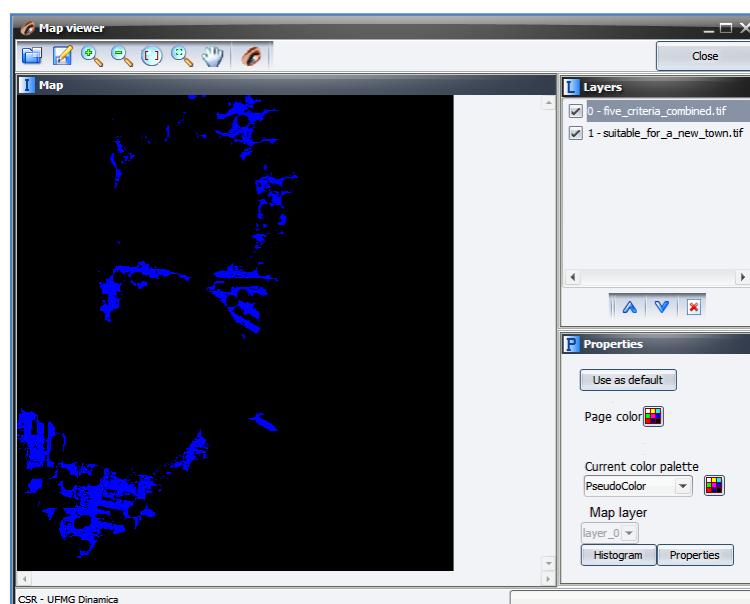
i1*i2*i3*i4*i5

TIP: El *Calculate Map* no procesa celdas nulas.

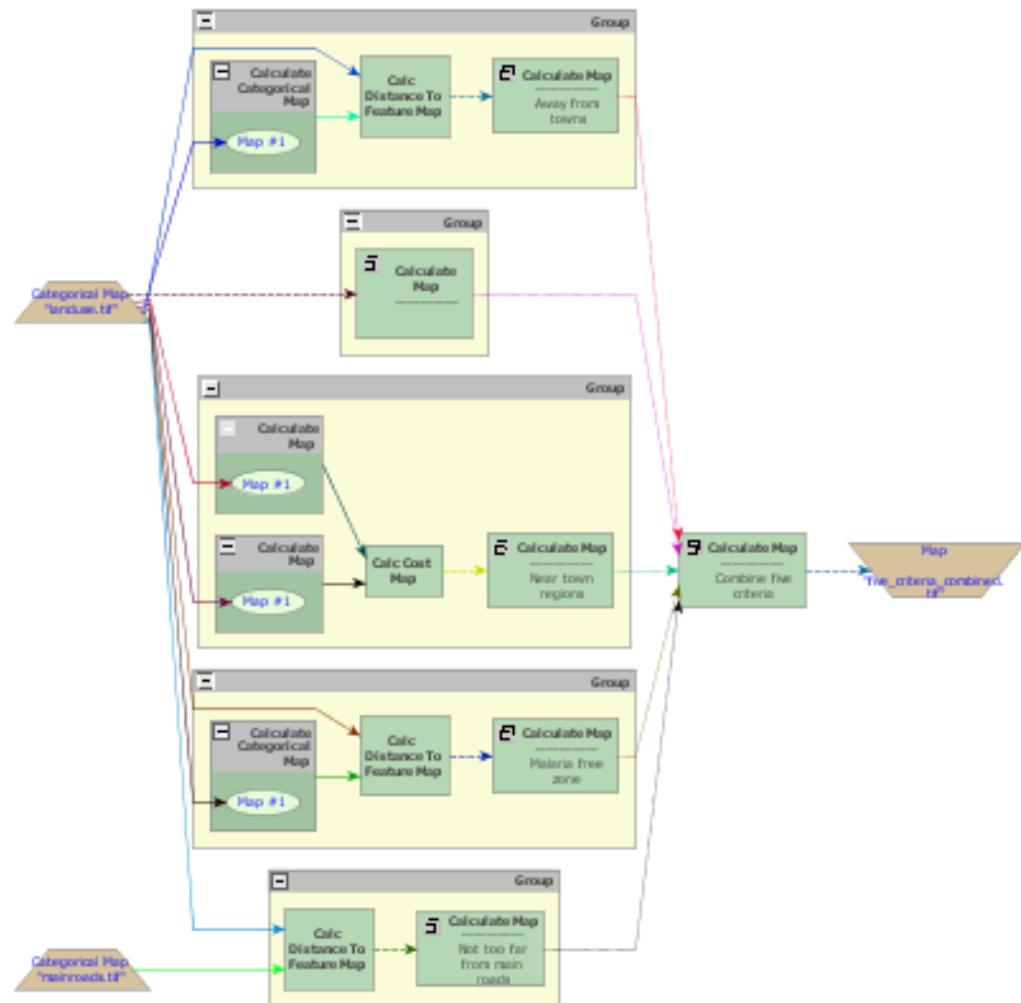
Cambie el **Cell Type** a “UnSigned 8 Bit Integer” y el **Null Value** a “0”; escriba el comentario “Combine five criteria” (combinar cinco criterios) y adicione un *Save Map* para visualizar el resultado, nombrándolo “five_criteria_combined.tif”. Finalmente, organice la distribución del modelo de izquierda a derecha.



Cierre el *Calculate Map* para poder mostrar el comentario, grabe el modelo como “my_MCE_part1&2&3&4.xml”, revíselo, y ejecútelo. ¿Es esto lo que obtiene?



Para simplificar aun más la vista del modelo, otro recurso disponible en Dinamica EGO es el functor *Group*. Arrastre cinco *Group* desde la pestaña Control y colóquelos en el Sketch. Ahora seleccione todos los functors de una cadena de flujo de datos que termina en el *Calculate Map* “Combine five criteria” (Presione Ctrl + botón derecho para seleccionar functors sucesivamente), deje los *Categorical Maps* fuera. Ahora, arrástrelos dentro de un *Group*. Repita este procedimiento para los cinco criterios.



Cierre cada *Group*, escriba los siguientes comentarios en cada uno de los correspondientes. Es posible que sea necesario hacer un acercamiento del modelo (Zoom in).

Produce near town regions (producir regiones cercanas a pueblos)

Produce malaria free zone (producir zonas libre de malaria)

Produce areas away from towns (producir áreas lejos de pueblos)

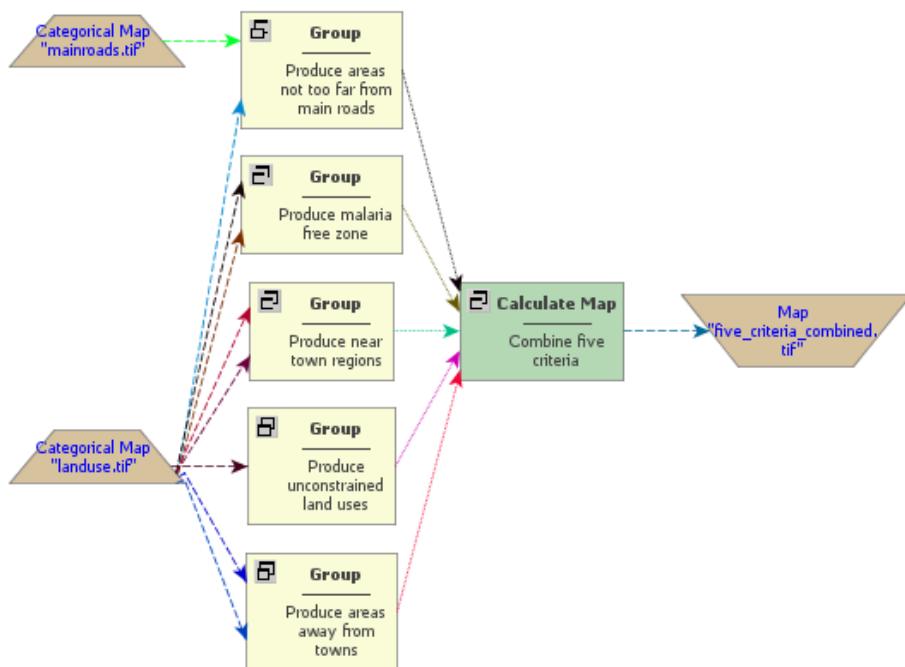
Produce unconstrained land uses (producir usos del suelo sin restricciones)

Produce areas not too far from main roads (producir áreas no muy lejos de carreteras principales)

Vea el modelo en la siguiente página. Ahora es mucho más fácil de ser visualizado, cierto? Claro que necesitará abrir cada *Group* para entender cómo se obtienen los resultados. Puede hacer esto con cada *Group*. Note que la función del *Group* es ayudar a organizar el modelo en el Sketch.

TIP: *Group* también es usado para asegurar un apropiado orden en la ejecución del modelo, dado que siempre se ejecutará lo que esté almacenado dentro del *Group* antes que los siguientes functors.

Grabe el modelo como “my_MCE_part1&2&3&4group.xml” y vayamos al próximo paso.

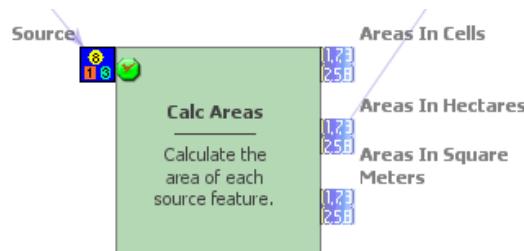


6.5 Quinto paso:

En este paso, identificaremos las áreas apropiadas con un área mayor o igual a 1,000 hectáreas. Primero, elimine el Map “five_criteria_combined.tif”. Recuerde que el modelo será ejecutado más rápidamente cuanto menos veces el software acceda al disco duro. Ahora, arrastre desde la pestaña Map Algebra el functor *Calc Patch Label Map*. Este functor etiqueta parches de celdas utilizando números secuenciales. Un parche consiste en un grupo continuo de celdas aledañas de la misma categoría (vea también la lección 10: Medidas de Paisaje en Dinamica EGO). Esto es necesario para incorporar el criterio de área. Conecte el producto de “Combine Five Criteria” a este functor. Algunos de sus parámetros son:

Initial Patch Label: defínalo en “1”. **Importante:** defina **Null Value** en “0” y **Cell Type** en **Signed 32 Bit Integer**.

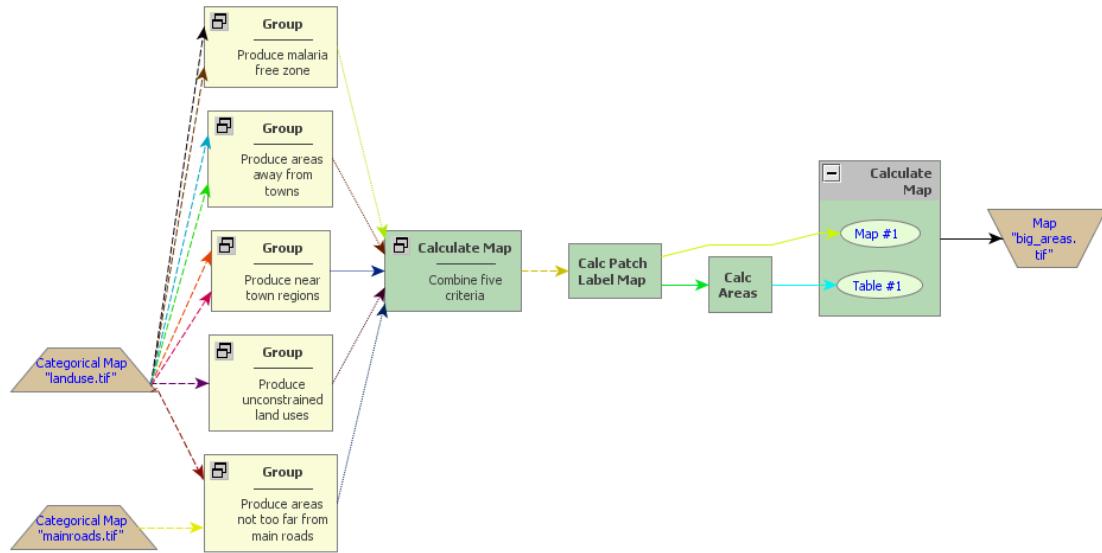
Esto será suficiente para almacenar todos los números de las etiquetas de los parches. No cambie los otros parámetros. Vaya a Help para mayores detalles. Ahora, conecte el producto de *Calc Patch Label Map* a *Calc Areas*, disponible en la pestaña Map Algebra. Este functor proporciona tres opciones de resultado. Nosotros necesitamos las áreas medidas en hectáreas, por lo que utilizaremos el puerto **Areas In Hectares**.



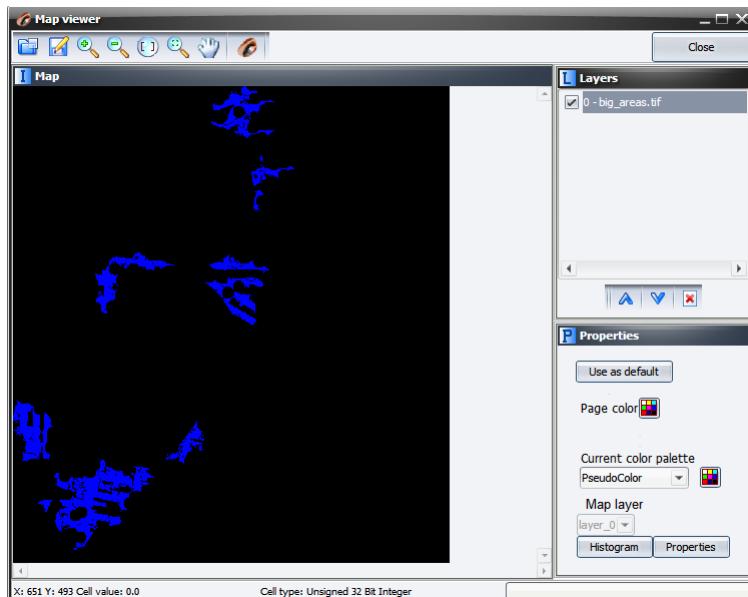
Ahora, coloque en el sketch un *Calculate Map*, y dentro de este, un *Number Map* y un *Number Table*. Conecte el *Calc Areas* al Table#1 (esto significa que el resultado del *Calc Areas* es una lookup table), y el resultado del *Calc Patch Label Map* con el “Map #1”. Ahora abra el *Calculate Map* y escriba:

if (t1[i1] < 1000) then null else 1

Utilizando esta fórmula, el functor analizará el tamaño de cada parche y luego eliminará los parches de menos de 1000 hectáreas. Ahora coloque un *Save Map* y nómbralo “big_areas.tif”.

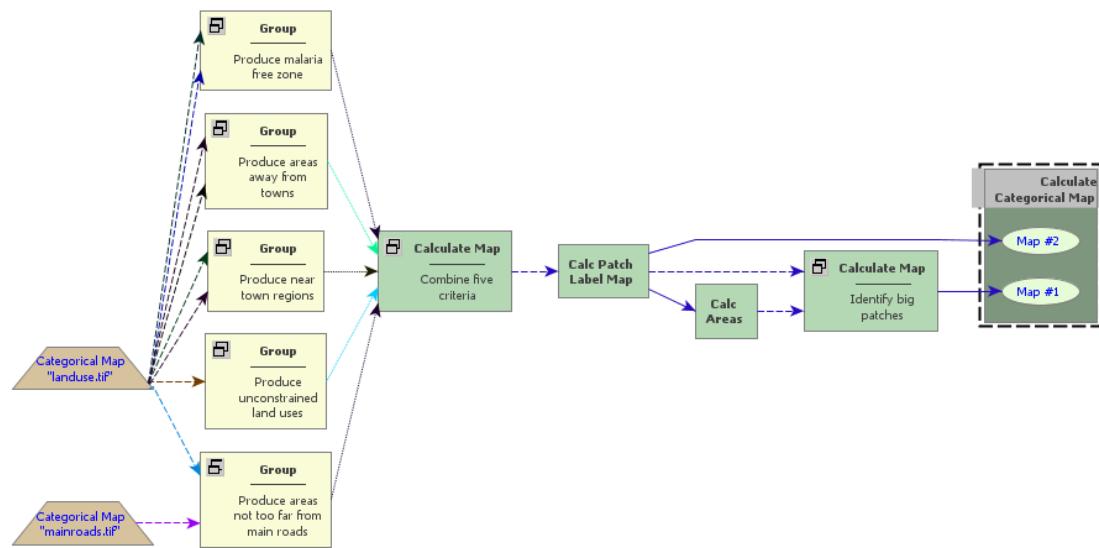


Grabe el modelo como “my_MCE_part1&2&3&4&5.xml”, ejecútelo, y examine su resultado. ¿Es esto lo que obtiene?



Excelente, buen esfuerzo! Pero antes de seguir con el siguiente paso, aun hay algo que hacer. Para mantener las etiquetas de los parches, debe multiplicar el resultado del último *Calculate Map*, al cual le debe añadir el comentario “Identify big patches”, por el resultado del *Calc Patch Label*. Por lo tanto, usted sólo mantendrá las etiquetas de los parches más grandes.

Coloque un *Calculate Categorical Map* y adentro, dos *Number Map*. Defínalos con “1” y “2” respectivamente, y elimine el *Save Map*. Ahora conecte los functors como se muestra a continuación:



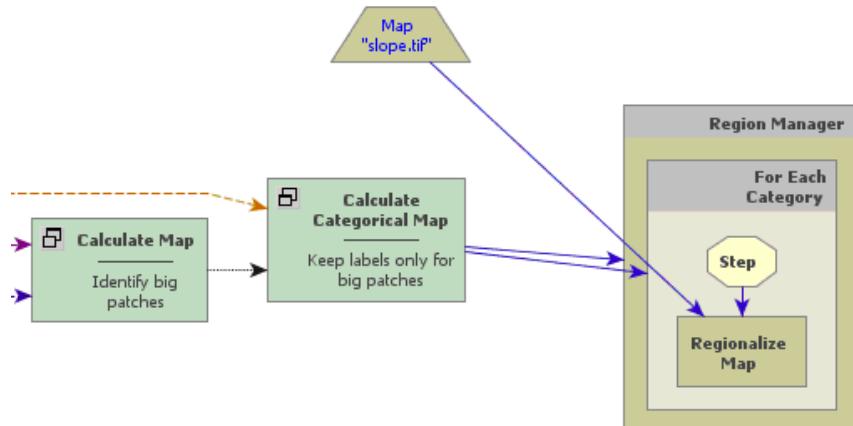
TIP: Necesitamos un *Calculate Categorical Map* en vez de un *Calculate Map*, porque las etiquetas de los parches a ser utilizadas en el próximo paso, donde se regionalizará el mapa de pendientes, serán definidas por **Null Value** igual a “0” y **Cell Type** en **Signed 32 Bit Integer**.

Escriba: $(i1*i2)$, cierre el functor, e inserte el comentario “Keep labels only for big patches”. (sólo mantener etiquetas de parches grandes). Ahora sí está listo para continuar con el paso final.

6.6 Sexto paso:

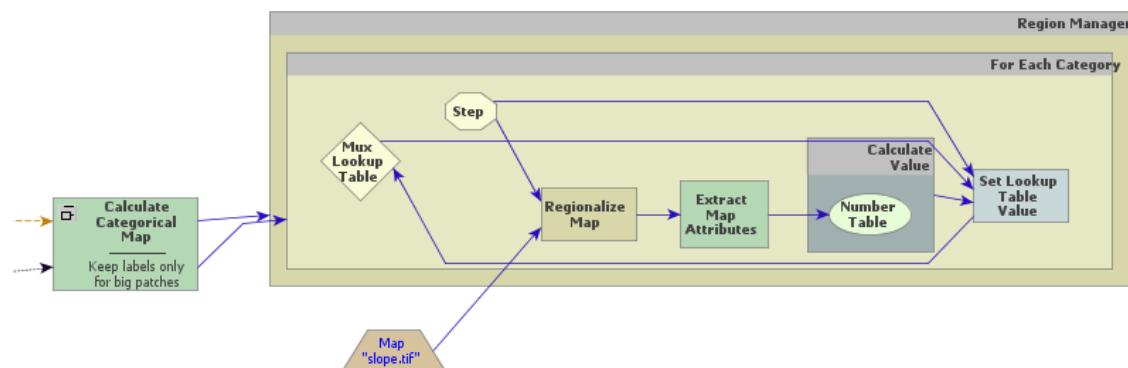
El criterio final establece que la pendiente promedio de los parches elegidos debe ser menor a 0.5 grados. Coloque un *Load Map* y cárguelo con “\lesson4\originals\slope.tif”. Ahora revise la lección 3, ya que necesitará aplicar el concepto de región nuevamente.

Arrastre los functors *Region Manager*, *For Each Category*, *Regionalize Map*, y *Step*, e inserte los dos últimos dentro del anterior y *For Each Category* dentro del *Region Manager*. Conéctelos de la siguiente forma:

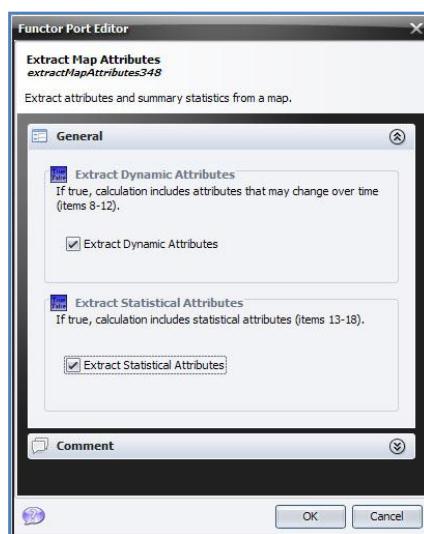


El mapa a ser regionalizado es “slope.tif”. El mapa producido en el último *Calculate Categorical Map* controlará al *Region Manager* y al *For Each Category*. Recuerde que este functor le permite al modelo iterar de acuerdo a las categorías del mapa que analiza. Ahora, ponga un

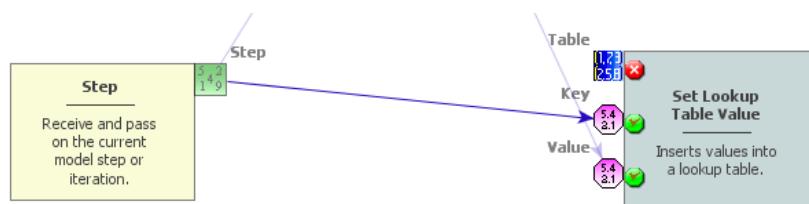
Mux Lookup Table, un Extract Map Attributes, un Calculate Value, un Number Table y un Set Lookup Table, todos dentro de For Each Category y conéctelos como se muestra:



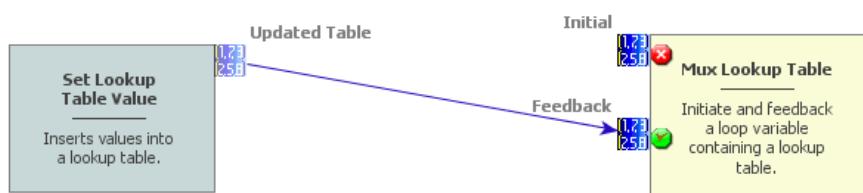
Escriba la ecuación: (t1[13]) en el *Calculate Value*. Recuerde que 13 es la clave para el promedio de todas las celdas no nulas en la tabla de atributos. Este submodelo es muy similar al que presentamos en la lección 3. Abra el *Extract Map Attributes* y active la opción **Extract Statistical Attributes**:



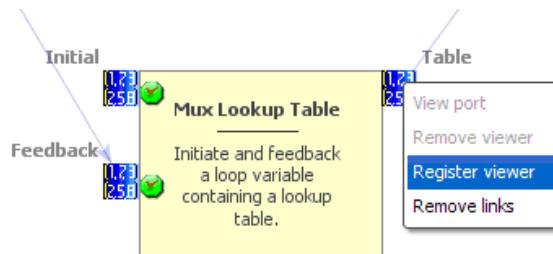
Recuerde conectar el *Step* con el puerto **Key** del *Set Lookup Table*,



y también el puerto de salida **Updated Table** con el entrada **Feedback**.

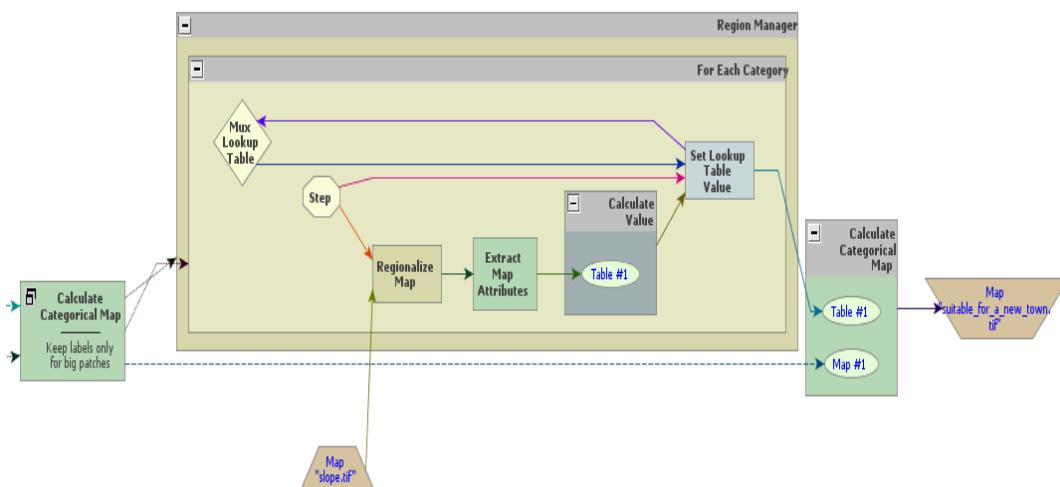


Abra el *Mux Lookup Table* con el Edit Functor Ports y haga click en **Initial**, y luego en **Edit Port**. Defina una tabla vacía; escriba “0” y “0”, en **Key** y **Value**, ha clik en el signo **+**, y luego en **OK**. Active la opción **Register Viewer** del puerto de salida **Table**. Así podrá ver el resultado directamente en la interfase.

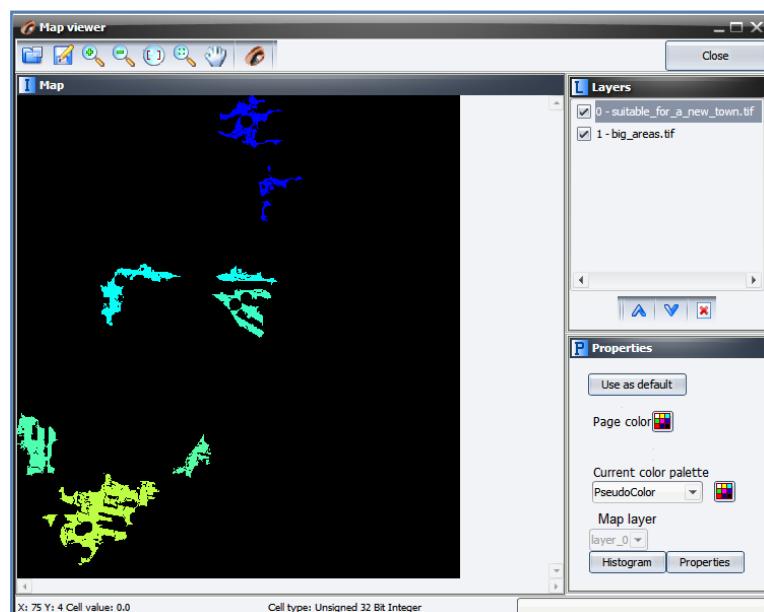


Finalmente, coloque un *Calculate Categorical Map* después del *Region Manager* y añada los *Number Map* y *Number Table* dentro. Numérelos y escriba la siguiente ecuación: (if $t1[i1] > 0.5$ then null else $i1$)

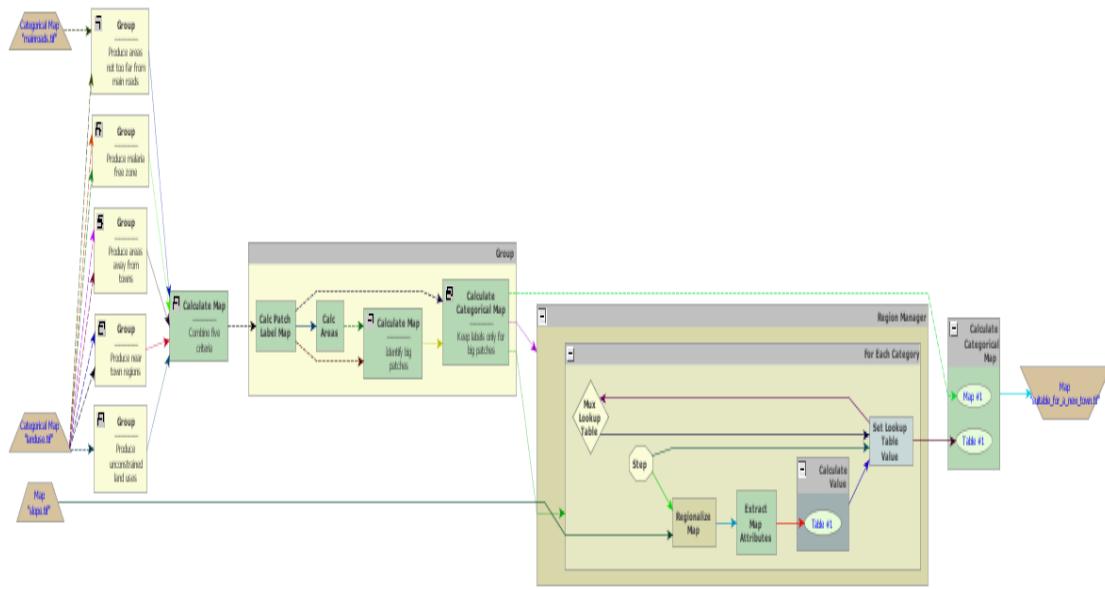
Grabe el resultado como “suitable_for_a_new_town.tif”.



Revise el modelo, grábelo como “my_MCE_part1&2&3&4&5&6.xml”, y ejecútelo. ¿Es esto lo que obtiene?

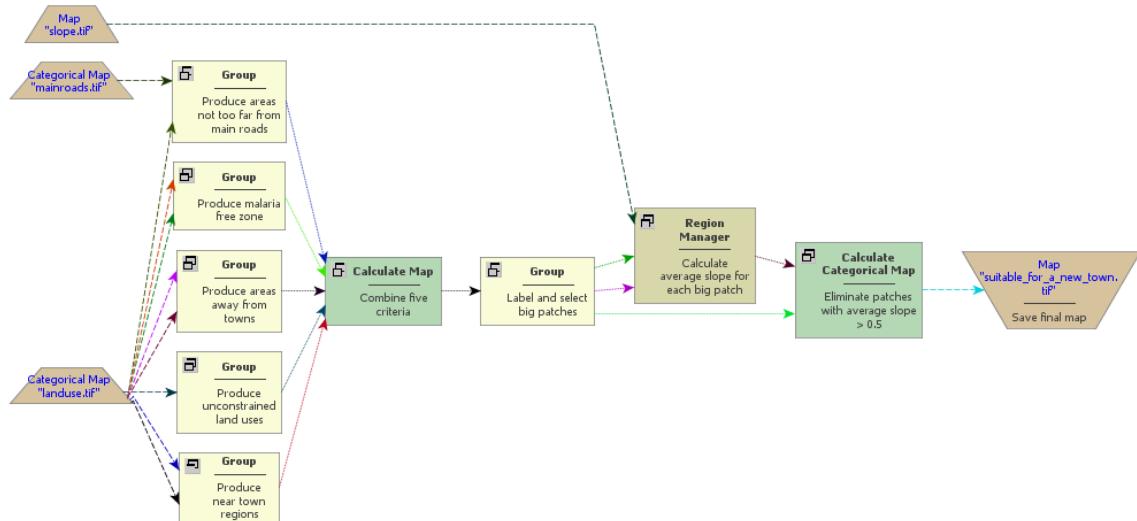


Para terminar, sólo tiene que organizar el modelo en una distribución más legible. Coloque un *Group* y arrastre el *Calc Patch Label Map*, *Calc Areas*, *Calculate Map “Identify big areas”*, y *Calculate Categorical Map “Keep labels only for big patches”* dentro.



Ciérralo y añade el comentario “Label and select big patches”, cierre el *Region Manager* y añada “Calculate average slope for each big patch”, cierre también el último *Calculate Map* y añada “Eliminate patches with average slope > 0.5” y por último añade el comentario “Save final map” en el *Map* “suitable_for_a_new_town.tif”.

Grabe el modelo como “my_MCE_part1&2&3&4&5&6_complete.xml”. Este es el modelo final.



TAREA

Al examinar el mapa “suitable_for_a_new_town.tif”, notará un gran parche en la región suroeste, la cual sería la mejor opción para un nuevo pueblo, si tomamos su gran extensión como un criterio adicional. ¿Podría añadir al modelo actual, un sub-modelo para elegir esta zona como la más idónea por el criterio de mayor extensión?

TIP: Necesitará re-calcular las áreas de los parches restantes y pasar una tabla al functor *For Each*, el cual permite examinar la tabla. Coloque dos *Mux Value* dentro del *For Each*, uno se encargará del área máxima y el otro mantendrá la clave.

7. Lección 6: Construcción de un modelo de simulación del cambio de uso del suelo y cobertura (Land Use Change and Land Cover – LUCC)

Qué aprenderá?

- Simular el cambio del uso del suelo
- Calcular la matriz de transición
- Calibrar un modelo de cambio del uso del suelo
- Utilizar los pesos de evidencia (weights of evidence)
- Analizar la correlación entre mapas
- Validar el modelo
- Functors:
 - *Determine Weights Of Evidence Ranges (determinar pesos de evidencia)*
 - *Determine Weights Of Evidence Coefficients (determinar coeficientes de pesos de evidencia)*
 - *Calc WOfE Probability Map (calcular mapas de probabilidad de pesos de evidencia)*
 - *Calc Change matrix (calcular matriz de transición)*
 - *Patcher (constructor de nuevos parches)*
 - *Expander (constructor de nuevas expansiones)*

El desarrollo de modelos espacio-temporales, en los que el estado o atributo de una cierta ubicación geográfica, o celda, cambia a través del tiempo como respuesta a una serie de causas o drivers, es un requisito de extrema importancia para el modelamiento ambiental y, por lo tanto, ofrece una gama de posibilidades para la representación de fenómenos dinámicos.

En este contexto, el presente ejercicio explora el uso de Dinamica EGO como una plataforma de simulación de modelos LUCC. La meta es calibrar, ejecutar, y validar un modelo LUCC que simula la deforestación. Necesitará atravesar diez pasos para poder completar el modelo, tal y como se muestra en la Fig. 8. Para facilitar el proceso, cada paso será representado como un modelo independiente. Sin embargo, todos los pasos podrían ser unidos en un sólo modelo.

La base de datos que es utilizada como insumo, representa una región del estado de Rondonia, alrededor del pueblo de Ariquenes, en la Amazonía Brasileña (Fig. 9). Abra los mapas “23267_1997.ers” y “23267_2000.ers”, de la carpeta “\Examples\setup_run_and_validade_a_lucc_model\originals” usando el **Color Palette**, “Amazon”. Estos mapas corresponden a una imagen Landsat (232/67) clasificada por PRODES (INPE, 2008) – Programa Brasileño para el monitoreo de Deforestación – para los años 1997 y 2000.

Dinamica EGO considera al mapa de 1997 como el paisaje inicial y el del 2000 como el paisaje final, tomando en cuenta que un paisaje puede ser entendido como un arreglo bi-dimensional de clases de uso del suelo.

Los mapas del paisaje tiene las siguientes clases; el nulo es representado por 0:

Key	Clases de cobertura
1	Deforestado
2	Bosque
3	No-bosque

TIP: Tenga en mente los números que identifican las clases del mapa, ya que Dinamica EGO no maneja los nombres de las clases explícitamente.

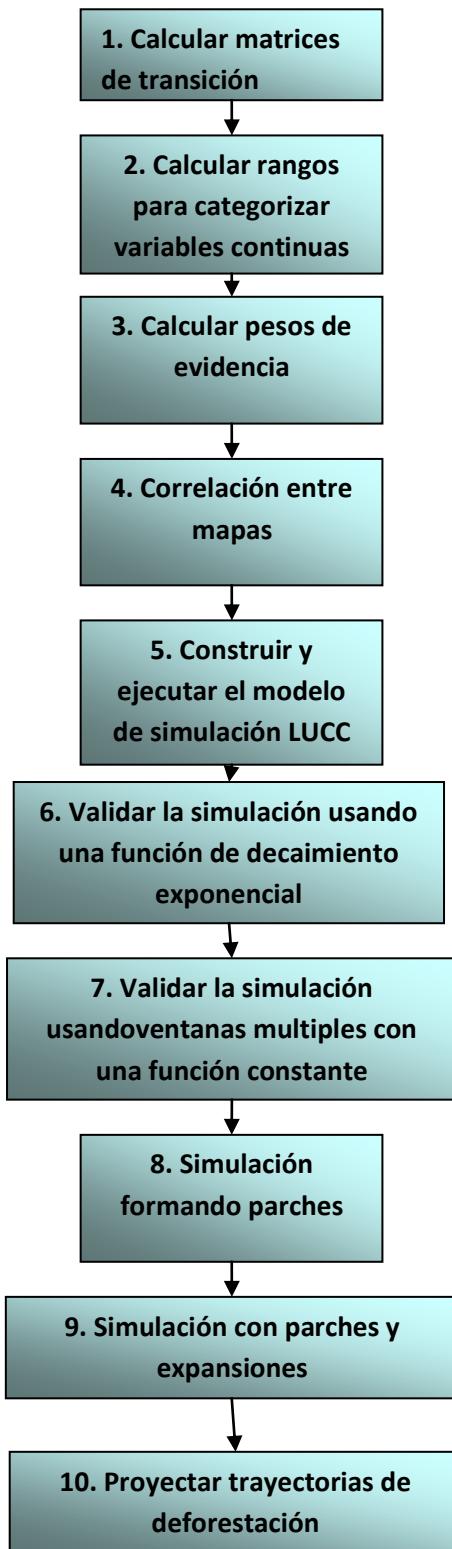


Fig. 8– Diez pasos del modelo de simulación del cambio del uso del suelo de la lección 6.

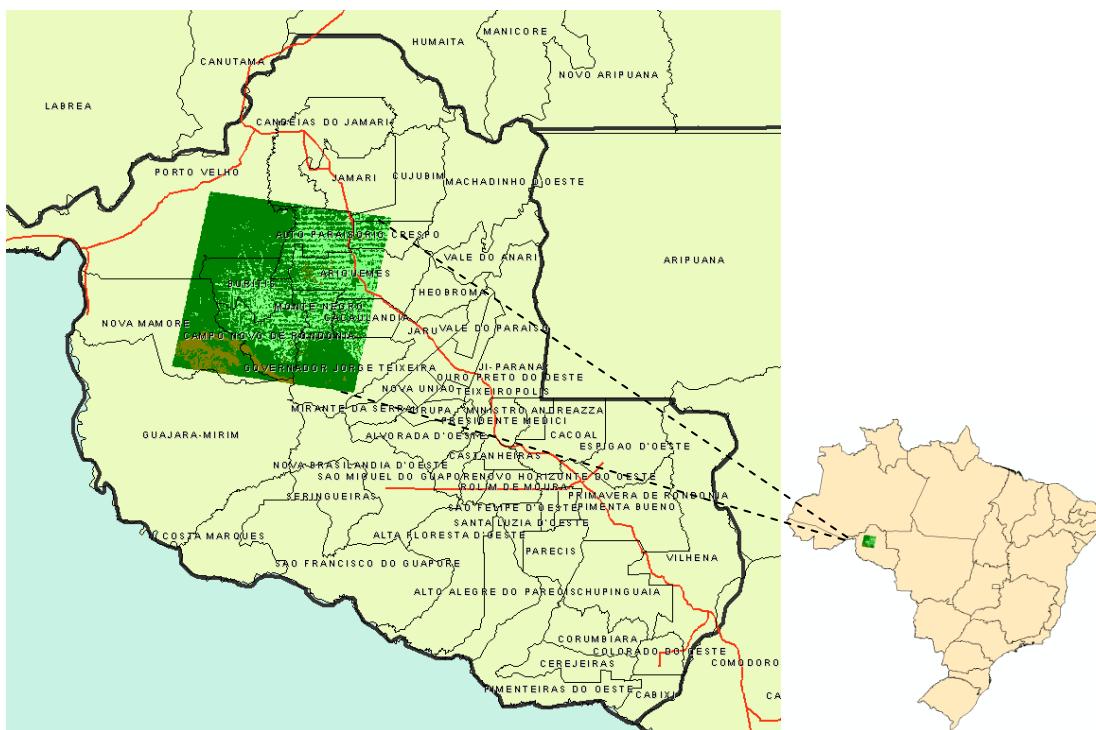


Fig. 9 –El área de estudio dentro del Estado de Rondonia y de Brazil (verde oscuro es bosque;verde claro, área deforestada; y marrón, vegetación de no-bosque.

7.1 Primer paso: Cálculo de lasmatrices de transición

Primero, necesitamos calcular las matrices históricas de transición, en nuestro caso, matrices históricas de deforestación. La matriz de transición describe los cambios de un sistema a través de periodos discretos de tiempo, en los cuales, el valor de cualquier variable (e.g. hectáreas de bosque) en un periodo dado, es la suma de los porcentajesfijos del valor de las variables en el periodo de tiempo previo. La suma de fracciones a lo largo de las columnas de la matriz de transición es igual a uno (eq. 1). La línea diagonal de la matriz de transición no necesita ser especificada, ya que Dinamica EGO no modela el porcentaje de celdas que no cambian, y tampoco aquellas transiciones iguales a cero.

Las tasas de transición pueden ser pasadas al modelo LUCC como un parámetro fijo o como un parámetro que será actualizado por la retroalimentación del modelo.

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ \cdot \\ j \end{bmatrix}_{t=v} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{1.} & P_{1j} \\ P_{21} & P_{22} & P_{2.} & P_{2j} \\ P_{31.} & P_{32} & P_{33} & P_{3j} \\ P_{j1} & P_{j2} & P_{j.} & P_{jj} \end{bmatrix}^v * \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ \cdot \\ j \end{bmatrix}_{t=0} \quad (\text{eq. 1})$$

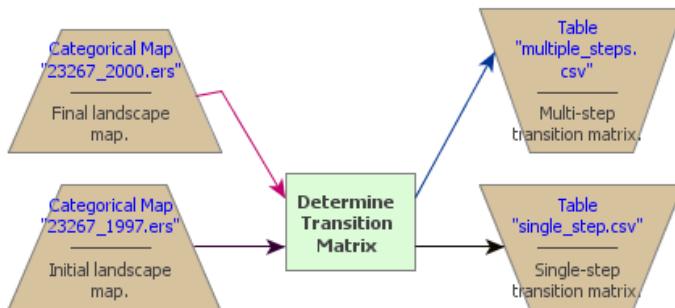
La matriz de un sólo paso (single-step matrix)representa las tasas de transición para un único intervalo de tiempo (intervalo total) entre el estado inicial y final de un paisaje.Por el contrario, la matriz de múltiples pasos (multiple-step matrix) representa las tasas de transición para cada período de tiempo (año, mes, día, etc.) especificado al dividir el intervalode tiempo total por el número de pasos que se desea analizar. Para Dinamica EGO, el intervalo de tiempo puede comprender cualquier espacio de tiempo, ya que la unidad de tiempo es sólo una referencia

externa. La matriz de transición de pasos múltiples, sólo puede ser derivada de una matriz ergódica, *i.e.* una matriz que tiene por Eigen values y Eigen vectors, números reales.

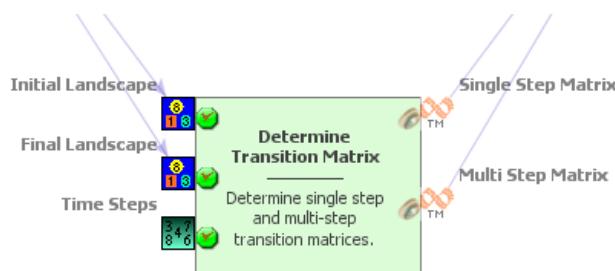
Las tasas de transición determinan la cantidad neta de cambios, es decir, el porcentaje de área que será cambiado a otro estado (a un tipo de uso del suelo o cobertura diferente al original). Por lo tanto, son tasas adimensionales. En cambio, las tasas brutas son especificadas como unidades de área, tales como hectáreas o Km² por unidad de tiempo. En caso que no haya solución para la matriz de transición de pasos múltiples, aun puede ejecutar el modelo en varios intervalos de tiempo, tal y como se definió arriba, calculando una tasa bruta fija por unidad de tiempo (e.g. año), lo cual puede hacerse al dividir el cambio acumulado a lo largo del período total por el número de pasos que componen al período (sin embargo, esto quizás no pueda ser aplicado en modelos de transición más complejos). Dinamica EGO convierte las tasas brutas en tasas netas, dividiendo la extensión total del cambio por la fracción de cada clase de uso del suelo y cobertura antes del cambio, antes de pasarla a los functors de transición: *Patcher* y *Expander*.

Abra el modelo “determine_transition_matrix.xml” desde la carpeta
“\setup_run_and_valide_a_lucc_model\1_transition_matrix_calculation”

Este modelo calcula las matrices single-step y multiple-step.



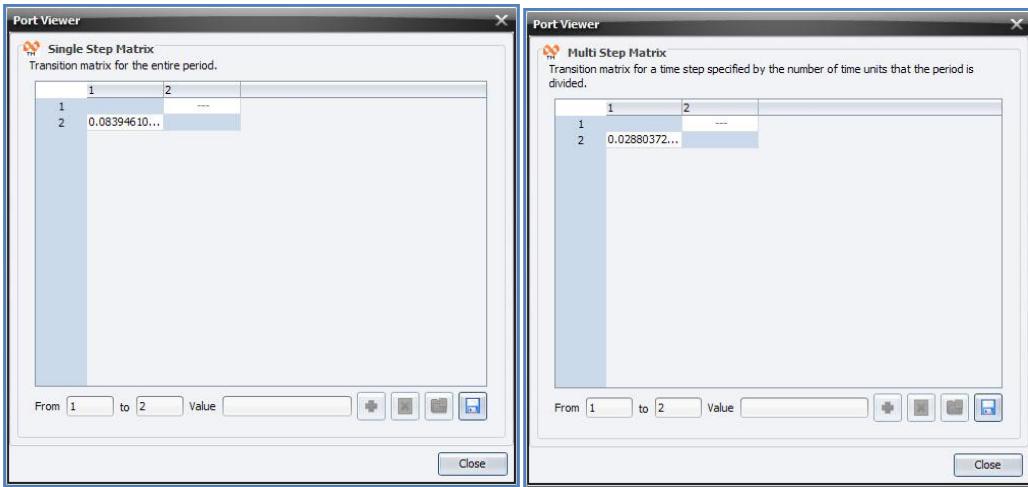
Abra el functor *Determine Transition Matrix* con el Edit Functor Ports. **TIP:**Este functor, junto con otros utilizados para calibrar el modelo, se encuentra en la pestañaCalibration.



Noteque el *Categorical Map "2367_1997.ers"* se conecta al puerto **Initial Landscape** y el *Categorical Map "2367_2000.ers"* al puerto **Final Landscape**. Verifique el número de pasos. En este caso “3”, por lo tanto, usted determinará la matriz multi-step por pasos anuales (2000 – 1997 = 3 años).

Active el **Register viewer** en los puertos de salida del *Determine Transition Matrix* y ejecute el modelo. Abra las matrices resultantes haciendo click con el botón derecho sobre los puertos.

¿Obtuvo estas matrices?



También puede ver los resultados en el Message Log. Sólo necesita retroceder (hacia arriba) la lista de mensajes para encontrarlos. **TIP:** puede copiar los resultados desde la ventana del Message Log y pegarlos como se muestra a continuación:

Matriz de transición Single Step:

De \ a	1	2	3

1	XXXX	--	--
2	0.0839461	XXXX	--
3	--	--	XXXX

Matriz de transición Multi Step:

De \ a	1	2	3

1	XXXX	--	--
2	0.0288037	XXXX	--
3	--	--	XXXX

La única transición que ocurre es de bosque (2) a deforestado (1). Las tasas indican que un porcentaje del bosque está cambiando por unidad de tiempo, la cual es 3 años para la primera matriz y 1 año para la segunda. Por lo tanto, dentro de este período de tiempo, la deforestación está ocurriendo a una tasa neta anual de 2.8%, o dicho de otra manera, el bosque remanente se está reduciendo en 2.8% por año. Tenga en mente que así como en el caso de tasas de interés, las tasas de transición son impuestas una y otra vez sobre el stock, el cual, en este caso, está representado por la extensión del bosque remanente de cada año.

La matriz de transiciones netas es pasada al modelo de simulación y Dinamica EGO analiza el mapa del paisaje (tipo de uso y cobertura) para contar el número de celdas y calcular la tasa

bruta, en términos de cantidad de celdas a ser cambiadas (*i.e.* deforestadas). Si el objetivo fuese definir una tasa bruta constante, deberápasar al modelo, una tasa neta variable, lo cual también es posible gracias a la habilidad de Dinamica EGO para incorporar retroalimentación en la simulación. Vayamos al siguiente paso.

7.2 Segundo paso: Cálculo de rangos para categorizar variables continuas

El método geo-estadístico de pesos de evidencia (Goodacre *et al.* 1993; Bonham-Carter, 1994) se aplica en Dinamica EGO para producir un mapa de probabilidades de transición (Fig. 10), el cual muestra las áreas donde el cambio es más propenso a ocurrir (Soares-Filho *et al.* 2002, 2005).

Los pesos de evidencia se basan en el método Bayesiano, en el cual, el efecto que tiene una variable espacial sobre una transición, es calculado independientemente. Los pesos de evidencia representan la influencia de cada una de las variables en la probabilidad espacial de ocurrencia de una transición $i \Rightarrow j$ y son calculados como se muestra a continuación:

$$O\{D|B\} = \frac{P\{D|B\}}{P\{\overline{D}|B\}} \quad (2)$$

$$\log\{D|B\} = \log\{D\} + W^+ \quad (3)$$

Donde W^+ es el peso de evidencia de ocurrencia del evento D (e.g. deforestación), dado un patrón espacial B (e.g. tipo de bosque inundable). La probabilidad posterior de la transición $i \Rightarrow j$, dado un conjunto de variables espaciales (B, C, D, \dots, N), se expresa en la siguiente ecuación:

$$P\{i \Rightarrow j | B \cap C \cap D \cap \dots \cap N\} = \frac{e^{\sum W_N^+}}{1 + e^{\sum W_N^+}} \quad (4)$$

Donde B, C, D , y N son los valores de las k variables espaciales, evaluadas en la ubicación espacial (x,y) , y representadas por sus pesos W_N^+

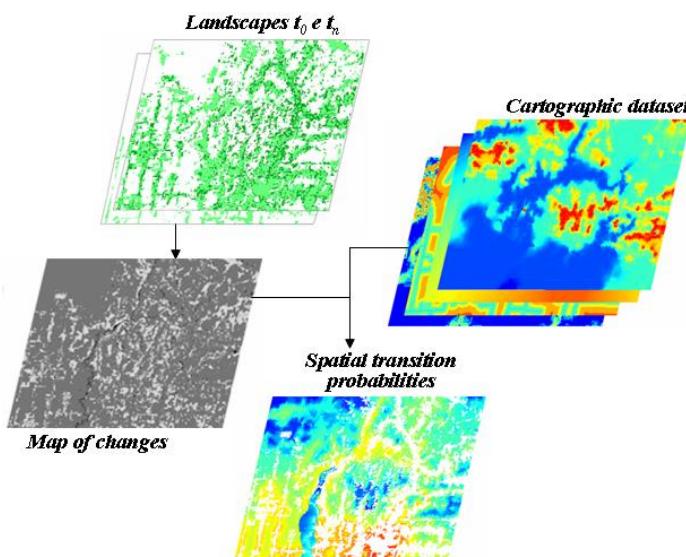


Fig. 10. Cálculo y aplicación de los pesos de evidencia para producir el mapa de probabilidades de transiciones o transition probability map.

Dado que el método de pesos de evidencia sólo es aplicable a variables categóricas, es necesario categorizar aquellas variables continuas (datos cuantitativos, tales como mapas de distancias, altitud, y pendiente). Es fundamental que durante el proceso de categorización, se preserve la estructura de la información inicial.

El método que se presenta, adaptado de Agterberg & Bonham-Carter (1990), calcula rangos de acuerdo con la estructura de los datos, al establecer, primero, un incremento mínimo (increment) – definido como el incremento de la interfase gráfica del mapa (para el caso de mapas de distancias, este incremento mínimo será la resolución de las celdas (e.g. 100 m)) – (Dx) para una variable continua x que es utilizada para construir n buffers incrementales (Nx). Éstos, comprenden intervalos desde $x_{minimum} \leq x_{minimum} + nDx$ (e.g. 0 a 100; 0 a 200;...; 0 a 10,000). Cada n define un umbral que divide al mapa en dos clases (Nx) y (\bar{Nx}), donde Nx representa un buffer, por ejemplo 0 a 100 y \bar{Nx} el resto del mapa (e.g. > 100). An es el número de celdas de un buffer (Nx) y dn es el número de celdas del evento (D) dentro de ese buffer. Las cantidades An y dn se obtienen en una secuencia ordenada de buffers $N(x_{minimum} + nDx)$. Seguidamente, se calculan los W^+ para cada buffer utilizando las ecuaciones 2 a 4.

La secuencia de cantidades An ploteada versus $An * \exp(W^+)$ en un gráfico (Fig 11a). Luego se determinan puntos de quiebre para el gráfico producido, aplicando el algoritmo generador de líneas (oline-generalizing algorithm; Intergraph 1991) que contiene tres parámetros: 1) intervalo mínimo de distancia a lo largo de x , $mindx$, 2) intervalo máximo de distancia a lo largo dx , $maxdx$, y 3) ángulo de tolerancia ft . Para una dx (una distancia entre dos puntos en el eje x) entre $mindx$ y $maxdx$, un nuevo punto de quiebre será colocado cada vez que $dx \geq maxdx$ y/o cada vez que un ángulo entre las rectas v y v' – las dos líneas que unen el punto actual con el último y el último con el que le antecede, respectivamente, excede el ángulo de tolerancia ft . Por lo tanto, el número de rangos decrece en función del ft . Los rangos son finalmente definidos al unir los puntos de quiebre con líneas rectas.

Note que An prácticamente no tiene errores, mientras que dn está sujeto a una cantidad considerable de incertidumbre porque se entiende como la realización de una variable aleatoria. Ya que pequeños An pueden generar valores con “ruido” para el W^+ , Goodacre *et al.* (1993) sugiere que, en vez de calcularlo empleando las ecuaciones 2 a 4, los W^+ deben estimarse para cada rango definido a través de la siguiente expresión:

$$W^+ = \ln \left(\frac{y_{n=k} - y_{n=k-1}}{A_{n=k} - A_{n=k-1}} \right) \quad (5)$$

donde $y_n = An * \exp(W^+)$ y k representa los puntos de quiebre definidos para los n incrementos de Dx (Fig.11).

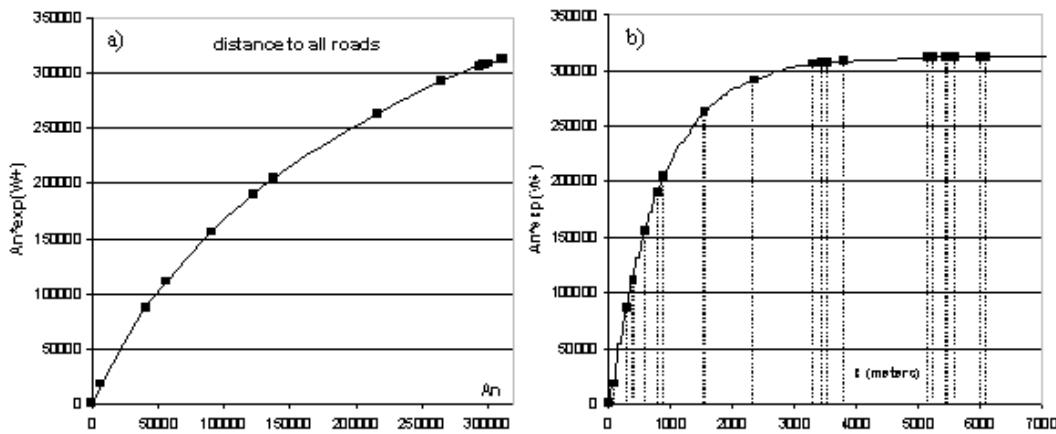
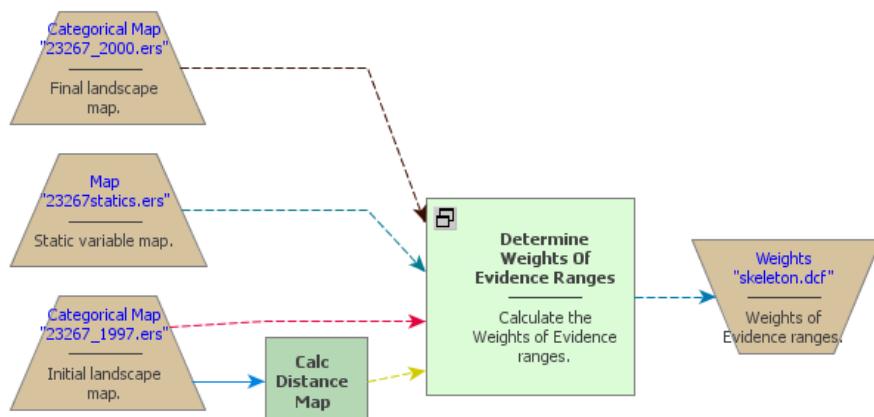


Fig. 11 a) Ploteo de An contra la variable "distance to all roads" (distancia a todas las carreteras).

La mejor curva ajustada puede ser aproximada por una serie de segmentos de línea rectos utilizando el line-generalizing algorithm, como se explicó antes. Esta metodología es usada para definir los puntos de quiebre para esta curva y los intervalos de categorías subsecuentes para una variable continua (Fig 11b).

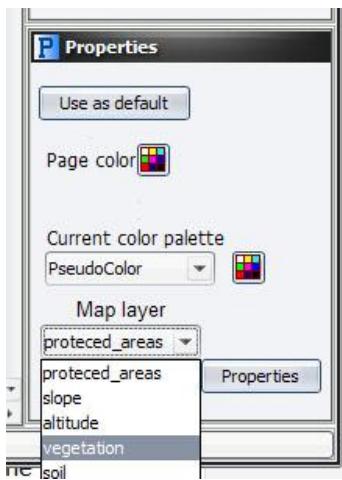
Abra el modelo “determine_weights_of_evidence_ranges.xml” de la carpeta “\setup_run_and_valideade_a_lucc_model\2_weights_of_evidence_ranges_calculation”

Este modelo calcula los rangos para categorizar las variables continuas y obtener de esta forma los pesos de evidencia. El modelo selecciona el número de intervalos y el tamaño de sus buffers buscando conservar la estructura original de los datos de la variable continua. Ingrese a Help para obtener una mayor descripción del método. El resultado es usado como insumo para el cálculo de los coeficientes de los pesos de evidencia.

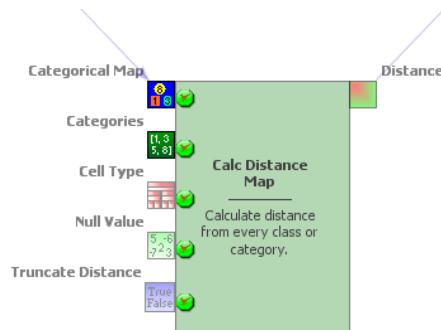


Adicionalmente a los mapas del paisaje inicial y final, este modelo recibe un cubo raster compuesto por una serie de mapas estáticos, e.g. vegetación, suelo, altitud (son denominados estáticos porque sus atributos no cambiarán a lo largo de las iteraciones del modelo). Un cubo raster comprende un conjunto de coberturas co-registradas.

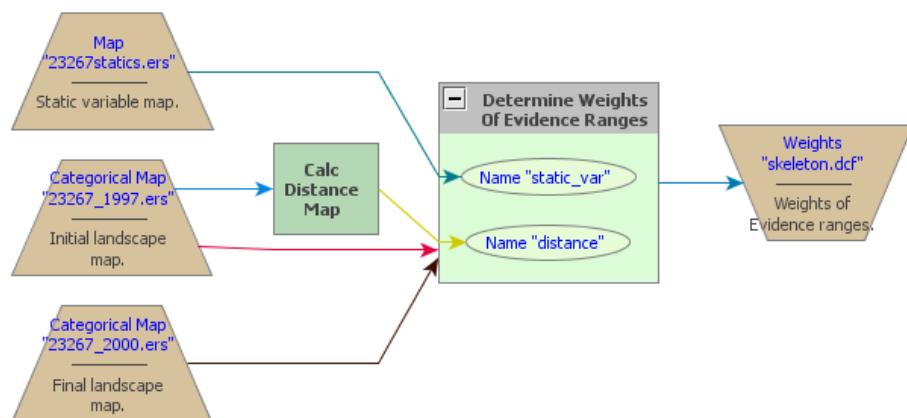
Desde el Map Viewer, abra el archivo “23267static.ers” de la carpeta “\setup_run_and_valideade_a_lucc_model\originals”. Una opción para seleccionar la cobertura aparecerá en la parte inferior derecha del Map Viewer. Cambie la cobertura para examinar cada mapa. **TIP:** puede construir un cubo raster acoplando una serie de imágenes raster co-registradas utilizando el functor *Create Cube Mapy* puede extraer una cobertura del cubo usando el functor *Extract Map Layer*. Los cubos raster son sólo aceptados en formato ER.



Dinamica EGO puede incorporar coberturas dinámicas en la simulación, llamadas de esta forma dado que sus atributos varían a lo largo de las iteraciones del modelo. Para este modelo se incluirá la variable “distance to previously deforested areas” (distancia a las áreas ya deforestadas) como una cobertura dinámica. Para este propósito, el modelo emplea el functor *Calc Distance Map*. Ábralo con el Edit Functor Ports.



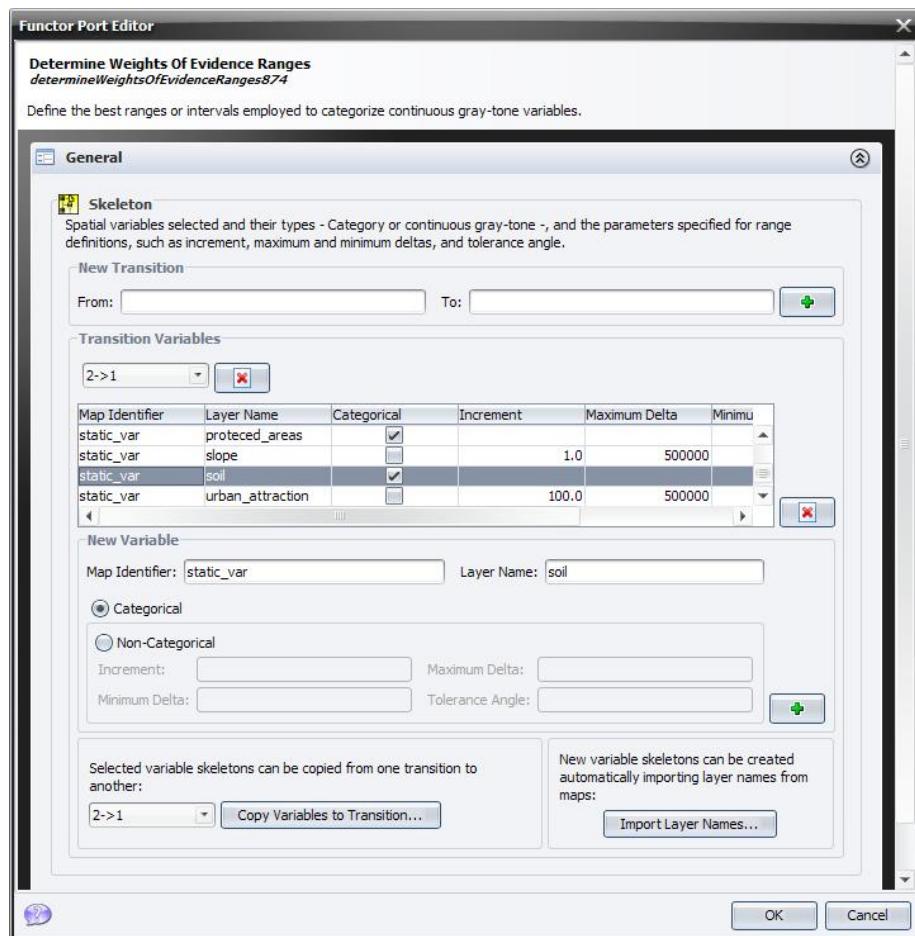
Este functor recibe como insumo un mapa categórico, en este caso el mapa del paisaje. Haga click ahora en el puerto **Categories** (categorías). El functor genera un mapa de distancias (la distancia más cercana) a las celdas pertenecientes a cada categoría de la clase del mapa definida por el usuario. En este caso la clase “1”, la que representa la deforestación. De esta forma, el modelo toma en cuenta la proximidad de las áreas previamente deforestadas para determinar la probabilidad de deforestación. Ahora abra el contenedor *Determine Weights Of Evidence Ranges* haciendo click en el ícono de la esquina superior izquierda.



En vez de *Number Map*, ahora utilizaremos *Name Map*, dentro de este contenedor. Este functor es aplicado a contenedores que necesitan un nombre o alias para identificar los mapas que recibe. *Name Maps* se encuentran en la pestaña *Map Algebra Supplementary*. El nombre puede ser cualquiera, pero debe mantenerlo igual cuando defina los parámetros internos del contenedor, tal como se muestra a continuación. Ejemplos de contenedores que necesitan *Name Map* son: *Determine Weights Of Evidence Ranges*; *Determine Weights Of Evidence Coefficients*; y *Calc WOfE Probability Map*.

Hay dos functors *Name Map* dentro de este contenedor, uno para el mapa "23267statitcs.ers" y otro para el mapa de distancias, resultado del *Calc Distance Map*.

Abra el *Determine Weights Of Evidence Ranges* con el *Edit Functor*. Agrandé la ventana como se muestra a continuación:



Note que el *Name Map* distance tiene como Layer Name "distance_to_1" y static_var tiene una serie de coberturas, cada una representando una variable espacial.

TIP: De los tres formatos aceptados, sólo ER Mapper reconoce los nombres de las coberturas. Esto es un formato BIL (Band Interleaved) con un encabezado de archivo ASCII independiente.

El cubo raster contiene las siguientes coberturas: altitude (altitud), d_all_roads (distancia a todas las carreteras), d_major_rivers (a los ríos principales), d_paved_roads (a carreteras pavimentadas), d_settlement (a centros poblados), d_trans_rivers (ríos navegables), protected_areas (áreas protegidas), slope (pendiente), urban_attraction (atracción urbana; un mapa de interacción potencial), vegetation (vegetación).

TIP: Los nombres de las coberturas deben ser los mismos que los del título del archivo. Dinamica convierte el formato Geotiff a ER Mapper, sólo necesita conectar *Load Map* a *Save Map*.

Protected areas, vegetation, ysoilson variables categóricas, por lo que debe marcarlas como tales. El resto de variables deben ser categorizadas. Los parámetros de la categorización son el incremento – la unidad mínima del mapa con la que se construirán los buffers, e.g. metro o grado – los deltas mínimo y máximo que representan los intervalos en el eje X de los gráficos en la Fig. 11, y el ángulo de tolerancia, el cual mide el ángulo de desviación de una línea recta. Por defecto, aparecen unos valores sugeridos. El resultado de este functor será el archivo del armazón de los pesos de evidencia (*Weights of Evidence skeleton*), que muestra los rangos de categorización, pero con todos los pesos iguales a cero todavía. Ejecute el modelo y abra el archivo producido con un editor de texto. **TIP:** si un modelo tiene más de una transición, es posible copiar y pegar el rango de parámetros en las ventanas de las otras transiciones. Dinamica EGO permite definir diferentes rangos para cada transición.

```
:static_var/soil 5:9 9:10 10:11 11:13 13:14
2,1 0 0 0 0 0
:static_var/urban_attraction 0:100 100:200 200:1900
2,1 0 0 0
:static_var/vegetation 4:5 5:15 15:17 17:18
2,1 0 0 0 0
```

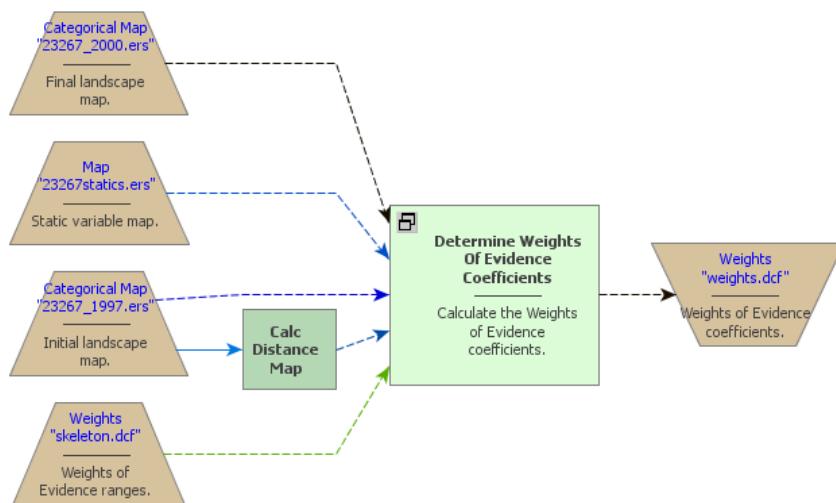
Ejemplo del armazón de los pesos de evidencia

La primera línea contiene los rangos, y la segunda, la transición y sus correspondientes coeficientes de pesos de evidencia, que aun son iguales a cero.

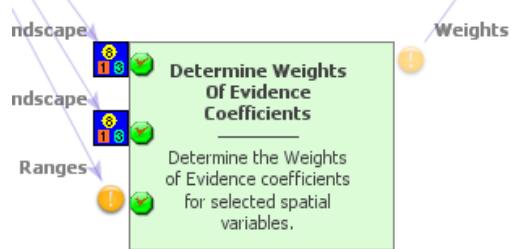
A pesar que, a primera vista, los fundamentos matemáticos de este paso pueden ser algo difíciles de entender, proveen una herramienta sencilla para manejar modelos de estados y transiciones múltiples. Vayamos al cálculo de los coeficientes.

7.3 Tercer paso: Cálculo de los coeficientes de pesos de evidencia

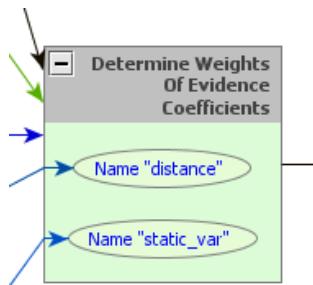
Cargue el modelo “determine_weights_of_evidence_coefficients.xml” de la carpeta *setup_run_and_valideade_a_lucc_model\3_weights_of_evidence_coefficient_calculation*.



Usaremos el mismo grupo de datos que utilizamos en el paso anterior, más el WEOF skeleton, el cual introduciremos al modelo a través del functor *Load Weights* ubicado en la pestaña input/output. No hay ningún parámetro que definir en el functor *Determine Weights Of Evidence Coefficients*, sólo necesita definir las conexiones de la siguiente manera:



Y también las mapas insumos:



TIP: Use siempre los mismos nombres para los *Name Map*.

Maximice la ventana del Message Log y ejecute el modelo. Analicemos el resultado para la variable "distance_to_1".

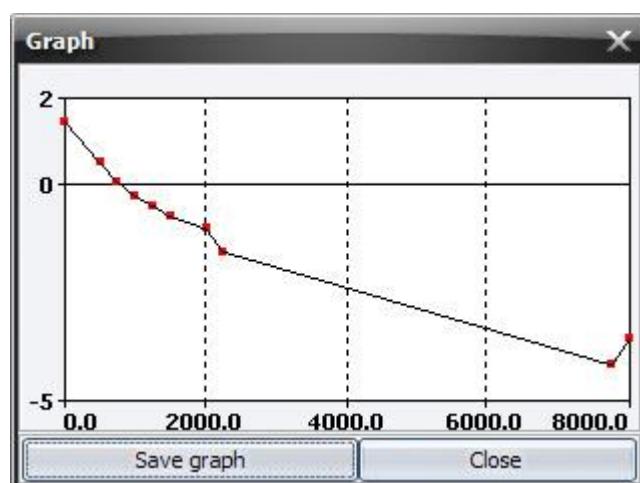
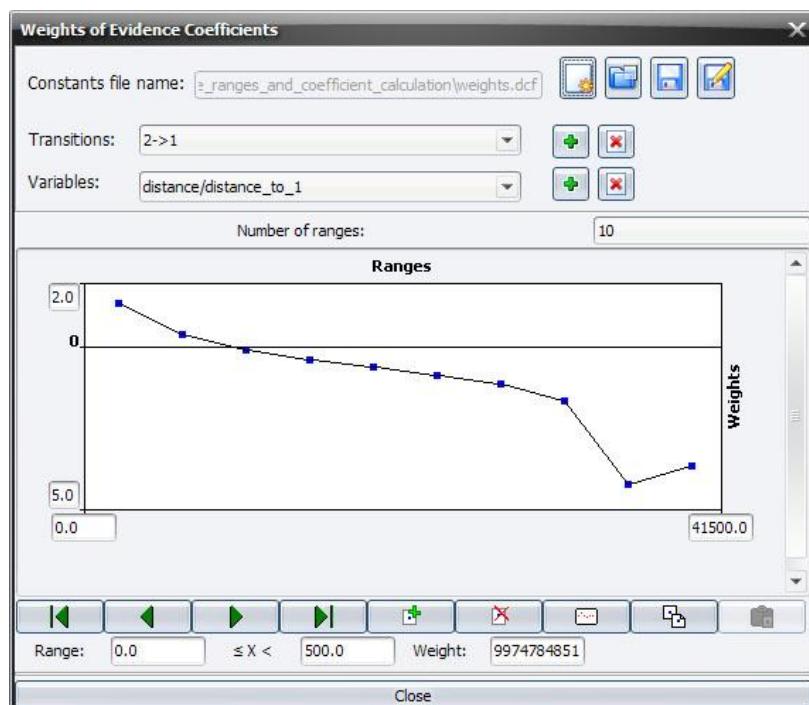
Transition: 2->1 Variable: distance/distance_to_1						
Range	Possible Transitions	Executed Transitions	Weight Coefficient	Contrast	Significant?	
0 <= v < 500	61008	16874	1.42844	2.20576	yes	
500 <= v < 750	40680	5181	0.465394	0.547235	yes	
750 <= v < 1000	22527	1906	0.00859705	0.00922727	no	
1000 <= v < 1250	14860	956	-0.287274	-0.299202	yes	
1250 <= v < 1500	13224	682	-0.521908	-0.5393	yes	
1500 <= v < 2000	14052	566	-0.780913	-0.805828	yes	
2000 <= v < 2250	5719	175	-1.06579	-1.07792	yes	
2250 <= v < 7750	66722	1220	-1.59333	-1.7918	yes	
7750 <= v < 8000	2129	3	-4.17349	-4.18041	yes	
8000 <= v < 41500	90089	224	-3.60452	-3.94792	yes	
		331010	27787			

La primera columna muestra los rangos; la segunda, el número de celdas de cada buffer; la tercera, el número de transiciones (celdas deforestadas) que ocurrieron dentro de cada buffer; la cuarta, los coeficientes obtenidos; la quinta, el contraste; y la última, el resultado del test de significancia estadística. Vaya a Help para mayores detalles. **TIP:** Help contiene una descripción detallada de más algoritmos, como aquellos utilizados en la calibración y validación del modelo.

Note que los primeros rangos presentan una relación positiva, favoreciendo la deforestación, especialmente el primero, en cambio, los rangos finales presentan valores negativos, por lo que repelen la deforestación. Los rangos intermedios presentan valores cercanos a cero, lo que significa que éstos no tienen ningún efecto sobre la deforestación.

Por lo tanto, el contraste mide el efecto de asociación o repulsión de una variable sobre el cambio: valores cercanos a cero tienen ningún efecto, a mayores valores positivos, mayor será la asociación positiva, y, por el contrario, a mayores valores negativos, mayor será el efecto repelente.

Ahora, abra el editor gráfico de los Weights of Evidence dentro del funtor *Save Weights* (haga click sobre el ojo).



Es posible editar gráficamente los coeficientes de pesos de evidencia y también obtener una vista de una función continua de éstos, haciendo click en el botón bird view (tercero de la derecha). Note como la probabilidad de deforestación varía en función de la distancia a las áreas ya deforestadas.

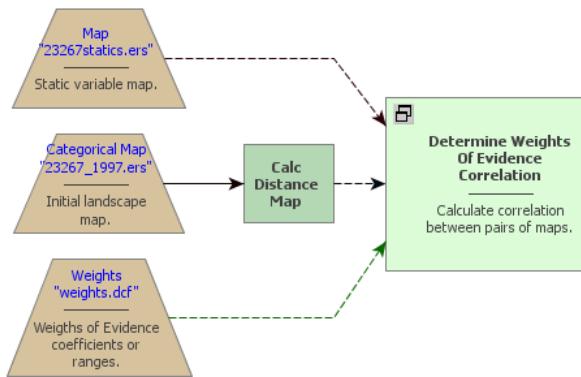
7.4 Cuarto paso: Análisis de correlación entre mapas

El único supuesto del método de pesos de evidencia es que los mapas a ser utilizados como insumos (*i.e.* las coberturas espaciales) sean espacialmente independientes. Un conjunto de medidas pueden ser aplicadas para determinar la validez de este supuesto, tales como el test

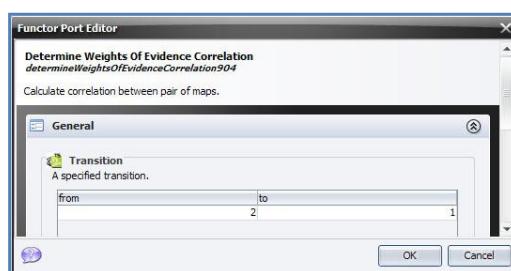
de Cramer y el test de Información de Incertidumbre-Conjunta (o Joint-Uncertainty Information) (Bonham-Carter, 1994). Como resultado, las variables correlacionados deben ser eliminadas o combinadas en una nueva, para incluirlas en el modelo.

Cargue el modelo “weights_of_evidence_correlation.xml” de la carpeta setup_run_and_validade_a_lucc_model\4_weights_of_evidence_correlation.

El modelo3_and_2_weights_of_evidence_ranges_and_coefficient_calculation corresponde a los pasos 2 y 3 unidos en uno sólo.



Este modelo realiza pruebas pareadas para mapas categóricos con el fin de comprobar el supuesto de independencia. Los métodos empleados son *Chi^2*, *Crammers Contingency (Contingencia)*, *Entropy (Entropía)* y *Uncertainty Joint Information* (Bonham-Carter 1994). Además de los puertos a ser conectados, el único parámetro que debe ser definido en *Determine Weights of Evidence Correlations* es la transición:



Antes de ejecutar el modelo, maximice la ventana del Message Log. Esta es una parte del mensaje que obtendrá:

First Variable	Second	Cramer			Entropy	
		Chi^2	Crammer*	Contingency	Joint	Joint Information
distance/distance_to_1	static_var/altitude	307131	0.236164	0.578103	2.74436	0.187539
distance/distance_to_1	static_var/d_all_roads	415843	0.370451	0.637919	2.46035	0.266327
distance/distance_to_1	static_var/d_major_rivers	115816	0.194568	0.398945	2.88692	0.0652184
distance/distance_to_1	static_var/d_paved_roads	331553	0.245373	0.592822	3.186	0.179856
distance/distance_to_1	static_var/d_settlement	154589	0.290203	0.449104	2.26246	0.0906741
distance/distance_to_1	static_var/d_trans_rivers	111301	0.190738	0.392312	2.9126	0.0622871
distance/distance_to_1	static_var/protected_areas	443365	0.425621	0.648197	2.12443	0.313912
distance/distance_to_1	static_var/slope	213313	0.156816	0.508435	2.82553	0.121546
distance/distance_to_1	static_var/soil	252705	0.321329	0.540639	2.71575	0.155706
distance/distance_to_1	static_var/urban_attraction	7616.25	0.0557844	0.110881	1.63899	0.0110797
distance/distance_to_1	static_var/vegetation	95351.7	0.227917	0.367188	2.03765	0.06158
static_var/altitude	static_var/d_all_roads	255518	0.289	0.542757	2.55059	0.178393

TIP: es útil copiar el mensaje, pegarlo en un editor de texto, y luego exportarlo a una hoja de cálculo. En ésta, usted podrá establecer una tabla de dos entradas, mostrando todas las parejas de variables y sus coeficientes de correlación.

Al buscar las variables correlacionadas, el siguiente par de variables llama nuestra atención:

Chi^2	Crammer*	Contingency	Entropy	Uncertainty Joint I.
d_major_rivers -> d_trans_rivers	2.80782e+06	0.958014	0.906132	1.62982 0.885453

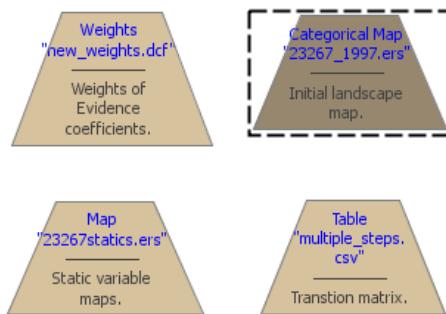
A pesar que no existe un acuerdo sobre el valor extremo que debe ser utilizado para excluir una variable, todas las pruebas presentan una alta correlación para este par de variables. Por lo tanto debe excluir una de estas variables. Eliminemos d_major_river. Borre la variable del archivo de Weights of Evidence utilizando el editor gráfico. Ábralo en el *Load Weights* utilizando el ícono del ojo.

Ahora guarde los coeficientes WEOF como “new_weights.dcf” en la carpeta \setup_run_and_validade_a_lucc_model\4_weights_of_evidence_correlation

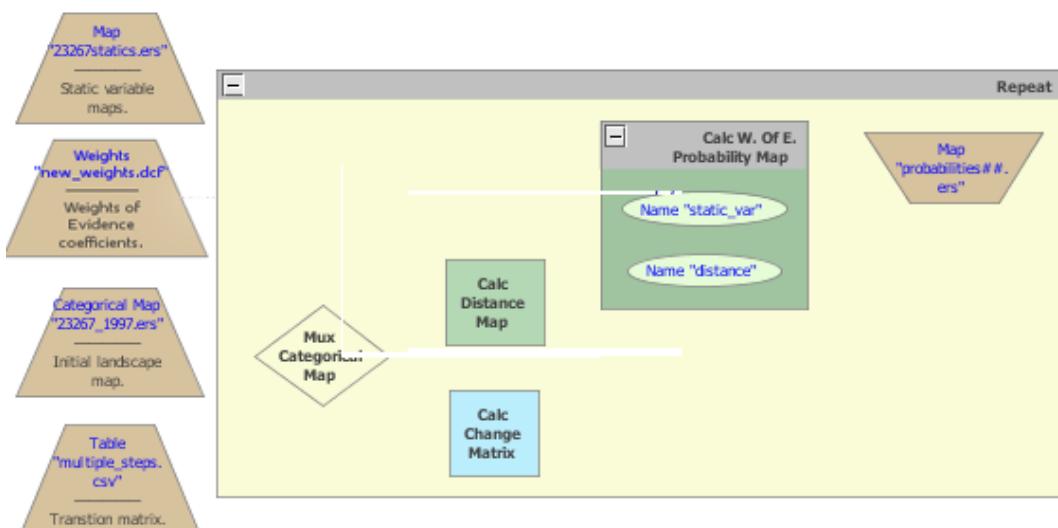
Excelente, ha terminado con el proceso de calibración, ahora puede empezar a construir el modelo de simulación. Vayamos al próximo paso.

7.5 Quinto paso: Construcción y ejecución del modelo de simulación LUCC

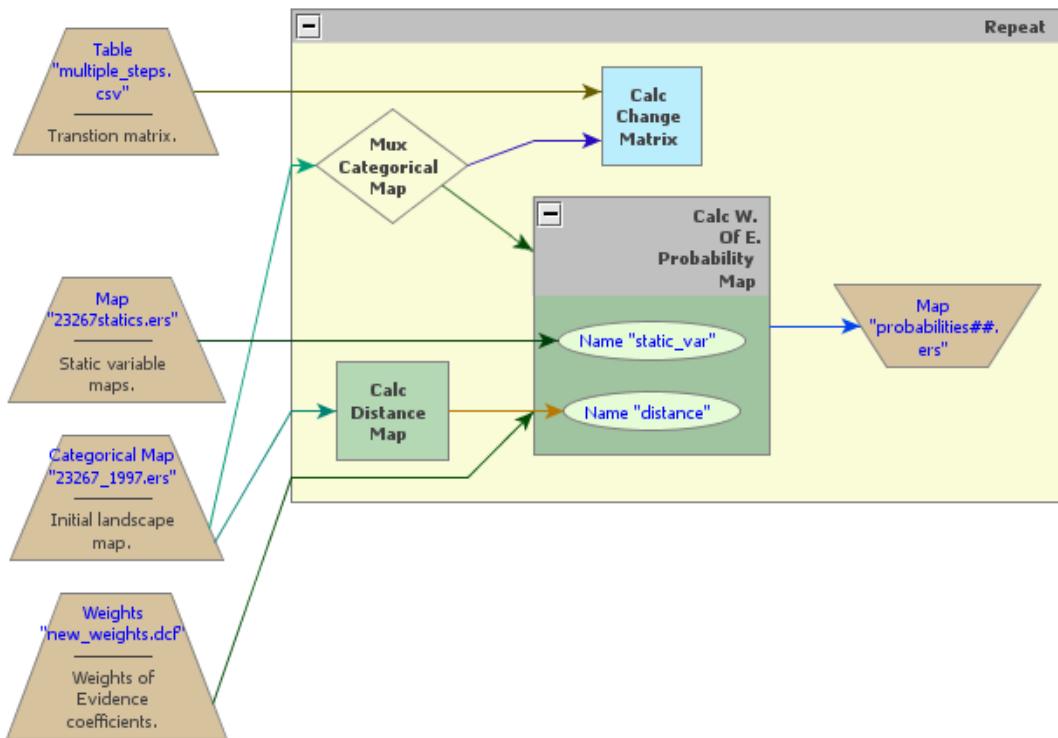
Empecemos a construir el modelo de deforestación cargando los insumos. Necesitará un *Load Categorical Map* para cargar el paisaje inicial: “/original/23267_1997.ers”; *Load Map* para el cubo raster: “/originals/23267statics.ers”; *Load Weights* para el archivo con los pesos de evidencia: “new_weights.dcf”; y *Load Lookup Table* para la matriz de transición multi-step: “multiple_steps.csv” (ejecutará el modelo en pasos equivalentes a un año). Añada los siguientes comentarios a cada functor:



Ahora arrastre un *Repeat*, y coloque en su interior un *Calc Distance Map*, un *Mux Categorical Map*, de la pestaña Control, un *Calc Weights of Evidence Probability Map* y un *Save Map*. También coloque dos *Name Map* dentro del *Calc Weights of Evidence Probability Map*. Nómbrelas con los mismos alias utilizados en los pasos 2 y 3. Abra el *Save Map* y escriba “probabilities.ers” en la carpeta \5_run_lucc. Deje la opción **Suffix = “2”**.

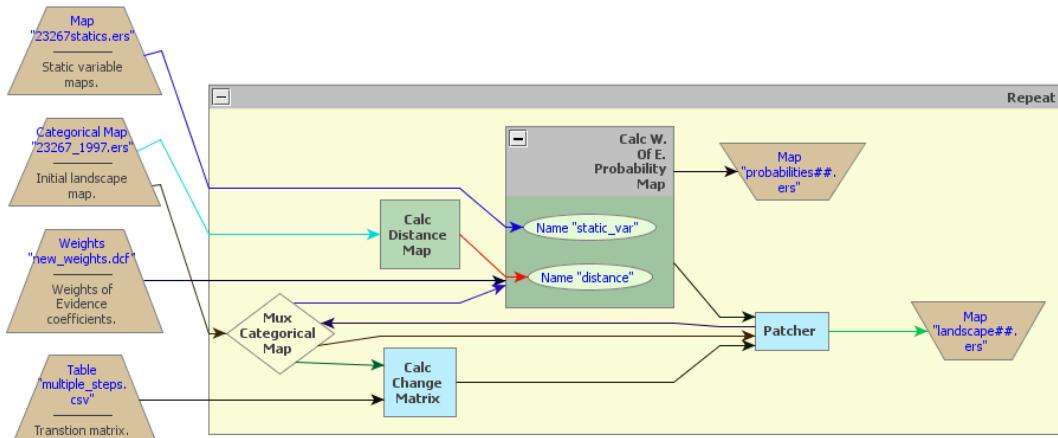


Conectemos los functors: primero, el *Categorical Map* "23267_1997.ers" con el puerto **initial** del *Mux Categorical Map*, y su puerto de salida **Map** con *Calc Distance Map*, *Calc Change Matrix*, y *Calc W. Of E. Probability Map*. Conecte la *Table* "multiple_steps.csv" con *Calc Change Matrix*; el *Map* "23267statics.ers" con *Name* "static_var"; el producto de *Calc Distance Map* con *Name* "distance"; *Weights* "new_weights.dcf" con *Calc W. Of E. Probability Map*; y el puerto de salida de éste último con *Map* "probabilities##.ers" (Note que el sufijo ## recibirá el paso de la iteración del modelo).



Ahora coloque dos functors adicionales, *Patcher*, de la pestaña *Simulation*, y otro *Save Map*. Nómbrélo "Landscape.ers" y deje el "2" en **Suffix**. Conecte el puerto de salida del *Mux Categorical Map* con el puerto **Landscape** del *Patcher*, el producto de *Calc W. Of E. Probability Map* con el puerto **Probabilities** del *Patcher*, y el output de *Calc Change Matrix* con el puerto **Changes** del *Patcher*.

Para cerrar el loop necesita conectar el puerto de salida **Changed Landscape** del *Patcher* con el puerto **Feedback** del *Mux Categorical Map* y con el *Map* "Landscape##.ers" para guardar los mapas que se producirán en cada iteración del modelo. El modelo debe verse así:



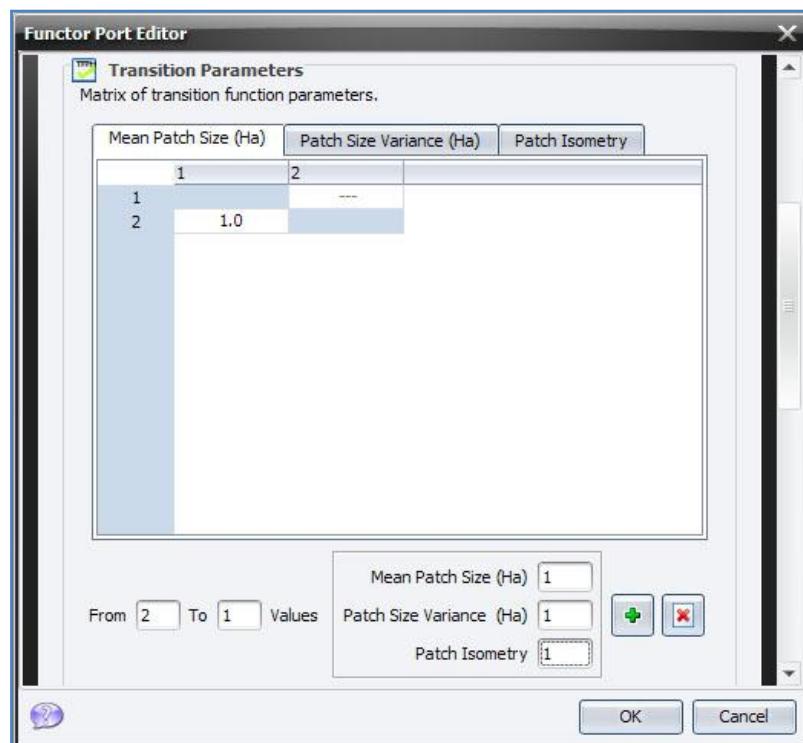
El functor *Mux Categorical Mapper* permite actualizar dinámicamente el mapa del paisaje utilizado como insumo. Al inicio de la simulación, recibe al *Categorical Map* "23267_1997.ers" en su puerto **Initialy** de allí en adelante, recibirá en su puerto **Feedback** cada uno de los paisajes producidos en cada iteración (desde el *Patcher*).

El functor *Calc W. OF. E. Probability Map* calcula un mapa de probabilidades de transición (de deforestación en nuestro caso) para cada una de las transiciones especificadas anteriormente, al sumar los pesos de evidencia mediante la ecuación (4).

A su vez, el *Calc Change Matrix* recibe la matriz de transición, compuesta por tasas netas, y la usa para calcular tasas brutas, en términos de la cantidad de celdas que serán deforestadas al multiplicar las tasas de transición por el número de celdas disponibles para un cambio específico (e.g. de bosque a deforestado).

Dinamica EGO usa como regla Autómata Celular Local una herramienta de transición compuesta por dos funciones de transición complementarias, el *Expander* y el *Patcher*, especialmente diseñados para reproducir los patrones espaciales de cambio (Ambos están en la pestaña *Simulation*). El primer proceso está dedicado sólo a la expansión o reducción de parches de una clase ya existentes, mientras que el segundo proceso está diseñado para generar o formar nuevos parches a través de un mecanismo "semilla". El *Patcher* busca las celdas alrededor de una ubicación elegida para ejecutar un cambio a la misma clase. Esto se logra, primero, al elegir la celda núcleo del nuevo parche, y luego, al seleccionar un número específico de celdas alrededor de este núcleo, en función de sus probabilidades P_{ij} de transición.

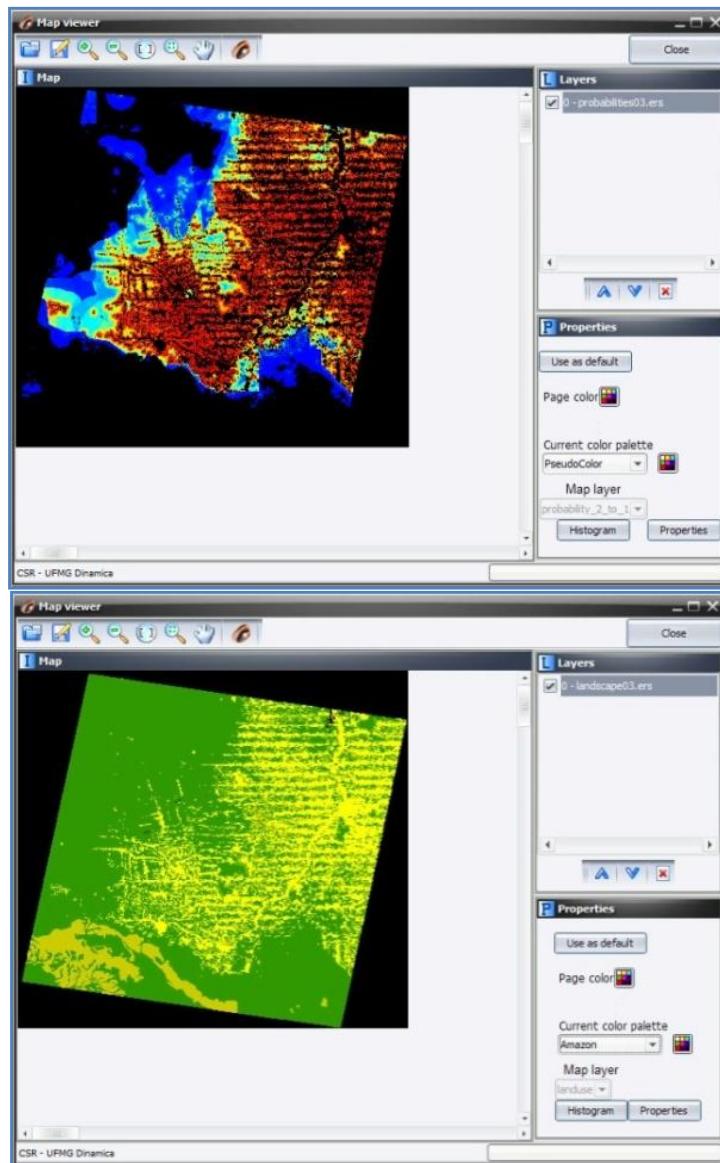
Al variar los parámetros, estas funciones permiten la formación de parches con distintos tamaños y formas. El *Patch Isometry* varía de 0 a 2. Los parches asumen una forma más isométrica (circular) cuanto mayor es este número. Los tamaños de los nuevos parches son determinados de acuerdo a una probabilidad de distribución log-normal. Por lo tanto, es necesario indicar los parámetros de esta función, representados por la media y varianza del tamaño de los parches a ser formados. Abra este functor con el Edit Functor e ingrese los siguientes parámetros: (no cambie los otros)



Ya que el mapa utilizado como insumo tiene una resolución aproximada de 250 metros, al definir los parámetros de **Mean Patch**(media) y **Patch Size Variance**(varianza) como “1” no se permitirá la formación de nuevos parches.

Ahora definamos los demás parámetros de los demás functors. Abra el *Calc Distance Map* y escriba “1”. Recuerde que se necesita “distance_to_1” (áreas ya deforestadas). Abra *Calc W. Of E. Probability Map* y defina la transición “2 a 1”, la cual representa la deforestación. Finalmente, abra el *Repeat* ingrese el **Number of Iterations**(número de iteraciones) “3”, ya que el modelo comprende tres iteraciones que representan tres años (1997-2000).

Finalmente, verifique el modelo y ejecútelo. Revise el mensaje reportado y, con el Map Viewer, cargue los mapas “probabilities3.ers” usando “PseudoColor” y “landscape3.ers” usando “Amazon” **Color Palette**. **TIP:** Cuando se coloca el *Save Map* dentro del *Repeat*, se guardarán tantos mapas como iteraciones, si desea guardar sólo el mapa del paisaje final, arrástrelo fuera del *Repeat*.



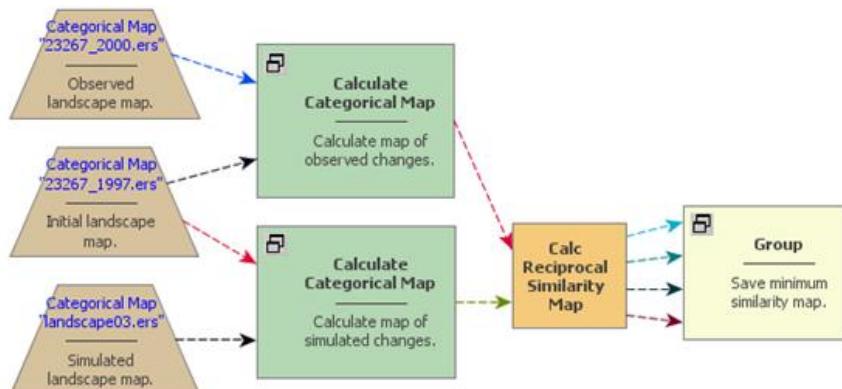
Observe las áreas con altas probabilidades de deforestación y compare el paisaje simulado “landscape3.ers” con el paisaje final “23267_2000.ers”. ¿Se ven parecidos? Con el fin de realizar una comparación cuantitativa, vayamos al siguiente paso.

7.6 Sexto paso: Validación de la simulación mediante una función exponencial de decaimiento (exponential decay function)

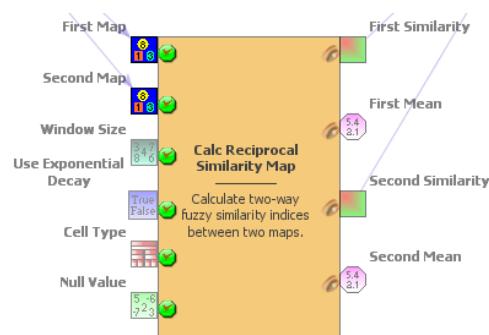
Los modelos espaciales requieren de una comparación dentro de un contexto de vecindad, porque incluso los mapas que no concuerdan exactamente entre celda y celda, podrían presentar patrones espaciales similares e igualmente, similitud espacial dentro de una cierta vecindad de celdas. Para tomar en cuenta este aspecto se han desarrollado varios métodos de comparación basados en el concepto de vecindad. Por ejemplo, Costanza (1989) introdujo el procedimiento de ajuste de resoluciones múltiples (o multiple resolution fitting procedure) que compara el ajuste de un mapa dentro de tamaños de ventana crecientes. Pontius (2002) presentó un método similar al de Costanza (1989), pero que diferenciaba errores de ubicación y cantidad. Power et al. (2001) provee un método de comparación basado en una comparación jerárquica de patrones difusos (ohierarchical fuzzy pattern matching). A su vez, Hagen (2003) desarrolló nuevas mediciones, incluyendo la Kfuzzy, considerada equivalente al estadístico de Kappa y a la similitud fuzzy, la que considera la aproximación a una ubicación y categoría dentro de una vecindad de celdas.

El método que aplicamos aquí es una modificación del anterior, y lo denominamos *Calc Reciprocal Similarity*. Este método emplea una función exponencial de decaimiento en la que se determina una distribución del peso de las celdas de una determinada ventana, en función de su distancia a la celda central. (Vea el esquema en la Fig.12 y luego vaya a Help para mayores detalles sobre el método).

Cargue el modelo “determine-similarity-of-differences.xml” desde la carpeta \6_validate_using_exponential_decay_function.



Como insumos, el modelo recibe los paisajes inicial y final, y el paisaje final simulado. Note que hay dos *Calculate Categorical Map* antes del *Calc Reciprocal Similarity Map*. Dado que los mapas simulados heredan los patrones espaciales del paisaje inicial, es necesario eliminar esta característica. Para lograr esto, el modelo sólo evalúa el ajuste espacial entre mapas de cambios y no entre los mapas completos.



Abra el *Calculate Categorical Map*, encontrará la siguiente ecuación:

if ($i_1 = i_2$) then null else i_2

Por lo tanto, el mapa resultante sólo muestra las celdas que han cambiado (*i.e.* la nueva deforestación). *Calc Reciprocal Similarity Map* calcula una similitud en dos direcciones, del primer mapa al segundo, y del segundo al primero. Se recomienda elegir siempre el valor de similitud menor ya que al comparar mapas aleatorios en sólo una dirección, éstos tienden a producir un ajuste alto, porque dispersan los cambios a través de todo el mapa. Esta prueba emplea una función exponencial de decaimiento la cual es truncada fuera de una ventana de 11x11 celdas.

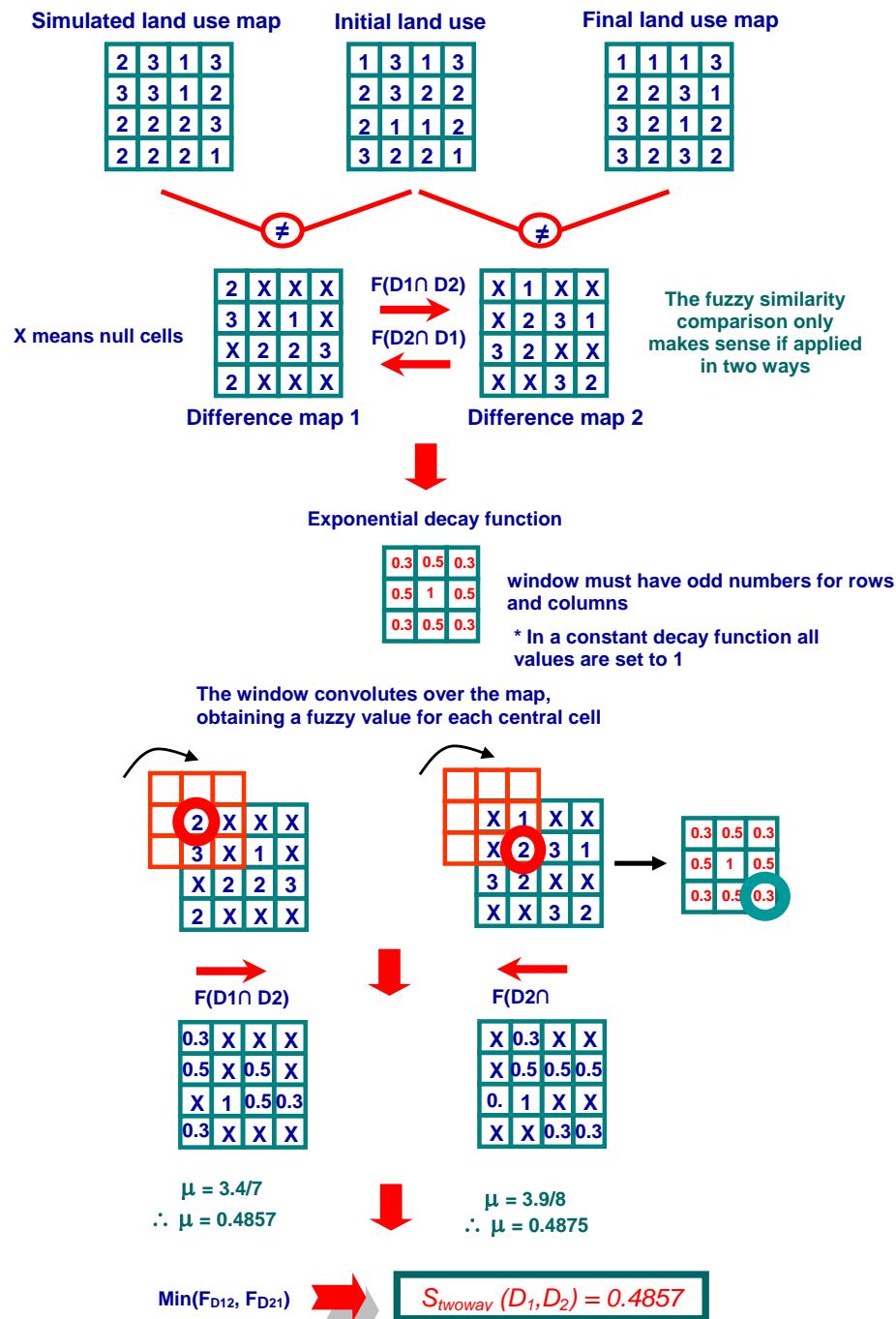


Fig. 12 – La comparación Fuzzy utiliza un mapa de diferencias y una función de decaimiento exponencial. El mismo proceso se aplica para la función de decaimiento constante, en la que todos los pesos de la ventana son iguales a 1.

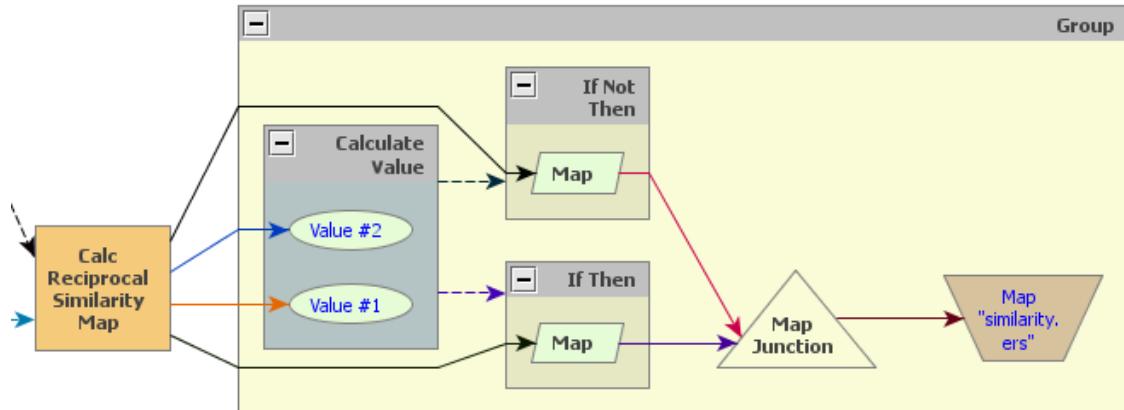


Abra el *Calc Reciprocal Similarity Map* con el Port editor:

El functor recibe dos mapas, el primero y el segundo, y produce dos mapas de similitud, más dos valores de similitud: **First Meany Second Mean**. Ahora ábralo con el Edit Functor.

Defina el parámetro **Window Size** active el **Use Exponential Decay**.

Abra el Group "Save minimum similarity map" (guardar el valor de similitud mínimo).

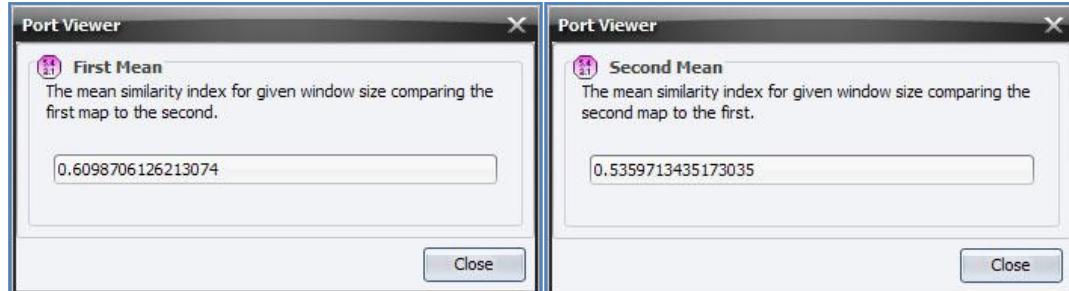


Este conjunto de functors permite elegir y guardar el mapa de menor similitud. Para hacer esto, hemos introducido tres functors. *If Then*, *If Not Then* y *Join Map* – disponibles en la pestaña Control. Los dos primeros son contenedores que reciben una señal binaria (0 niega la condición y cualquier número mayor a 0 la afirma). El *Calculate Value* que les precede, examina los dos valores producidos por *Calc Reciprocal Similarity Map*, **First Meany Second Mean**, pasando un 0 o 1 dependiendo de cuál es mayor. *If Then* contiene un *Calculate Map* que recibe el mapa **First Similarity** *If Not Then* uno que recibe el mapa **Second Similarity**. Dependiendo del resultado binario del *Calculate Value*, uno de los dos contenedores pasará al

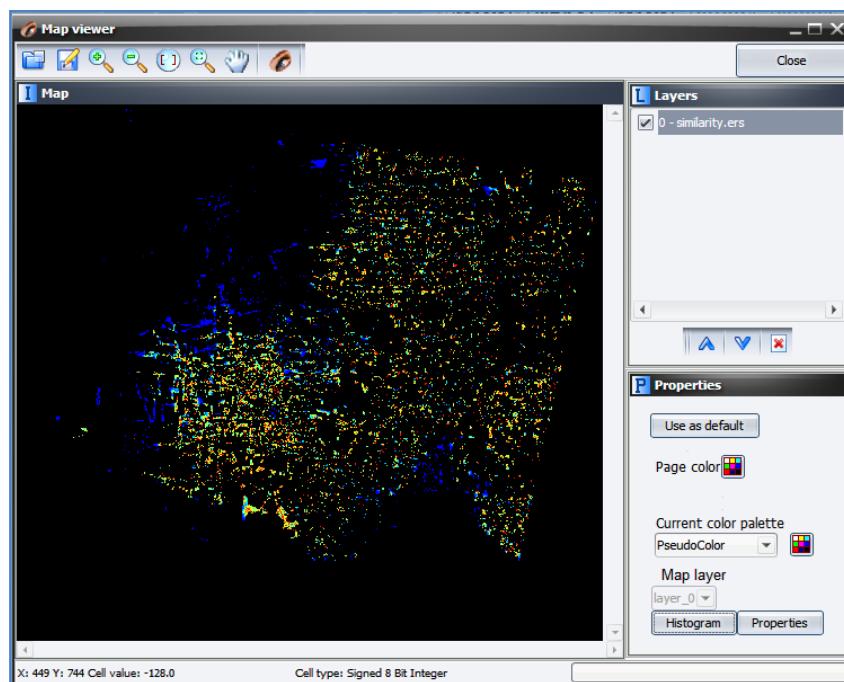
Map Junction su resultado, lo que permite guardar siempre el mapa con el menor valor de similitud.

TIP: Estos tres nuevos functors permiten el diseño de un modelo que contiene una bifurcación a dos o más flujos de ejecución. Vea la Fig. 1 al inicio de este tutorial. Este es un atributo fantástico para el diseño de modelos complejos.

Ahora, examine los puertos **First Mean** y **Second Mean** haciendo click sobre ellos con el botón derecho del mouse.



El mapa de similitud mínimo corresponde a la similitud obtenida al comparar los cambios simulados versus los cambios reales. Ahora visualice el mapa de similitud producido en el Map Viewer. Use **PseudoColor** y **Limits to Actual**, y **Histogram Equalize**.

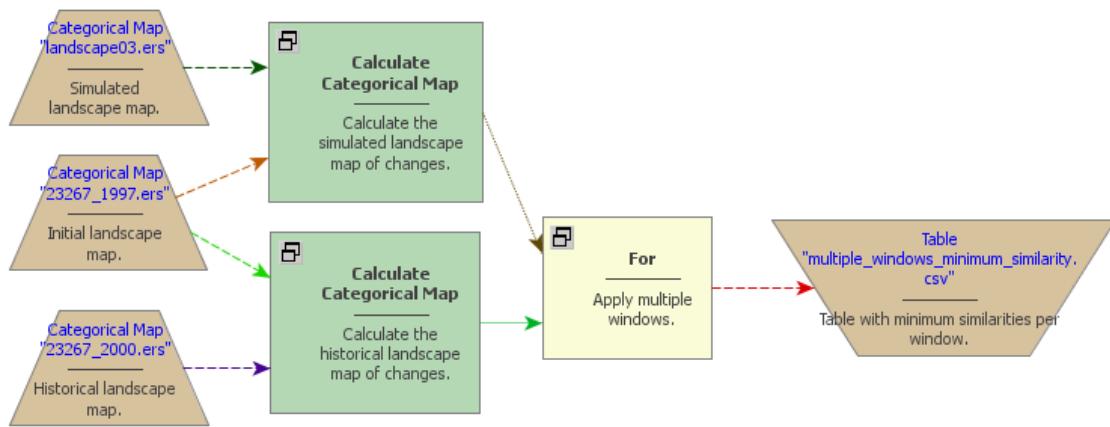


Las áreas rojas y amarillas muestran un ajuste espacial de alta a moderada, mientras que las azules indican un ajuste bajo.

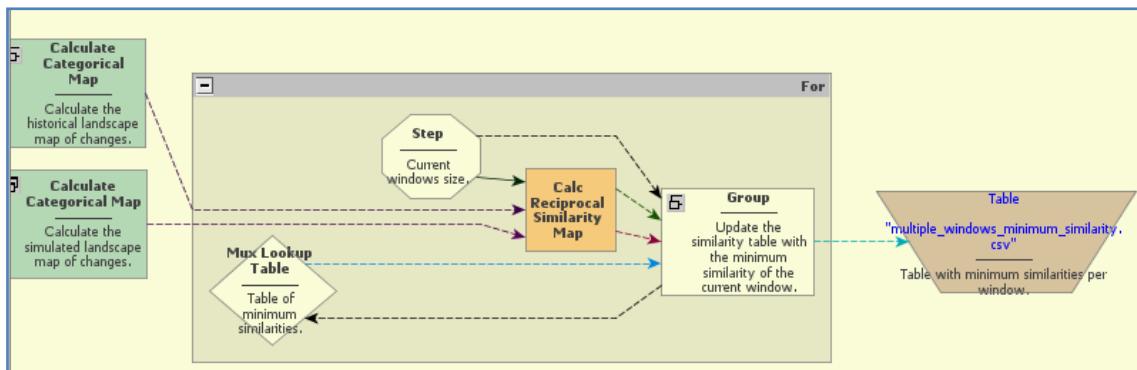
Otra forma de medir el ajuste espacial entre dos mapas es por medio de un análisis de similitud de ventanas múltiples. Este método emplea una función de decaimiento constante dentro de un tamaño variable de ventana. Si el mismo número de celdas cambiadas (deforestadas) es encontrado dentro de la ventana, el ajuste tendrá un valor de 1, sin importar su ubicación. Esto representa una forma conveniente de evaluar el ajuste del modelo a través de una resolución espacial decreciente. Mapas que no coinciden mucho a altas resoluciones pueden tener un ajuste apropiado a menores resoluciones. Apliquemos una comparación de ajuste con resoluciones múltiples en el siguiente paso.

7.7 Séptimo paso: Validación de la simulación usando ventanas múltiples y una función de decaimiento constante

Abra el modelo “determine-multi-window-similarity-of-differences.xml” desde la carpeta \7_validate_using_multiple_windows_constant_decay_function.

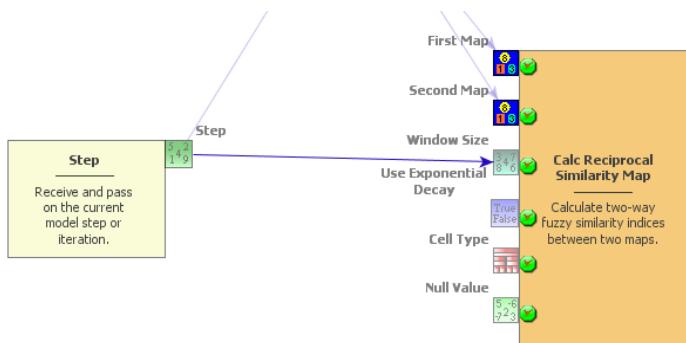


La primera parte del modelo es similar al anterior. Se utilizan dos *Calculate Map* para producir los mapas de cambios. Ahora, abra el functor *For*. Examinemos su contenido en detalle.



Un *Calc Reciprocal Similarity Map* es ubicado en el centro. Ábralo con el Edit Functor. Note que la opción **Use Exponential Decay** no está activada, lo que significa que se utilizará la función de decaimiento constante.

Con el Edit Functors Port, haga click en la flecha que conecta este functor con el *Step*.

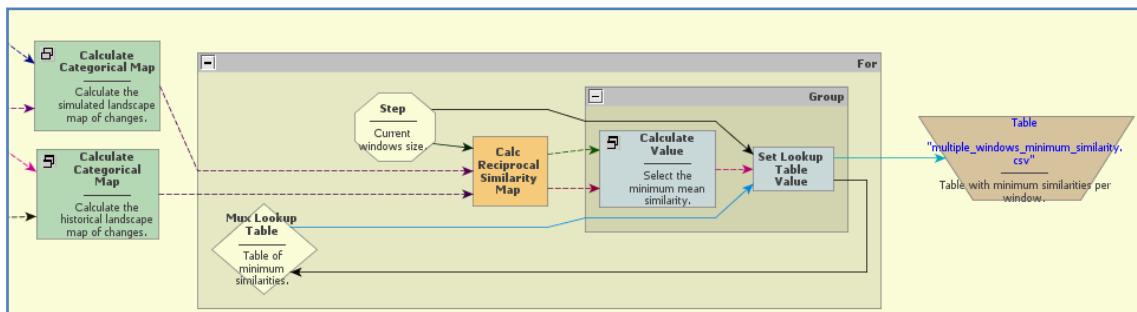


El *Step* que está dentro del *For* controla el **Window Size**(tamaño de ventana). *For* es un tipo particular de *Repeat*, en el cual, los pasos inicial y final, así como el incremento de pasos pueden ser definidos como se indica a continuación:

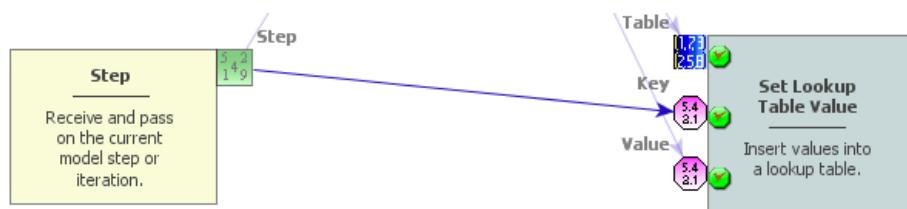


En este contenedor *For*, los pasos van de 1 a 11 incrementándose de dos en dos. Esto es necesario porque el **Window Size** debe ser de números impares. Como resultado **Window Size** variará de 1x1, a 3x3, a 5x5, a 7x7, a 9x9, ya 11x11 celdas.

Así como en la lección 2, nuevamente utilizaremos una *Mux LookupTable* para actualizar la tabla que contiene las similitudes mínimas promedio de cada ventana. Abra el *Group* que contiene los functors que actualizan estas tablas.



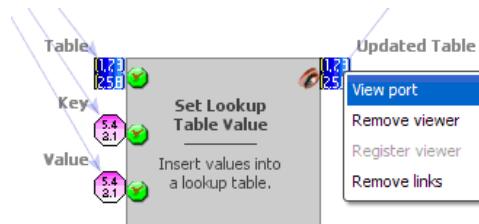
Calculate Values elige el menor valor de ajuste (la fórmula que se aplica es $\min(v1, v2)$) y lo pasa al *Set Lookup Table*, el cual también recibe al paso actual como la clave (key) de la tabla.



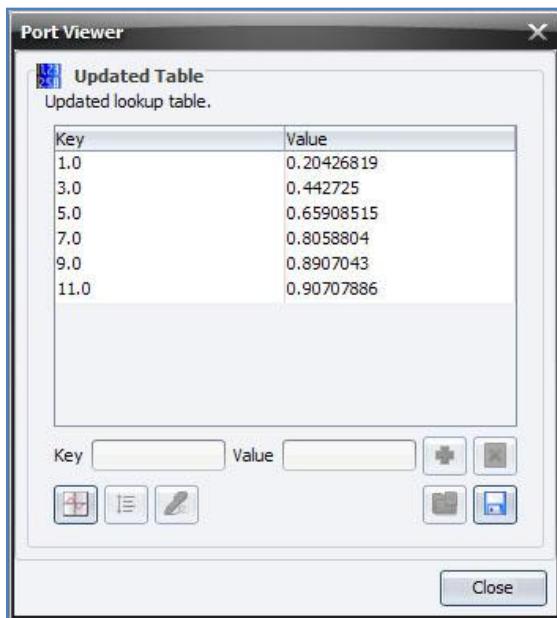
Mientras el *For* itera, el *Calc Reciprocal Similarity Map* calcula valores de similitud para cada tamaño de ventana y los pasa al *Calculate Value*. Éste, selecciona el mínimo y lo pasa al *Set Lookup Table*, que actualiza el valor de la clave de la tabla correspondiente al número de

iteración y retroalimenta la tabla actualizada al *Mux Lookup Table*. Cuando *For* termina la tabla se pasa al *Save Table*.

Active el Register viewer en el puerto **Updated Table** del *Set Lookup Table Value*, ejecute el modelo, y analice la tabla producida haciendo click en el puerto **Updated Table** con el botón derecho.



Esto es lo que obtendrá.



producir el gráfico.

El ajuste va de 21% con una ventana de 1x1 celdas a 90% con una resolución de 11x11 celdas. Noteque, dado que la simulación recibe una matriz de transición constante que define el número de cambios, sólo necesitamos evaluar el ajuste del modelo en función de la ubicación de los cambios (celdas deforestadas). Tomando en cuenta que la resolución de las celdas es 250 metros y el radio de la ventana de búsqueda es la mitad de la resolución, usted puede construir un gráfico que muestre el ajuste del modelo a distintas resoluciones espaciales (Fig. 13). **TIP:** abra el archivo CSV en una hoja de cálculo para

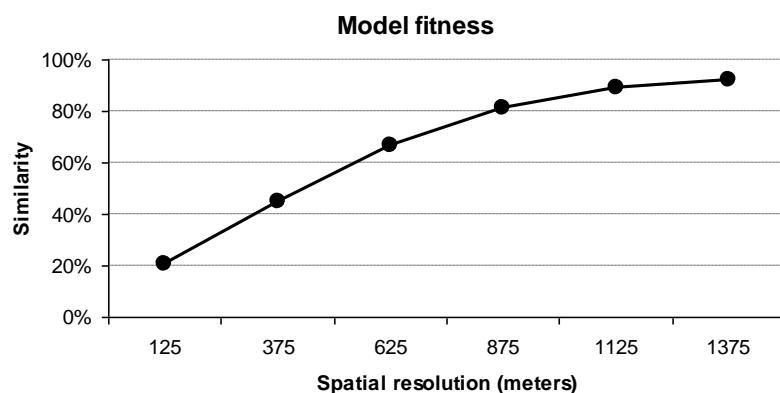


Fig. 13 – Ajuste del modelo

Observando el gráfico en la Fig. 13, podemos afirmar que la simulación alcanza un valor de ajuste de similitud de más del 50% a una resolución espacial de 500 metros. **TIP:** Este método

también se aplica a transiciones múltiples.

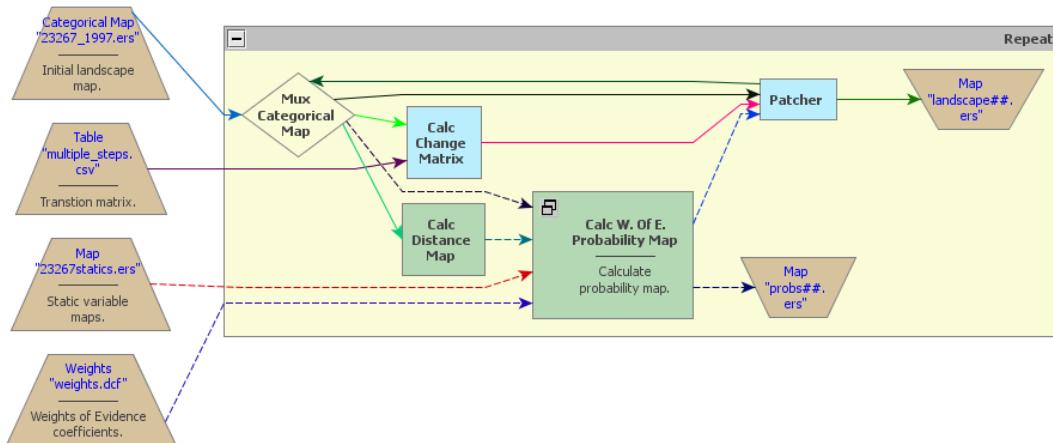
Ahora que la fase de validación ha sido finalizada, puede empezar a variar los parámetros para analizar su efecto en los diferentes resultados. Hagamos esto en el siguiente paso.

7.8 Octavo paso: Ejecución de la simulación con formación de parches

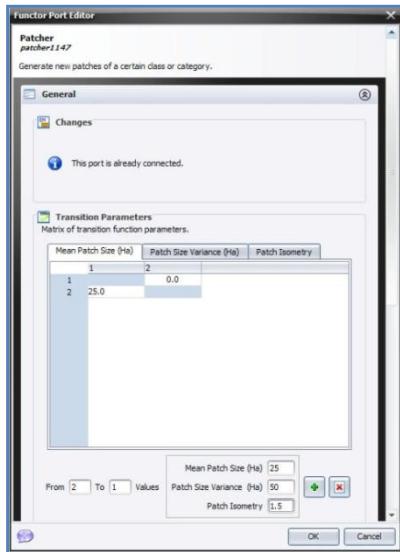
Antes de analizar este paso, abra y lea el archivo "simulating_the_spatial_patterns_of_change.pdf" ubicado en la carpeta Examples\patterns_of_change.

Este artículo presenta y discute los resultados de una serie de simulaciones en las que se utilizan mapas simplificados y se cambian los parámetros de las funciones de transición. Los resultados son evaluados utilizando mediciones de estructuras del paisaje, tales como la dimensión fractal, índice de cohesión de parches, y la distancia de vecindad más cercana. Estos ejemplos se usan para mostrar (1) como las funciones de cambio pueden ser calibradas y (2) su potencial para replicar los patrones espaciales cambiantes de una variedad de fenómenos dinámicos (Soares-Filho *et al.*, 2003). También puede examinar estos modelos desde la carpeta Examples\patterns_of_change.

Este paso busca analizar el efecto de los parámetros de la función de transición *Patcher* en la estructura de un paisaje simulado. Cargue el modelo "simulate_deforestation_from_1997_2000_with_patchFormation" de la carpeta \Examples\setup_run_and_validate_a_lucc_model\8_run_lucc_with_patchFormation. Este es el mismo modelo que el del quinto paso.

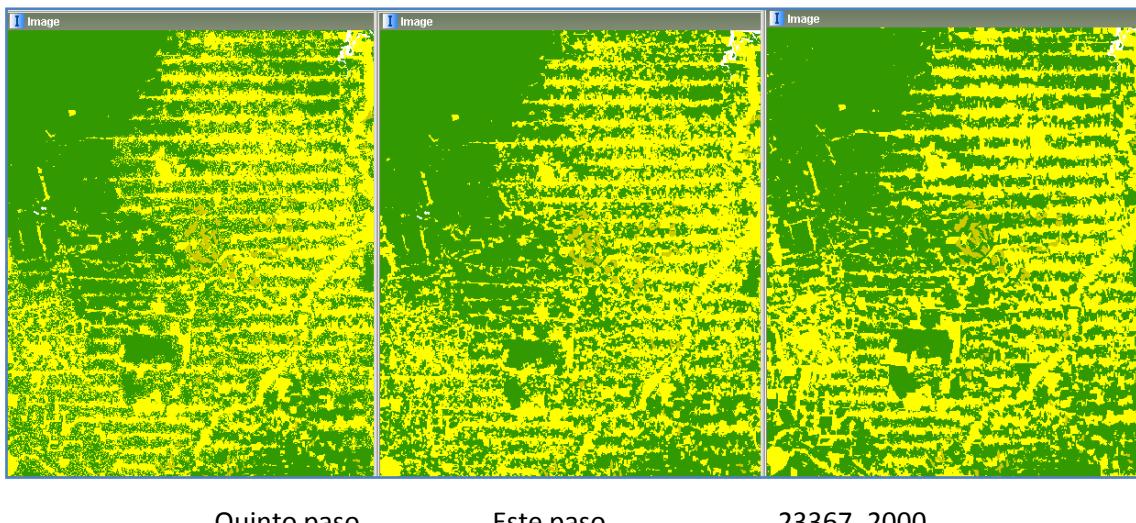


Ahora abra el *Patcher* con el Edit Functor.



Mean Patch Size está fijado en 25 ha, **Patch Size Variance** en 50 ha, y **Patch isometry** en 1.5. Ya que el tamaño de celda es 6.25 ha (250 x 250 metros), los parches que se formarán tendrán en promedio cuatro celdas y una varianza de ocho celdas.

Ejecute el modelo; cargue los mapaslandscape3.ers, el de este modelo y el del quinto paso, y también el 23267_2000.ers para compararlos visualmente.



Note que el mapa simulado de este paso presenta un paisaje más similar a aquel del paisaje final histórico. Ahora, incorporemos el functor *Expander* Functo al modelo de simulación.

7.9 Noveno paso: Ejecución la simulación con formación de parches y expansiones

El functor *Expander* se encarga solamente de la expansión o contracción de parches ya existentes, de una clase en particular. Por lo tanto en el *Expander*, una nueva P_{ij} probabilidad de transición espacial depende de la cantidad de celdas del tipo j alrededor de una celda tipo i, tal como se muestra en la Fig. 14.

P_{ij}	P'_{ij}
0,45 0,46 0,46 0,50 0,50	0 0 0 0,50
0,44 0,46 0,48 0,48 0,50	0 0 0 0 0,35
0,43 0,48 0,48 0,50 0,50	0 0 0 0 0,35
0,42 0,42 0,45 0,49 0,50	0 0 0,12 0,50
0,41 0,45 0,45 0,47	0 0 0,11 0,35
0,42 0,43 0,46	0 0 0,23
0,42 0,41 0,43	0 0 0,43

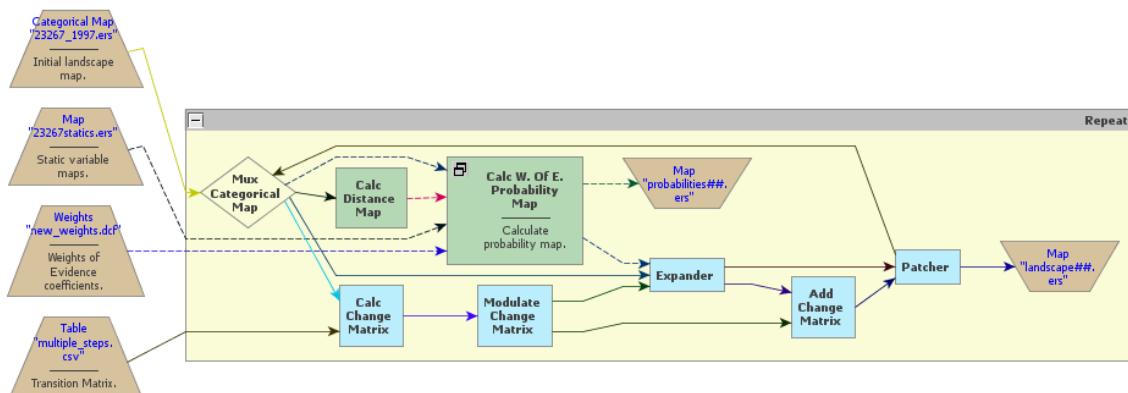
a)

b)

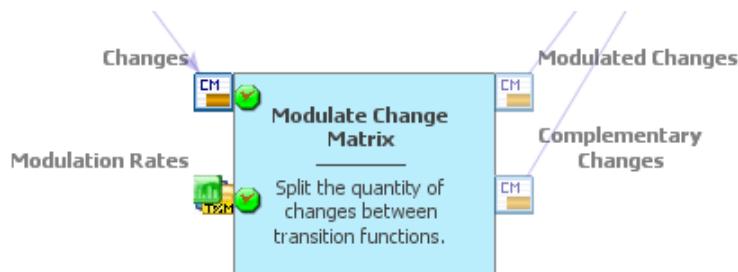
Fig. 14 – Probabilidades de transición (a), transformadas (b) para simular el proceso de expansión

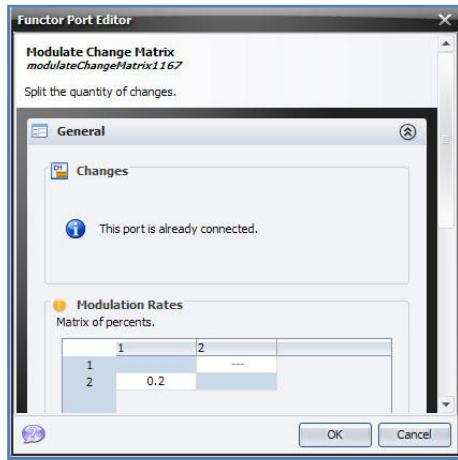
Ahora, cargue el modelo

“simulate_deforestation_from_1997_2000_with_patchFormation_and_expansion.xml” de la carpeta
 \Examples\setup_run_and_validate_a_lucc_model\9_run_lucc_with_patchFormation_and_expansion.

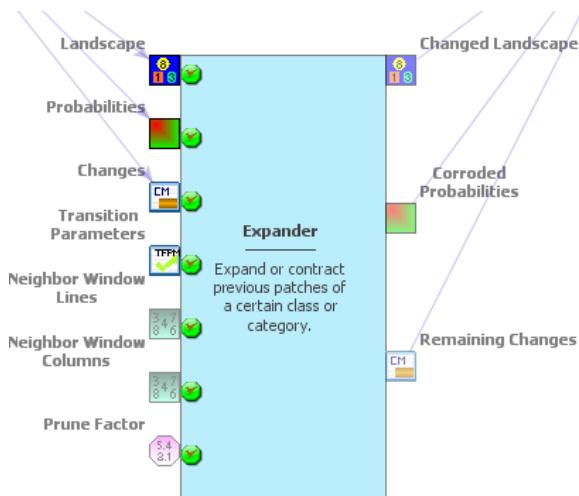


Este modelo se diferencia del anterior por tener tres nuevos functors: *Modulate Change Matrix*, *Expander*, y *Add Change Matrix*. *Modulate Change Matrix* separa el número de celdas a ser cambiadas por cada transición, en dos matrices: **Modulated Changes** y **Complementary Changes**. La primera va al *Expander* y la segunda va al *Add Change Matrix*. En este caso, 20% de los cambios de 2 a 1 van al *Expander*.

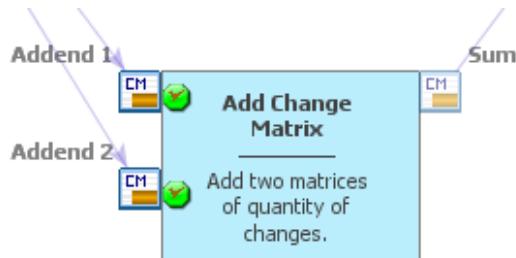




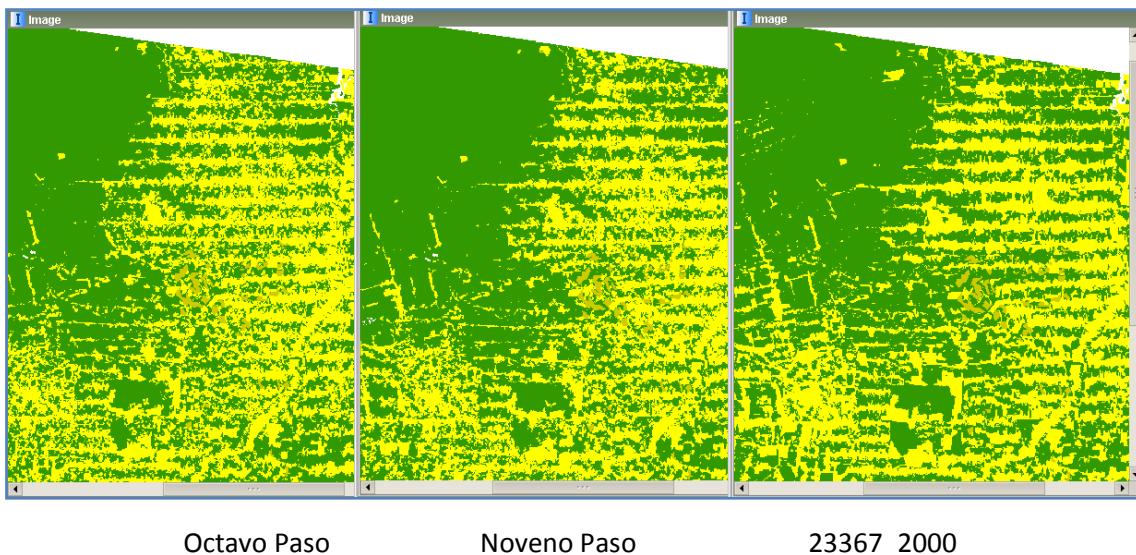
Además, el mapa de probabilidades producido en el *Calc W.OF E. Probability Map* va primero al *Expander*, el cual se ubica antes que el *Patcher*, ya que no se puede asegurar que el *Expander* vaya a ejecutar la cantidad total de cambios que se le indica. Conectemos sus puertos **Changed Landscape** and **Corroded Probabilities** al *Patcher*, y el **Remaining Changes** al *Add Change Matrix*.



Así, el *Patcher* recibirá el mapa del paisaje luego de que el *Expander* lo haya modificado y que el mapa de probabilidades haya recibido probabilidades igual a 0 en aquellas celdas que ya hayan sido cambiadas. En caso el *Expander* ejecute todas las transiciones indicadas, una matriz con la cantidad de cambios restantes para cada transición será pasada al *Add Change Matrix*, el cual combinará las matrices que vienen del *Modulate Change Matrix* y del puerto **Remaining Changes** del *Expander*. Sus otros parámetros son definidos de la misma forma que en el *Patcher*.



Ahorra ejecute el modelo, revise el reporte en el Message Log, y compare su resultado con los anteriores.



¿Produce este modelo un paisaje más similar al paisaje final histórico?

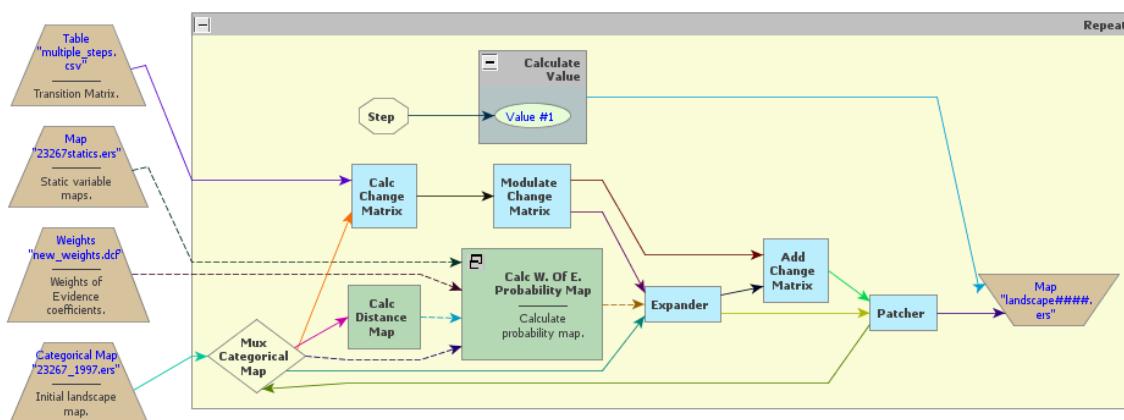
Trate de cambiar los parámetros del *Modulate Change Matrix*, *Expander* y *Patcher* para ver qué obtiene. **TIP:** cambie sólo un parámetro a la vez. Ahora que el modelo está calibrado, en función a la ubicación de los cambios y a la estructura del paisaje, y validado, puede utilizarlo para establecer proyecciones de cambio. Vayamos al paso final.

7.10 Décimo paso: Proyecciones de las trayectorias de deforestación

Los modelos de deforestación pueden ser concebidos como dispositivos útiles para evaluar, en el corto o largo plazo, los resultados de diferentes escenarios socioeconómicos, políticos, y ambientales. Una clase especial entre estos modelos son los espaciales explícitos, los cuales simulan las dinámicas de un sistema ambiental, reproduciendo la manera en que sus patrones espaciales evolucionan, proyectando así las probables consecuencias ecológicas y socioeconómicas de las dinámicas del sistema.

Por lo tanto, con el presente ejemplo, podemos aplicar la simulación para evaluar los impactos que las futuras trayectorias de la deforestación, bajo distintos escenarios socioeconómicos y de políticas públicas, tendrán en (1) la emisión de gases de efecto invernadero (Soares-Filho *et al.*, 2006), (2) el cambio climático regional (Schneider *et al.*, 2006; Sampaio *et al.*, 2007), (3) el régimen fluvial (Costa *et al.*, 2003, Coe *et al.*, 2009), (4) la pérdida y fragmentación de hábitat (Soares-Filho *et al.*, 2006, Texeira *et al.*, 2009), y (5) la pérdida de bienes y servicios ambientales del bosque (Fearnside, 1997).

Cargue el modelo simulate_deforestation_from_1997_2000_30years_ahead.xml de la carpeta \Examples\setup_run_and_valideade_a_lucc_model\10_run_deforestation_trajectories y abra todo el Group.



Las pocas diferencias entre este modelo y el anterior consisten en el paisaje inicial, que ahora es el mapa del 2000, el número de iteraciones son ahora “30”, y tres functors adicionales

Calculate Value, *Number Value*, y *Steps* empleados para proporcionar el sufijo (suffix) para el nombre de los paisajes simulados en todos los años a partir del 2001. Para ahorrar memoria, el mapa de probabilidades no será guardado.

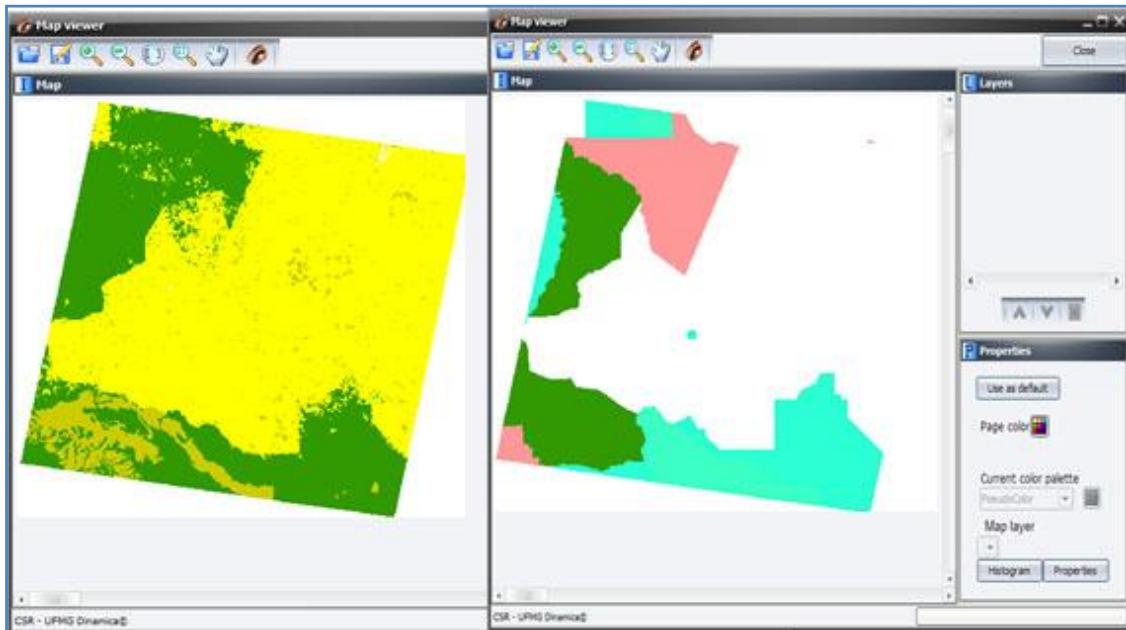
TIP:debe mover el *Map “Landscape####.ers”* fuera del *Repeat* para romper el vínculo con el *Step*.

Ya que este modelo utiliza tasas de transición fijas, podemos considerar que proyecta la tendencia histórica hacia el futuro, por lo que se le denomina el escenario histórico.

Revise las diferencias entre este modelo y el anterior abriendo los functors y sus conexiones, y luego ejecute el modelo y observe el resultado *landscape2030.ers*. **TIP:** Usted posiblemente sólo quiera guardar el mapa del paisaje final. Para esto sólo necesita arrastrar el *Save Map* fuera del *Repeat*.



Esto es lo que debe obtener:



Noteque el bosque prácticamente desaparece fuera de las áreas protegidas, las cuáles empiezan a ser arrinconadas. Esto es lo que ocurriría si la reciente trayectoria de deforestación histórica persiste en el futuro.

Las animaciones de mapas son una poderosa herramienta para hacer que el público en general tome conciencia de los posibles resultados de las dinámicas de un sistema, tales como la deforestación de la Amazonía. **TIP:**Guarde los mapas producidos por cada iteración en formato Geotiff. Luego puede importarlos a un SIGo un procesador de imágenes para construir las animaciones.

Es posible que desee mejorar este modelo al incorporar tasas dinámicas, otras variables dinámicas, submodelos, tales como el constructor de carreteras, y retroalimentaciones de los atributos de los paisajes para el cálculo de las tasas de transición. Todo esto es posible con Dinamica EGO. Un ejemplo del módulo de construcción de carreteras está guardado en el modelo `mato_grosso_road.xml` en la carpeta `\Examples\run_lucc_northern_mato_grosso\run_roads_with_comments.Dinamica EGO` también permite la incorporación de escenarios económicos, sociales, y políticos, en modelos que integran el efecto de estas causas subyacentes de la deforestación (Geist, & Lambin, 2001) (usualmente, estas variables son introducidas a los modelos utilizando tablas con claves asignadas a unidades geográficas, tales como Distritos, Estados, o países). Finalmente, Dinamica EGO permite también acoplar modelos externos desarrollados en VENSIM, un software de sistemas pensantes (www.vensim.com). Por ejemplo, VENSIM podría ser utilizado para modelar el efecto de un escenario complejo sobre las tasas de deforestación. Parte de este atributo será presentado en las lecciones avanzadas y en un ejemplo de la aplicabilidad de Dinamica en el modelamiento de escenarios para un caso de estudio REDD (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degrado).

8. El lenguaje de programación Dinamica EGO y Console Launcher

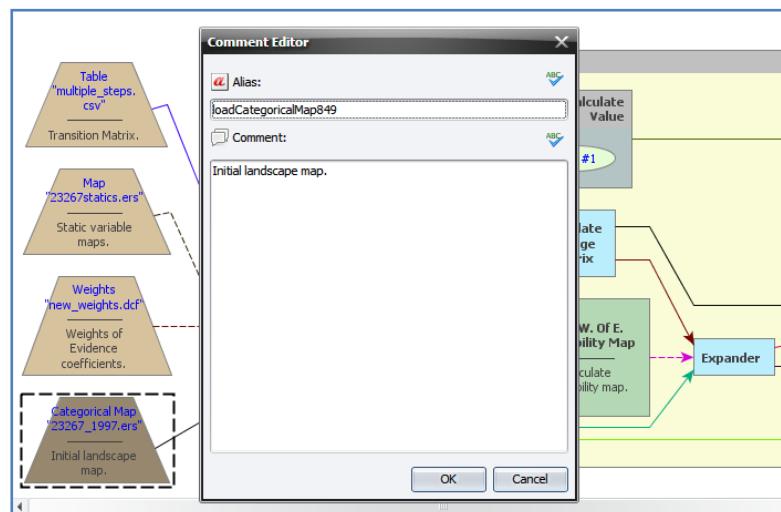
Qué aprenderá?

- Nombrar las variables con un alias
- Lenguaje de programación Dinamica EGO
- Dinamica EGO Console Launcher (Consola de Comandos)

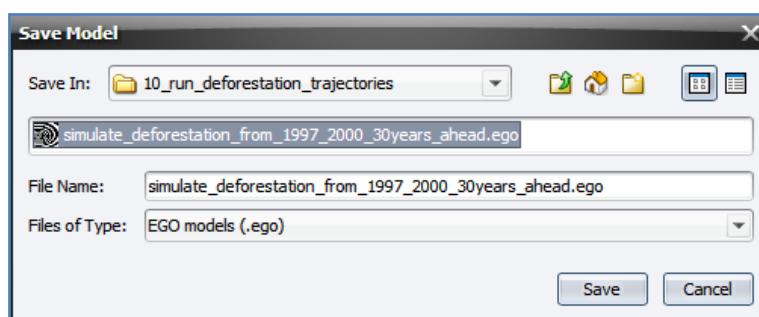
Mientras un modelo se torna cada vez más complejo, usted encontrará útil guardar lo en formato EGO, para continuar con su desarrollo utilizando el lenguaje de programación EGO en un editor de textos (e.g. NotePad++, Context o compilador C++). Por ejemplo, el modelo de madera de la Amazonía (Merry *et al.*, 2009), desarrollado en Dinamica EGO, involucra más de 1,000 líneas de script. Ambos formatos (XML, EGO) son 100% compatibles, de manera que los usuarios pueden llevar el modelo de uno a otro formato desde la interfase gráfica al editor de textos sin perder ninguna información. Modeladores experimentados se beneficiarán enormemente de este lenguaje de programación estructurado y de fácil control. **TIP:** El formato EGO es una buena manera de combinar dos modelos, ya que se pueden cortar y pegar partes de los scripts.

Abra nuevamente el modelo “simulate_deforestation_from_1997_2000_30years_ahead.xml”. Para hacer el modelo más inteligible en el editor de textos, primero necesita nombrar algunas variables claves y añadir comentarios a partes del modelo. Hagámoslo. Seleccione la herramienta Add Comment to Functory haga click en Categorical Map “23267_1997.ers”. En el campo del alias escriba “initial_landscape”, haga click en el Calc Distance Map y escriba el alias

“distance_to_deforested”.



Haga lo mismo para los functors: Map “23267statics.ers”, Calc W. Of. E. Probability Map, Calculate Value, Expander, Patcher, y Mux Categorical Map, escribiendo respectivamente los siguientes alias: “statics”, “probability”, “year”, “landscape_with_patches_expanded”, “landscape_with_new_patches”, y “feed_back_landscape”. Ahora guarde el modelo en formato EGO.



Ábra en un editor de textos (de preferencia, utilice uno que muestre el script en formato C++, e.g. Notepad++, disponible en <http://notepad-plus.sourceforge.net>) el modelo "simulate_deforestation_from_1997_2000_30years_ahead.ego". El script EGO es el siguiente:

```
/*
dff.date = Fri Sep 04 12:57:13 2009
dff.version = 1.3.4.20090827-beta
metadata.author = Dinamica Team
metadata.description = This script corresponds to a deforestation model. Only one transition is modeled: 2 to 1, time-period comprises 2000 to 2030, divided in annual time steps. The land cover classes are non-forest (3), forest (2), and deforested (1). The model is set to form patches and to expand previous patches of deforested land.
metadata.organization = CSR / UFMG
metadata.showproperties = yes
metadata.title = Simulate Deforestation
*/
Script {{
    // Initial landscape map.

    initial_landscape := LoadCategoricalMap {
        filename = "../originals/23267_1997.ers",
        loadAsSparse = .no,
        defineNullValue = .no,
        nullValue = 0,
        suffixDigits = 0,
        step = .none
    };

    // Static variable maps.

    statics := LoadMap {
        filename = "../originals/23267statics.ers",
        loadAsSparse = .no,
        defineNullValue = .no,
        nullValue = 0,
        suffixDigits = 0,
        step = .none
    };

    // Weights of Evidence coefficients.

    loadWeights851 := LoadWeights "../4_weights_of_evidence_correlation/new_weights.dcf" 0 .none;

    // Transition Matrix.

    loadLookupTable852 := LoadLookupTable "../1_transition_matrix_calculation/multiple_steps.csv" 0 .none;

    // Simulation model.

    @collapsed = no
}}
```

Este es el encabezado

Aquí empieza el modelo

Este es el load categorical map

Un functor está comprendido dentro de {}

El alias reemplaza los nombres internos de EGO

e.g. initial_landscape

Comentarios luego de //

```

Repeat 30 {{
    step = step;

    feed_back_landscape := MuxCategoricalMap initial_landscape landscape_with_new_patches;

    modulatedChanges complementaryChanges := ModulateChangeMatrix (CalcChangeMatrix feed_back_landscape
loadLookupTable852) [
        2->1 0.2
    ];

    distance_to_deforested := CalcDistanceMap {
        categoricalMap = feed_back_landscape,
        categories = [ 1 ],
        cellType = .int32,
        nullValue = -2147483648,
        truncateDistance = .yes
    };

    // Calculate probability map.

    @collapsed = yes
    probability := CalcWOfEProbabilityMap {
        landscape = feed_back_landscape,
        weights = loadWeights851,
        transitions = [ 2->1 ],
        cellType = .uint8,
        nullValue = 0
    }{{
        NameMap statics "static_var";

        NameMap distance_to_deforested "distance";
    }};
}

@alias = landscape_with_patches_expanded
changedLandscape corrodedProbabilities remainingChanges := Expander {
    landscape = feed_back_landscape,
    probabilities = probability,
    changes = modulatedChanges,
    transitionParameters = [
        2->1 20 50 1.5
    ],
    neighborWindowLines = 3,
    neighborWindowColumns = 3,
}

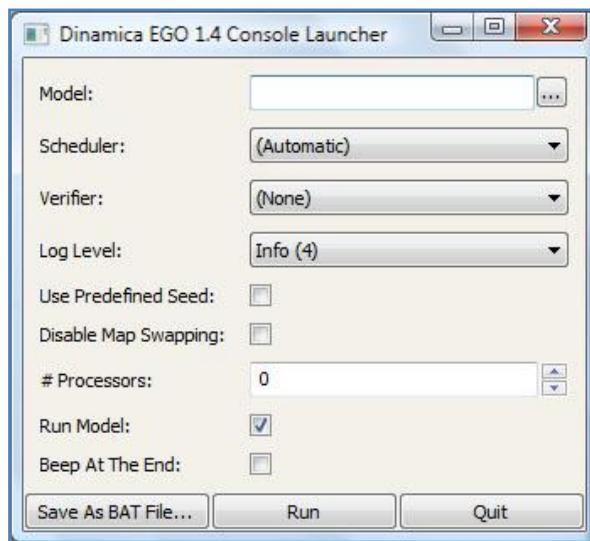
```

El contenedor repeat

Expander recibe el feed_back_landscape

Ahora que usted ha aprendido algo sobre programación con el lenguaje EGO script, otro recurso disponible en Dinamica EGO es elConsole Launcher. Cualquier modelo guardado en Dinamica EGO, ya sea en formato XML o EGO, puede ser ejecutado desde el Console Launcher,incrementando de esta manera la performance, ya que el modelo se libera de la interfase gráfica. Además, al utilizar el Console Launcher, Dinamica EGO aprovecha la arquitectura de procesadores múltiples, ya sea dividiendo flujos de ejecución en distintos procesadores, o corriendo, mediante procesamiento paralelo, varios algoritmos internos de los functors. Por lo tanto, la ejecución se vuelve mucho más rápida. Dependiendo de la cantidad de información cargada en la memoria, también es posible limitar el disk swapping. **TIP:** Windows de 32 bits sólo maneja hasta 3 gigabytes de memoria para cada proceso.

Para facilitar la ejecución del modelo desde la consola, hemos desarrollado la herramienta Console Launcher. Su uso es muy recomendado para la ejecución de modelos complejos y que contengan grandes cantidades de datos. Acceda al Console Launcher desde la subcarpeta de herramientas siguiendo la ruta: Start/Programs/Dinamica EGO. Abrirá la siguiente interfase.



Model: nombre del modelo, **Scheduler:** la forma en la que los functors del modelo serán secuenciados, **Verifier:** verificación del tipo de script, **Log Level:** nivel máximo del Message Log, **Use Predefined seed:** Actívelo para utilizar una semilla predefinida para generar números aleatorios, **Processors:** número de procesadores que el modelo utilizará. Use 0 para detectar automáticamente el número de procesadores disponibles. **Run Model:** Actívelo para ejecutar el modelo completamente. También puede guardar la configuración del Console Launcher en un archivo batch. Esto es útil en caso que quiera acoplar Dinamica EGO con otro software. **TIP:** otra forma de acoplar otros programas de computación con Dinamica EGO es por intermedio del functor *Run External Process*, disponible en la pestaña Control. Al utilizar este functor, usted será capaz de establecer el ingreso o ‘llamar’ a un programa externo desde dentro de Dinamica, pasarle resultados intermedios, y retornar sus resultados nuevamente al modelo en Dinamica EGO.

Felicitaciones, usted ha avanzado mucho. Pero todavía puede explorar numerosas posibilidades para el diseño de modelos con Dinamica. Para aquellos que buscan habilidades de modelamiento más avanzadas presentamos en el siguiente capítulo una serie de ejemplos en los que se utilizan recursos avanzados de modelación.

9. Recursos avanzados

Qué aprenderá?

- Variar los parámetros durante una misma simulación
- Utilizar subregiones en un modelo de simulación
- Utilizar el concepto de sojourn time (tiempo de permanencia)
- Utilizar transiciones determinísticas
- Utilizar la saturación local
- Functors:
 - *Select Transition Matrix* (elegirla matriz de transición)
 - *Calc Change Matrix* (calcular la matriz de cambio)

- *Modulate Change Matrix (modular la matriz de cambio)*
- *Add Change Matrix (adicionar matriz de cambio)*
- *Select Weights (seleccionar pesos de evidencia)*
- *Extract Map Layer (extraer cobertura)*
- *Create Cube Map (crear cubo de mapas)*

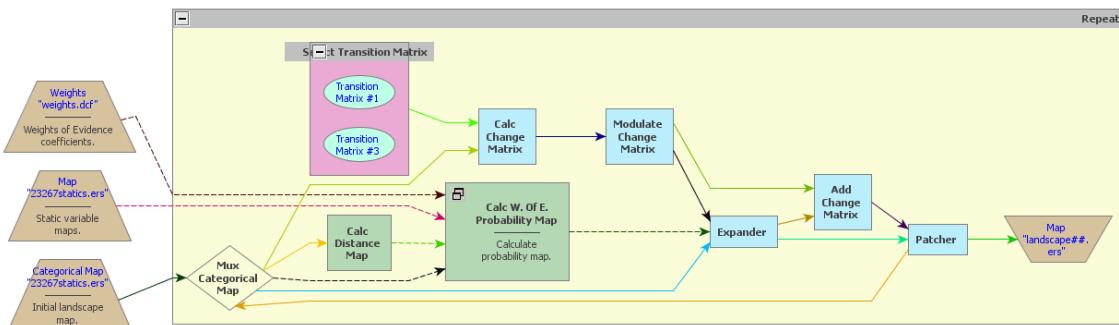
9.1 Variación de los parámetros de una simulación

Nada debería permanecer constante en un modelo dinámico. Bajo esta premisa, Dinamica EGO permite variar los parámetros del modelo en distintas fases de la simulación y en cada iteración. En la pestaña Stack, un conjunto de funcors *Select* pueden ser usados para cambiar los valores de los parámetros utilizados, para cada iteración del modelo.

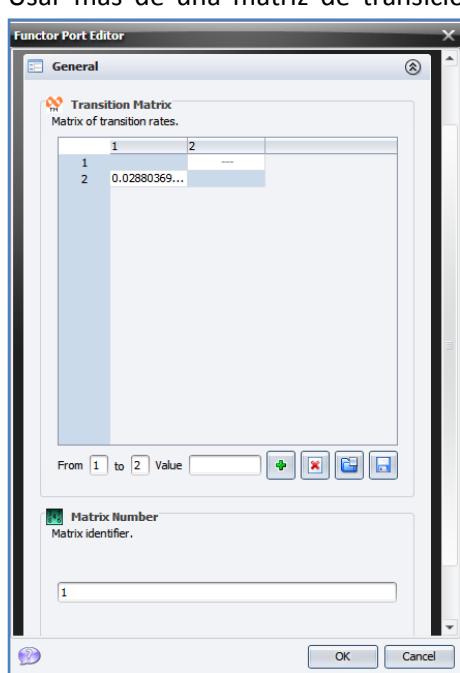
Uso de diferentes matrices de transición

Por ejemplo, en vez de usar sólo una matriz de transición constante, *SelectTransitionMatrix* permite el uso de diferentes matrices en una simulación.

Para empezar, cargue el modelo “simulate_deforestation_using_multiple_transition_matrix.xml” de la carpeta \advanced\multiple_parameters\simulate_deforestation_using_multiple_transition_matrix



Usar más de una matriz de transición en un modelo es bastante fácil. En esta versión del modelo de deforestación, introducimos un *SelectTransitionMatrix* para permitir la elección de una matriz de transición en función de la iteración del modelo. Cada matriz de transición es almacenada en un *NumberTransitionMatrix*, haga click en este functor con el Edit Functor.



Matrix Number identifica el número de la iteración en la que esta matriz empieza a operar. El modelo usará esta matriz hasta que encuentre un *NumberTransitionMatrix* con el **Matrix Number** que corresponda a la iteración vigente del modelo. De ese punto en adelante, *SelectTransitionMatrix* cambia a la

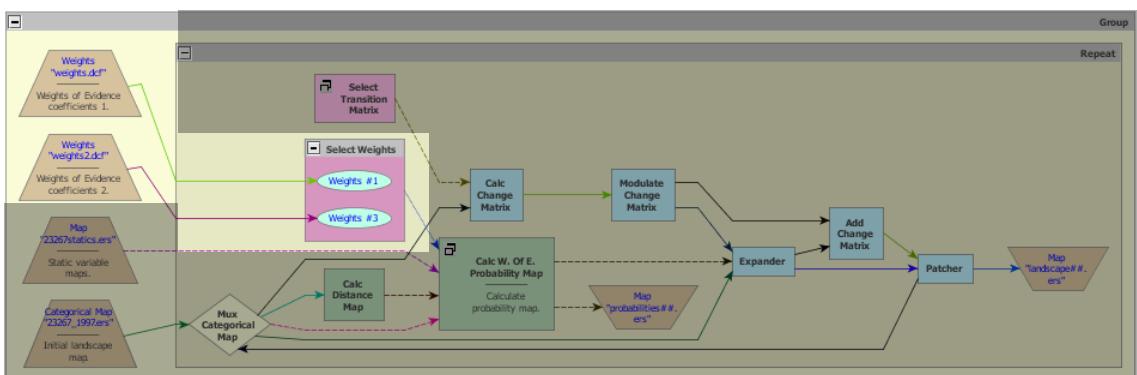
nueva matriz. **TIP:**puede utilizar tantas matrices como iteraciones. Sólo necesita añadir más *Number Transition Matrix* y numerarlos de acuerdo a las iteraciones del modelo.

Uso de distintos coeficientes de pesos de evidencia

El mismo procedimiento se aplica a la selección de otros parámetros del modelo, tales como los coeficientes de los pesos de evidencia.

Cargue el modelo: "simulate_deforestation_using_multiple_transition_matrix_and_weights.xml" de la carpeta \Examples\advanced\multiple_parameters\simulate_deforestation_using_multiple_transition_matrix_and_weights

Un functor *SelectWeights* es añadido al modelo para permitir la selección de un archivo de coeficientes de pesos de evidencia. Un functor *NumberWeight* se añade también dentro del contenedor *SelectWeights* por cada archivo de coeficientes de pesos de evidencia. Otro *LoadWeights* se suma al modelo en la parte exterior del loop principal (*Repeat*). Este functor carga los coeficientes de un archivo y es conectado a uno de los *NumberWeights* dentro del *SelectWeights*. Abra cada uno de los *NumberWeights* y edite el campo **WeightNumber** para definir el paso en el que el archivo de coeficientes empieza a participar del modelo.



9.2 Uso de subregiones en un modelo de simulación

Cargue el modelo: "simulate_deforestation_using_sub_regions.xml" de la carpeta \Examples\advanced\sub_regions\simulate_deforestation_using_sub_regions

El conjunto de functors que aplican el concepto de Subregión (ubicados en la pestaña Region) son utilizados para sub-dividir un mapa en regiones y procesar los datos de cada subregión individualmente, para luego combinar los resultados nuevamente y obtener un resultado final (Fig. 15). Al hacer uso del concepto de subregión, se podrá (1) realizar una serie de operaciones que serán aplicadas sólo a ciertas subregiones, o (2) establecer parámetros y coeficientes diferentes para cada subregión. Esto nos permite modelar el contexto que influencia fenómenos particulares para cada subregión.

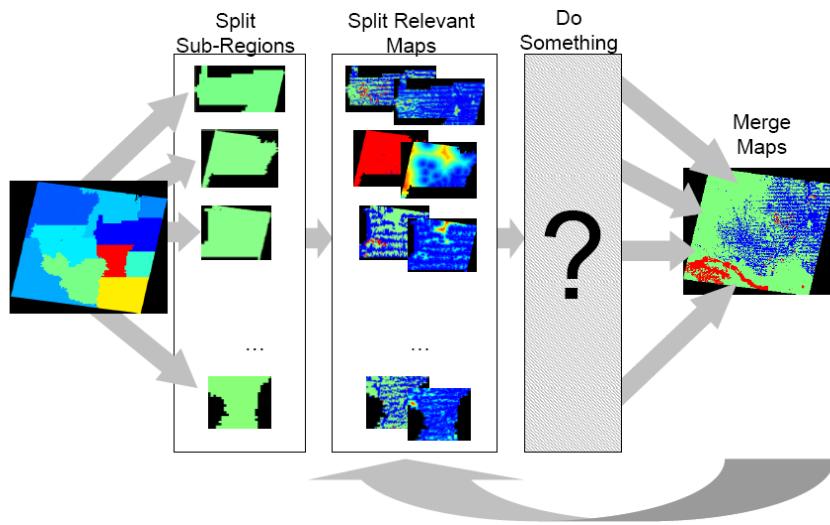
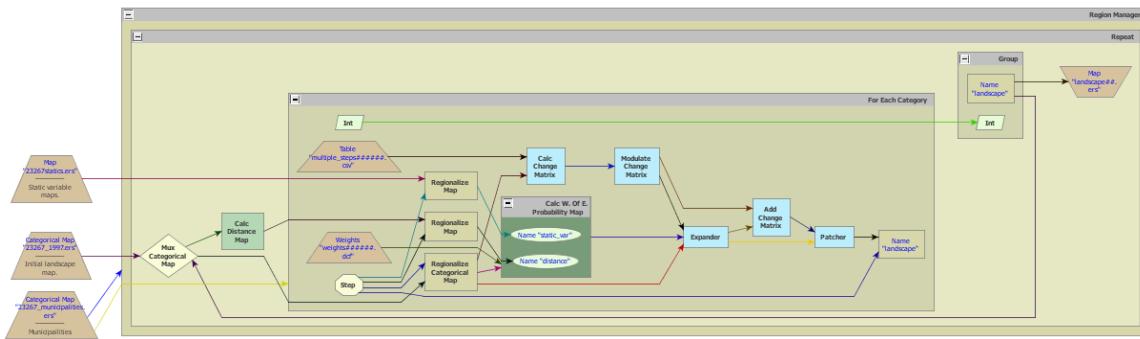


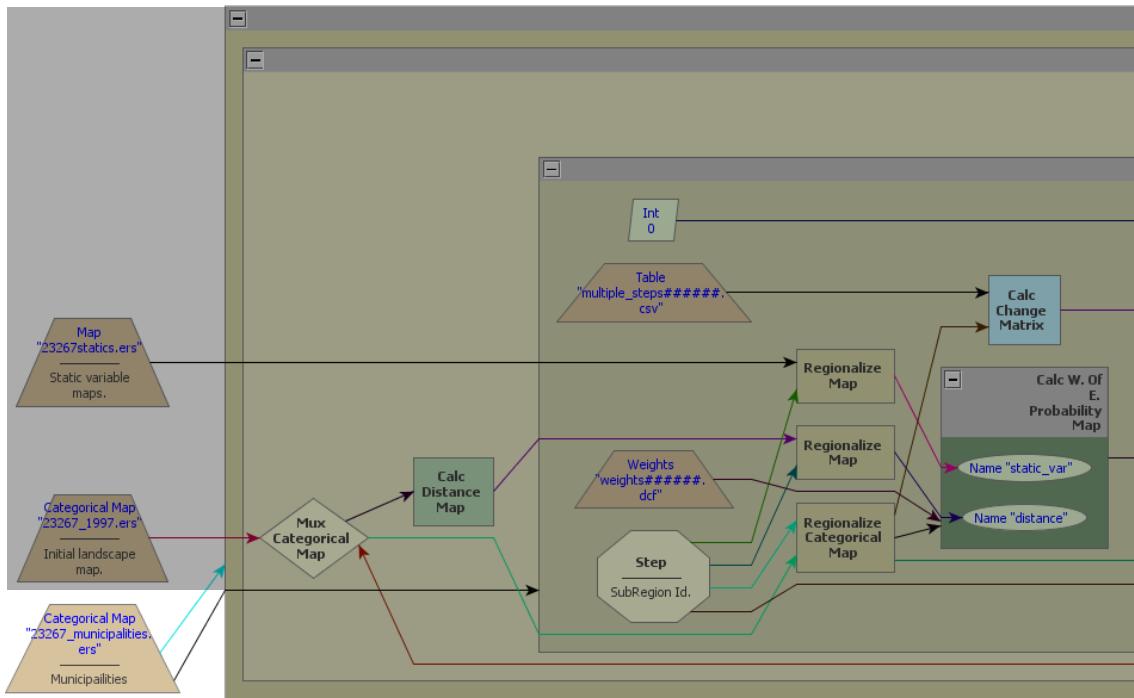
Fig. 15 – El esquema de subregiones permite aplicar diferentes submodelos a distintas zonas del mapa.

En este modelo, utilizaremos el esquema de subregiones, para aplicar distintas matrices de transición y coeficientes de pesos de evidencia a cada una de las subregiones del mapa.

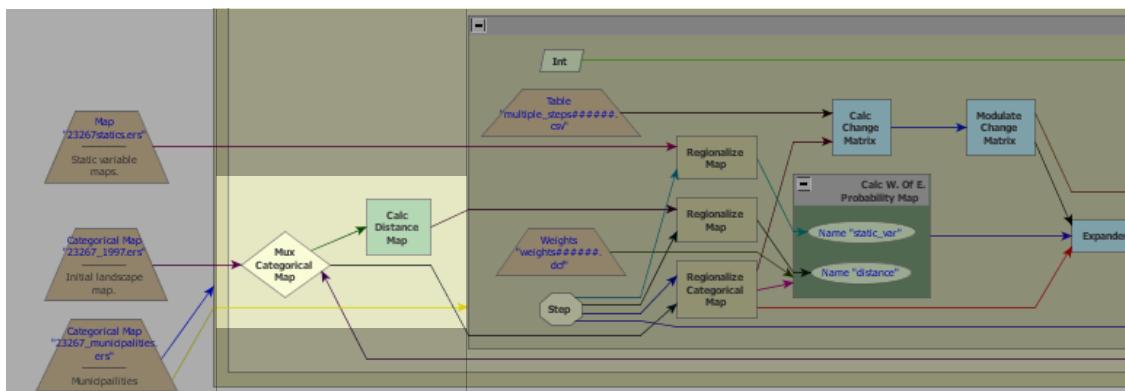


Para lograr esto, necesitamos modificar ligeramente el modelo de la lección 7. Primero, debemos realizar una calibración específica para cada subregión. En el ejemplo que se muestra arriba, las matrices de transición y un conjunto de coeficientes de pesos de evidencia fueron previamente calculados para cada una de las subregiones del mapa. Vea los modelos para calibrar diferentes subregiones en la carpeta “Examples\advanced\sub_regions\calibration”.

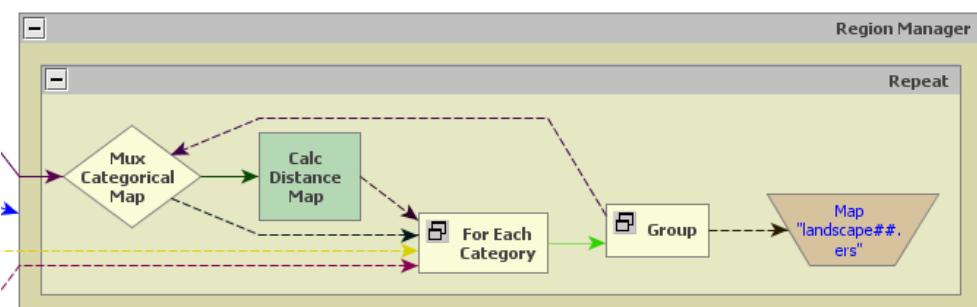
Añada un *LoadCategoricalMap* al modelo. Este functor será responsable de cargar el mapa de las subregiones **TIP:este debe ser un mapa categórico** (en este ejemplo, un mapa de Municipios). El área de cada Municipio es identificada por un código de seis dígitos. El código identificará las subregiones y controlará el proceso de regionalización.



En este modelo, la deforestación es simulada anualmente para cada uno de los Municipios. Luego, los mapas producidos son combinados en un nuevo mapa de usos del suelo que será dividido nuevamente al inicio del próximo paso. Para asegurar la continuidad espacial a lo largo de las regiones, algunas operaciones, tales como el cálculo del mapa de distancias a áreas ya deforestadas usando el *CalcDistanceMap*, son llevadas a cabo sobreel mapa completo.

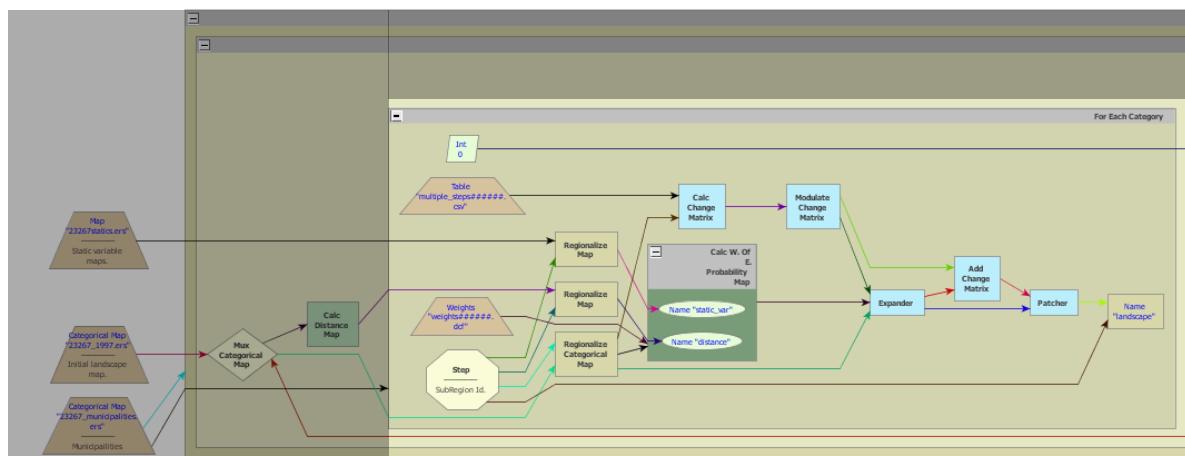


Un *Region Manager* es introducido fuera del loop principal (*Repeat*). Este contenedor controla la creación y combinación de subregiones.

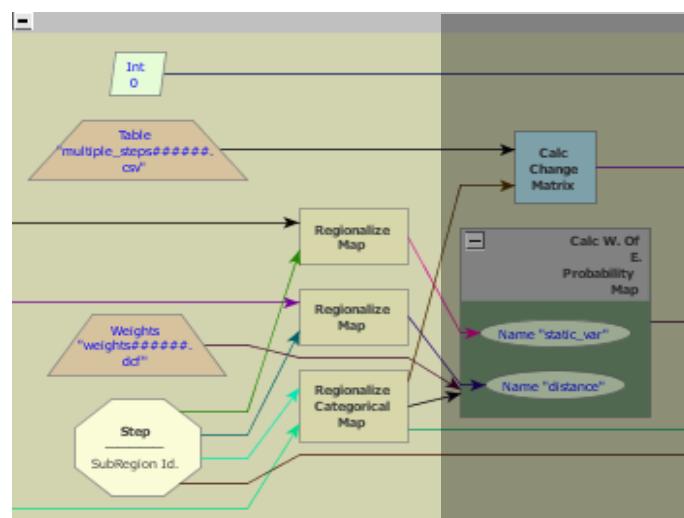


El contenedor *For Each Category* también controla el proceso de creación de subregiones. Para cada categoría del mapa, *For Each Category* repetirá la secuencia de functors que lleva dentro.

Asegúrese que el Categorical Map “23267_municipalities.ers” está conectado al *For Each Category* así como también al *Region Manager*. En este caso, el *Step* puesto dentro del *For Each Category* recibe y pasa los códigos de las regiones. Cualquier secuencia de functors que afecten a cada región debe ser puesto dentro de este contenedor.

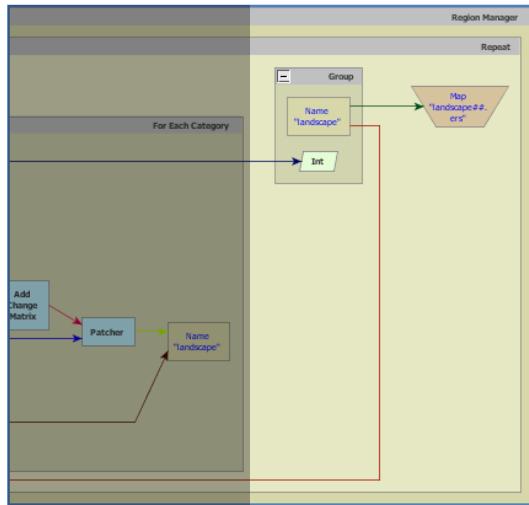


Los functors *Regionalize Map* y *Regionalize Categorical Map* separan al mapa en los mapas de subregiones. Asegúrese que el *Step* está conectado a ellos. Todos los mapas que estén combinados luego de estos functors necesitan tener las mismas dimensiones. Así que asegúrese de que todos estén regionalizados a través de estos functors, como en el ejemplo de mapas de distancias y variables estáticas. Note también que puede definir distintos archivos de matrices de transición o pesos de evidencia para las subregiones al asignar el código de la subregión (en este caso seis dígitos) como un sufijo de estos archivos y colocando un *Load Table* y *Load Weights* dentro del contenedor *For Each Category*. **TIP:** también necesita definir los dígitos del sufijo en 6.



Al fin de una iteración del *For Each Category*, un functor *Regional Categorical Map* almacena los mapas regionales. Asigne el nombre “landscape” en **Global Map Name**. Luego que *For Each Category* haya sido ejecutado, los mapas regionales pueden ser combinados en un mapa del paisaje actualizado. El functor *Merge Regional Categorical Map* encarga de combinar los mapas regionales. Su **Global Map Name** debe ser igual al del *Regional Categorical Map*. *Merge Regional Categorical Map* debe colocarse dentro del *Region Manager* y, para asegurar una secuencia adecuada del proceso, se debe establecer un efecto de dependencia entre este

functor y el *Regional Categorical Map*. Una forma de hacer esto es colocando un *Merge Regional Categorical Map* dentro de un *Group* y conectar este *Group* al *For Each Category* usando un functor *Int* como vínculo. *Int* simplemente pasa una constante (número entero) del *For Each Category* al *Group*, estableciendo como resultado una dependencia de tiempo entre la ejecución de ambos.



Luego que los mapas regionales hayan sido combinados, el modelo itera y un nuevo mapa del paisaje es retroalimentado en el *Mux Categorical Map* cerrando el loop. Así, el paisaje guardado representa un mosaico de paisajes regionales que han sufrido cambios independientes.

9.3 Uso del tiempo de permanencia

Cargue el modelo “simulate_deforestation_and_abandonment_using_sojourn_time.xml” desde la carpeta \Examples. El uso del sojourn time (tiempo de permanencia) implica que una determinada transición no ocurrirá a menos que un cierto tiempo haya transcurrido desde que otro evento específico ocurrió.

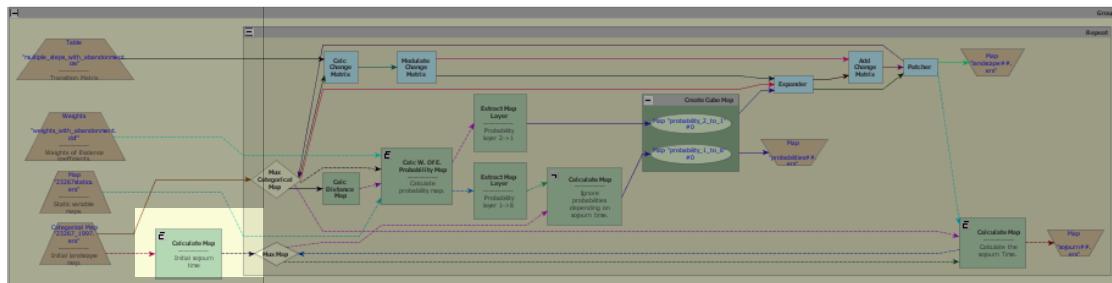
El concepto de tiempo de permanencia puede ser implementado utilizando un mapa cuyas celdas representan contadores de tiempo transcurrido desde que aquella celda cambió al estado actual. Al final de la iteración los valores de las celdas de este mapa son actualizados. Si no hay ningún nuevo evento, el modelo suma 1 al tiempo de permanencia de las celdas que no cambiaron y si un evento ocurre, el reloj es puesto en cero (Fig. 16).

Landscape			Sojourn Time		
t_0			t_1		
1	2	2	1	1	2
3	1	2	3	1	2
X	2	1	X	1	1
t_2			t_3		
1	1	1	1	1	1
3	1	2	3	1	2
X	1	1	X	1	1
99	99	99	100	0	100
99	99	99	100	100	100
X	99	99	X	0	100

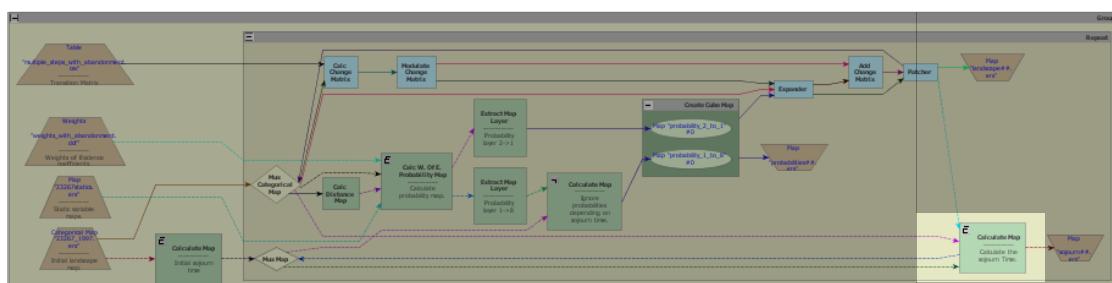
Fig. 16 –En este caso, el mapa contabiliza el tiempo que pasó luego de que una celda ha cambiado a un nuevo estado. Todas las celdas empiezan en 99 unidades de tiempo.

El tiempo de permanencia puede ser usado para decidir en qué celdas será posible que ocurra una transición o no. En este ejemplo, el tiempo de permanencia es usado para influenciar las probabilidades de transición de áreas deforestadas (valor 1) a tierras abandonadas – regeneración (valor 8). Las tierras son abandonadas sólo después de 4 años de uso : i.e. luego que la deforestación ocurrió (transición de 2 a 1).

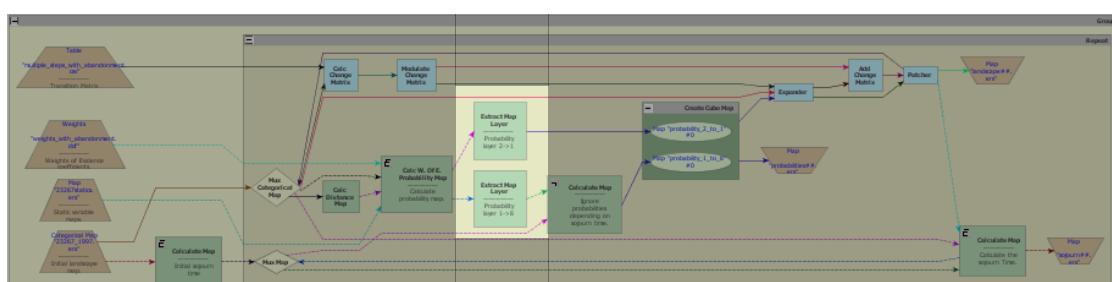
El mapa de tiempo de permanencia empieza con valores altos (e.g. 9999). De esta manera, es posible diferenciar celdas donde una cierta transición nunca ocurrió de celdas que cambiaron durante la simulación. Esto puede ser útil para próximos análisis.



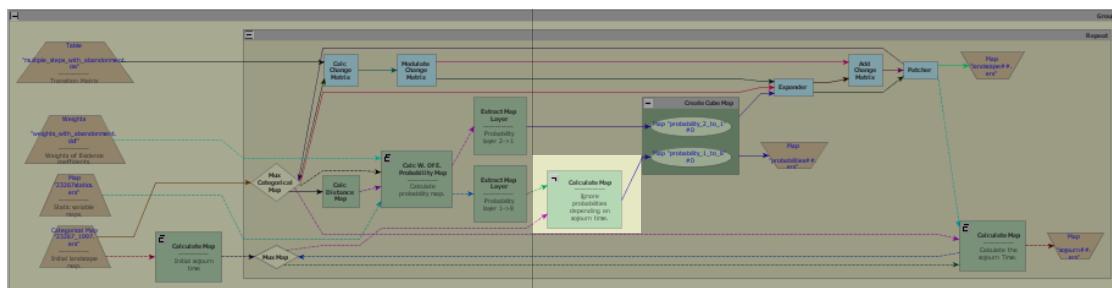
Al final de la iteración, se calcula un nuevo mapa al comparar el mapa de usos del suelo previo con el actual. A las celdas que cambiaron de estado se les atribuye un tiempo de permanencia igual a cero; caso contrario éste se incrementa en una unidad de tiempo.



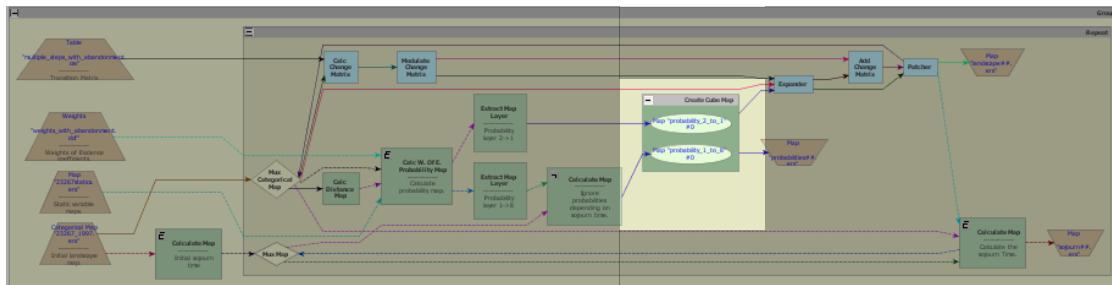
El concepto del tiempo de permanencia es aplicado para limitar una transición. Una manera fácil de hacer esto es modificando el mapa de probabilidades de transición correspondiente. Ya que estos mapas están apilados dentro de un cubo raster, primero necesitará extraer las coberturas del cubo, para que el *Calculate Map* pueda manipularlos separadamente.



Luego de calcular el mapa de probabilidades con el *Calc W.of E. Probability Map*, haremos un nuevo cálculo a la cobertura de la transición de deforestación a tierra abandonada (transición de 1 a 8), el cual consiste en una comparación usando el mapa de tiempo de permanencia. Si una celda fue deforestada hace más de tres años, su probabilidad se mantiene. De lo contrario (< 3 años), la probabilidad de cambio es cero, impidiendo, como resultado, que ocurra esta transición. **TIP:** Los functors de transición (*Patcher* y *Expander*) no producen cambios en celdas cuyas probabilidades son iguales a cero.



Luego, las coberturas de probabilidades (la cobertura original con la transición de 2 a 1 y la nueva cobertura con la transición de 1 a 8) son sobreuestas en un nuevo cubo raster, el cual es pasado a las funciones de transición, *Expander* y *Patcher*.



9.4 Uso del tiempo de permanencia y transiciones determinísticas

Cargue el modelo “simulate_def_aband_and_deterministic_transition.xml” de la carpeta \\Examples\\ sim_defor_and_aband_using_sojourn_time_and_deterministic_transition

En este ejemplo, la transición de tierras abandonadas a bosque (regeneración) es definida determinísticamente, sólo en función del tiempo de permanencia. Por lo tanto, luego de un tiempo en el que el proceso de regeneración ha ocurrido, la parcela abandonada adquiere una estructura de bosque similar a la del bosque maduro, por lo que en adelante se le considera como bosque. El mínimo tiempo de permanencia para que esta transición sea posible es definido en 21 años (Fig. 17).

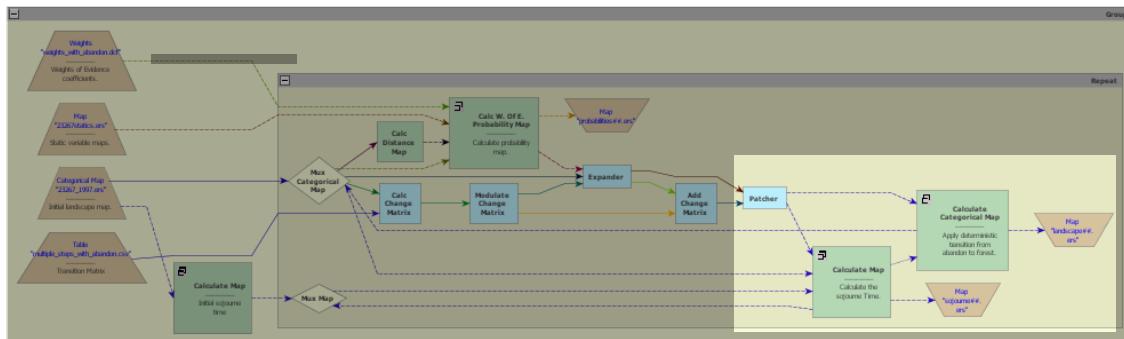
Landscape			Sojourn Time		
t20	t21	t22	t23		
1 3 X	2 8 2	2 1 8	2 1 X	2 8 2	2 1 X
119 119 X	119 18 119	120 120 X	120 19 20	121 121 X	121 7 1
	Transition 8 to 2 occurs only if t(cell) > 20				

Fig. 17 – La transición de tierra abandonada a bosque es definida determinísticamente, sólo en función del tiempo de permanencia.

Un transición adicional, de deforestación a tierra abandonada, es añadida al modelo previo. Un *Calculate Categorical Maps* e coloca al final del modelo y se emplea para realizar esta transición. La regla es la siguiente:

if i1 = 8 and i2 > 20 then 2 else i1.

*i1*es el mapa del paisaje y *i2*es el mapa sojourn (bosque es 2, tierra abandonada es 8). Note que por simplicidad, se asume que no es posible volver a deforestar áreas abandonadas (transición de 8 a 1). Sin embargo, esta nueva transición podría ser incluida en el modelo. Texeira *et al.* (2009) presentan una modelación de las dinámicas del paisaje de la “Mata Atlántica”, en la que se incluyen transiciones de bosque a diversos usos de suelo.



9.5 Uso de la saturación local

Cargue el modelo “simulate_deforestation_using_local_saturation.xml” de la carpeta \\Examples\\advanced\\local_saturation

La saturación local inhibe transiciones dentro de una región específica, en donde el área de una clase (o tipo de uso del suelo) es mayor que un límite establecido (Fig. 18).Este atributo es útil para simular procesos de cambio difusos, así como también para establecer un área mínima de bosque que debe permanecer en pie dentro de determinadas zonas (como aquella determinada por la Ley Forestal Brasileña para predios privados). La saturación local puede ser incorporada al reducir la probabilidad de una transición por medio de una función asintótica como la siguiente:

$$P2 = P1 * (Li - Oc) / (Li + Oc), \text{ case } Li \geq Oc$$

$$P2 = 0, \text{ case } Li < Oc$$

donde $P2$ es la nueva probabilidad, $P1$ es la probabilidad original, Li es el número máximo de celdas de una clase que pueden estar presentes dentro de una cierta vecindad en el mapa y Oc es el número de celdas de esa clase que ya están en esa vecindad.

En el próximo ejemplo, la deforestación dentro de una localidad de 59.25 hectáreas (o 9 celdas - ventana de 3x3) no debe superar el 50% del área total.

En cada iteración se calcula el número de celdas deforestadas en cada ventana de 3x3 celdas del mapa. En este caso, el límite permitido es de 5 celdas, como se indica a continuación :

$$P2 = P1 * (5 - Oc) / (5 + Oc), \text{ case } Li \geq Oc$$

$$P2 = 0, \text{ case } 5 < Oc$$

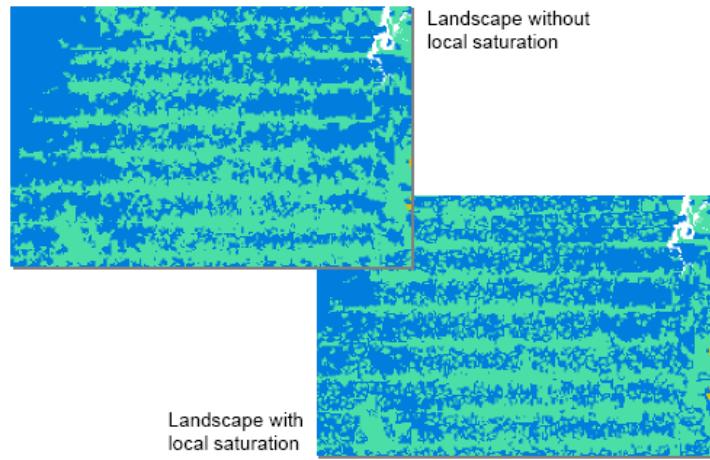


Fig. 18 –Dos paisajes con y sin el efecto de la saturación local

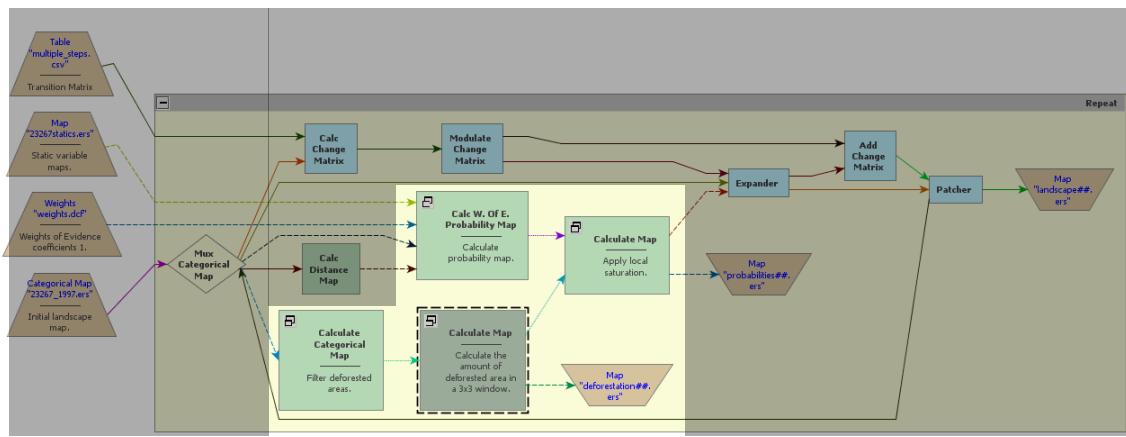
Tres *Calculate Map* deben ser incluidos en el modelo de simulación de la deforestación con el fin de incorporar el efecto de la saturación local. Ábralos para analizar sus ecuaciones. La primera le asigna “1” a las celdas deforestadas y “0” a las del bosque. La segunda cuenta la cantidad de celdas deforestadas al interior de una ventana de 3x3 celdas. Utiliza el siguiente operador de vecindad:

nbCount(i1, 3, 3)

dondennbCount es el operador de vecindad de conteo; i1 , el map # 1; y 3,3 el tamaño de la ventana en celdas. Se puede incrementar fácilmente el tamaño de la ventana al cambiar estos valores. Luego, un tercer *Calculate Map* es incluido para aplicar la regla de saturación local sobre el mapa de probabilidades como se indica a continuación:

if v1 - i1 >= 0 then i2 * (v1 - i1) / (v1 + i1) else 0

Donde v1es el valor de saturación en número de celdas (en este caso igual a 5).



Como resultado, la deforestación se detendrá en las localidades que alcancen un nivel de deforestación igual al límite indicado y se desplazará a nuevas áreas con menores probabilidades de deforestación, simulando así un proceso de deforestación difuso.

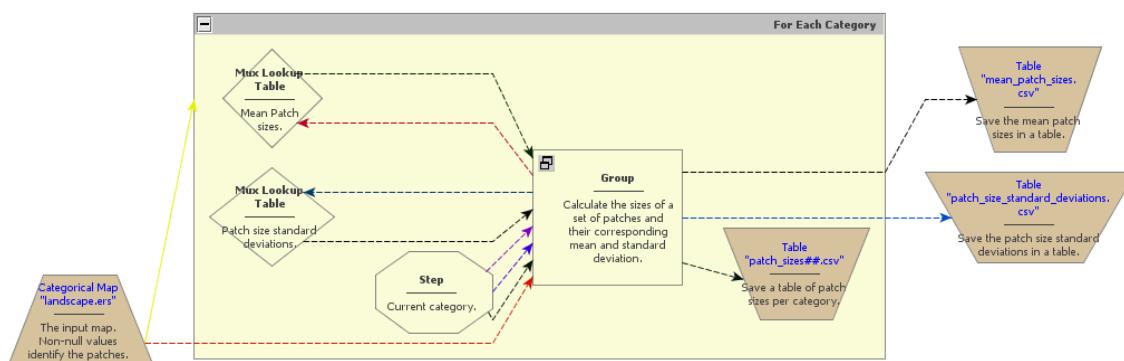
10. Medidas del paisaje en Dinamica EGO

Qué aprenderá?

- Calcular medidas de paisajes
- Tamaño promedio de parches
- Promedio del largo del borde de parches
- Dimensión Fractal
- Functors:
 - *Log policy*

Las medidas del paisaje o Landscape metrics (McGarigal and Marks, 1995) pueden ser una herramienta útil para evaluar la calidad de hábitats cuando la disponibilidad de inventarios de biodiversidad o de datos ecológicos es limitada o de difícil obtención, ya que las medidas del paisaje están fuertemente relacionadas con indicadores de biodiversidad (Metzger, 2006). Por ejemplo, las medidas del paisaje pueden ser aplicadas para identificar la mejor configuración del paisaje para la conservación de especies – independientemente de las percepciones de distintas especies–, el cual hipotéticamente es un paisaje con: i) una extensa cobertura de bosque; ii) un número pequeño de fragmentos de bosque; iii) un alto índice de parches grandes que pueden albergar poblaciones estables y ser la fuente para los parches pequeños; iv) un promedio alto del área de parches; y v) un promedio alto del índice de proximidad al bosque (Texeira et al., 2009). Por lo tanto, la aplicación de estas medidas proporciona una herramienta poderosa para describir las consecuencias que traen los cambios del uso del suelo y cobertura en la conservación de la biodiversidad. En este contexto, presentamos una serie de modelos diseñados en Dinamica EGO para calcular las métricas del paisaje. En vez de proporcionar una solución de tipo ‘caja negra’, todas las medidas son desarrolladas usando el lenguaje de modelación de Dinamica EGO, por lo que sirven de plantillas para derivar una amplia variedad de medidas.

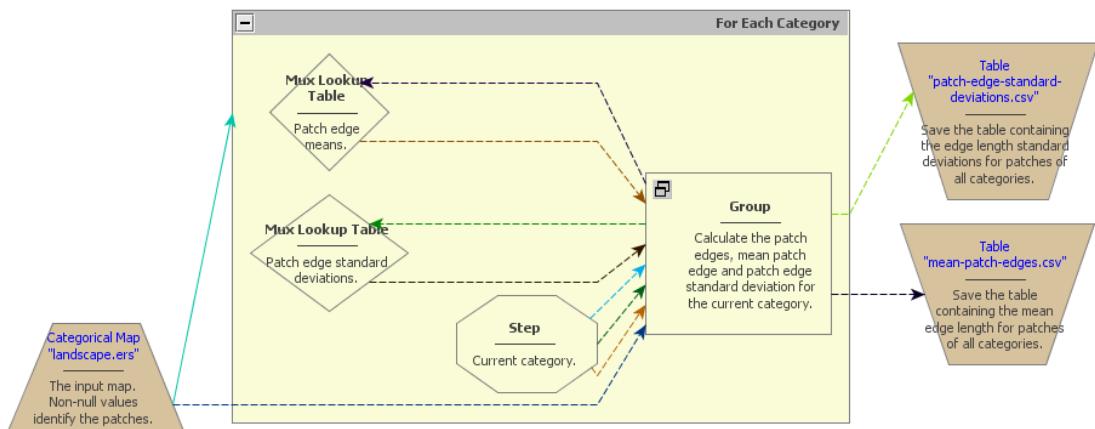
Cargue el modelo “calc_mean_patch_sizes_and_standard_deviations.ego” de la carpeta Examples\landscape_metrics\calc_mean_patch_sizes_and_standard_deviations



Este modelo calcula el tamaño de cada uno de los parches de una determinada clase y la media y desviación standar de todos los parches de cada clase. Como producto se obtiene una tabla con cada una de estas medidas. Abra el functor *Group*, examine el modelo, y luego ejecútelo. El functor *Log Policy*, ubicado dentro del *Group*, se usa para ejecutar el modelo en el modo silencio, incrementando así la velocidad de procesamiento.

Ahora cargue el modelo “calc_mean_patch_edges_and_standard_deviations.ego” de Examples\landscape_metrics\ calc_mean_patch_edges_and_standard_deviations.

Este modelo calcula el largo del borde de cada parche de una determinada clase, y para cada clase obtiene el promedio del largo del borde y la desviación standard de todos los parches. Abra el functor *Group*, examine el modelo, y luego ejecútelo.



Estos dos conjuntos de mediciones son el insumo para mediciones más complejas, tales como la dimensión fractal y el índice del parche más grande. Por ejemplo, la dimensión fractal de una clase puede ser estimada usando la relación área-perímetro, de modo que si existe suficiente información, la pendiente de la línea obtenida al establecer una regresión entre $\log(P)$, el largo de los bordes de parches, y $\log(A)$, áreas de los parches, es igual a $2/D$ (Burrough, 1986). Revise otros modelos de mediciones del paisaje en Examples\landscape_metrics.

11. Estudio de caso REDD

Qué aprenderá?

- Proyectar tasas de deforestación basadas en variables socioeconómicas
- Convertir tasas brutas en netas
- Cómo desarrollar un modelo de monitoreo de carbono
- Functores:
 - *Calc Neighborhood (calcular vecindad)*
 - *Calc Spatial Lag (calcular*

La deforestación en los trópicos es la segunda fuente más importante de gases de efecto invernadero producidos por el hombre. Esto representa de 7 a 28% de las emisiones de CO₂ a nivel mundial, equivalentes a 0.5-2.4 miles de millones de toneladas de carbono emitidos al año (Houghton *et al.*, 2005). Una propuesta para compensar a los países que reduzcan sus emisiones por deforestación y degradación del bosque (REDD) fue presentada inicialmente por IPAM y otras organizaciones durante la novena COP (Conferencia de las Partes) en Milán, 2003 (Santilli *et al.* 2005; Moutinho & Schwartzman 2005). Esta propuesta recomendaba que los países en vías de desarrollo que fueran capaces de reducir la deforestación a niveles inferiores a sus líneas bases históricas, por un período de tiempo (compromiso), serían elegidos para recibir compensaciones financieras por la comunidad internacional, a través de un mercado de

créditos de carbono. Posteriormente, la propuesta fue oficialmente presentada por Papua-Nueva Guinea, Costa Rica, y otros países tropicales durante la undécima COP en Montreal, 2005 (Silva-Chavez and Petsonk 2006; Schlamadinger *et al.* 2007; Skutsch *et al* 2007; Sedjo & Sohngen 2007). En Diciembre de 2007, la decimotercera COP, llevada a cabo en Bali, Indonesia, estableció una hoja de ruta para un protocolo climático post-Kyoto (a aplicarse a partir de 2013), el cual subrayaba la necesidad de buscar mecanismos para proveer a los países en desarrollo, de incentivos para reducir emisiones de carbono producidas por la deforestación. Este esquema generó un discusión mundial sobre cómo establecer métodos de evaluación, reglas, y medidas económicas para los programas REDD.

Uno de los principales problemas relacionados al esquema REDD consiste en medir la contribución del proyecto REDD (a nivel país, estado, o región) a la disminución efectiva de las emisiones de carbono por deforestación y degradación del bosque, de manera que se puedan recompensar monetariamente estos esfuerzos. Este aspecto es uno de los que más controversias ha generado, debido a que existen varias formas de medir este esfuerzo, en relación a las tasas históricas de deforestación de cada región, stocks de carbono, y el potencial de deforestación futura (e.g. Cattaneo, 2008). Por ejemplo, el esquema de reducción de emisiones por debajo de la línea base histórica sería suficiente para países con tasas históricas de deforestación altas, y por lo tanto, con un gran margen para reducir sus emisiones por deforestación, como es el caso de Brazil, con una línea base de $19.500 \text{ km}^2 \text{ año}^{-1}$. Por el contrario, países con extensas áreas de bosque tropical en pie y tasas de deforestación actual o históricamente bajas (e.g. Perú), no serían elegibles para ser compensados, ya que no existe adicionalidad en su esfuerzo de reducir deforestación (Fig. 19). Sin embargo, es muy posible que la deforestación en Perú se incremente luego del término de la construcción y pavimentación de la Carretera Interoceánica Sur, la cual conecta a Brazil con el Océano Pacífico, así como también por el desarrollo de proyectos de infraestructura en proceso de ejecución en la región (Fig. 20). Estos proyectos ya han ocasionado una fuerte migración de habitantes de los Andes y otras zonas del Perú al departamento de Madre de Dios en la región occidental de la Amazonía.

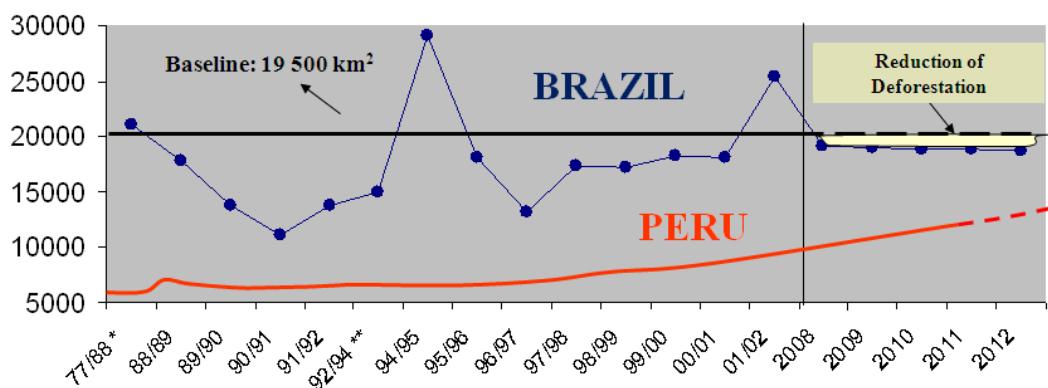


Fig. 19 –Diferentes trayectorias de la deforestación en Brazil y Perú y sus implicancias en las propuestas REDD.

Para realizar una evaluación ex ante de la deforestación futura potencial bajo un escenario Business-as-Usual (BAU), los primeros proyectos REDD, tales como el proyecto de conservación JUMA (FAS, 2008) vienen adoptando el uso de modelos de simulación (Soares-Filho *et al.*, 2006). En estos casos, una serie de supuestos son establecidos para diferenciar el escenario BAU de distintos escenarios de gobernabilidad, que incluyen la pavimentación de carreteras,

expansión de la frontera agrícola, movimientos poblacionales, expansión y consolidación de áreas naturales protegidas, y la efectividad que tengan las políticas públicas en frenar la deforestación. El modelo simula trayectorias de deforestación bajo los distintos escenarios y calcula sus respectivas emisiones. Por lo tanto, en vez de usar una línea de base histórica, la potencial reducción es comparada al substrair la cantidad acumulada de emisiones bajo el escenario de gobernabilidad de aquella correspondiente al escenario BAU hasta un año determinado (en general 2050).

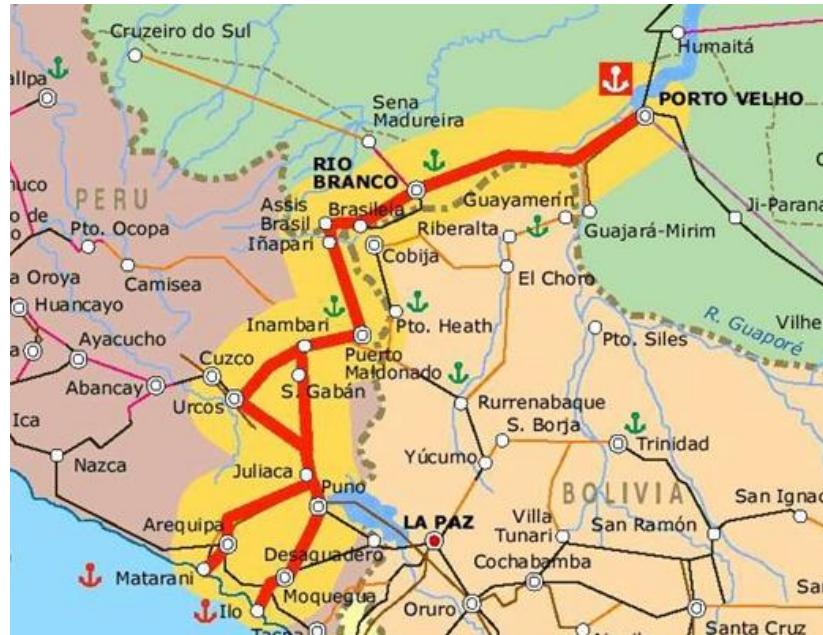


Fig. 20 –Proyectos de infraestructura en la region MAP. MAP son las siglas de los Departamentos/Estados de Madre de Dios (Peru), Acre (Brazil) y Pando (Bolivia).

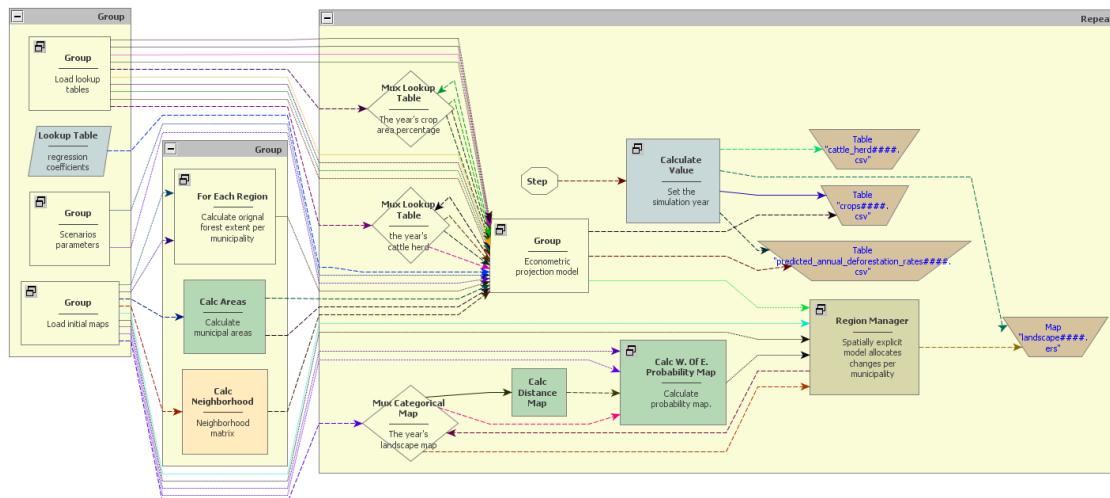
A pesar que los modelos de simulación juegan un rol importante en la modelación de los efectos de escenarios alternativos de políticas del uso del suelo en las dinámicas del paisaje, esta metodología debe ser aplicada con precaución en proyectos REDD. La necesidad de estimar emisiones potenciales futuras como una manera de medir la contribución de una política pública o iniciativa de conservación al esquema REDD, tal como la creación de un área natural protegida, está promoviendo rápidamente, el uso de modelos de simulación como herramienta para los proyectos REDD. Muchos softwares comerciales y no comerciales están disponibles para desarrollar modelos de simulación especial. Sin embargo, no existe una solución definitiva para un proyecto REDD en particular (a pasear que algunos vendedores lo aseguren). Además, para simular los efectos de determinantes espaciales sobre la ubicación de la deforestación (ver lección 7), hay una necesidad de modelar las fuerzas (drivers) que causan la deforestación a nivel local, regional, e incluso internacional. Eso es mucho más complicado y depende totalmente de la disponibilidad de datos socioeconómicos temporales, a diferentes escalas espaciales, así como también, de series de tiempo de la deforestación. Esos modelos deben ser construidos desde abajo, desde el campo, (*i.e.* con una aproximación de abajo hacia arriba, en vez de desde arriba hacia abajo), incorporando el conocimiento que tengamos de las causas próximas (inmediatas) y subyacentes (mediatas) de la deforestación, debiendo pasar por un proceso de validación, no sólo en términos de su predicción espacial, sino también, en relación a su poder de predicción de las trayectorias de deforestación reciente, basadas en cambios del contexto socioeconómico y político. Aun así, los modelos de simulación no son bolas mágicas. Las trayectorias futuras modeladas deben ser tomadas sólo como una posibilidad; más allá de esto, sonsólo pura especulación.

En este contexto, el modelo que aquí se presenta busca demostrar las posibilidades que Dinamica EGO ofrece para representar fenómenos complejos. Por lo tanto, en vez de una solución lista para ser aplicada a un proyecto REDD, el cual quizás no funcione de ninguna manera, Dinamica EGO provee los medios para materializar, en un entorno computacional, nuestro conocimiento sobre complejos fenómenos dinámicos, tales como la forma en la que los contextos locales, regionales, e internacionales interactúan con la deforestación.

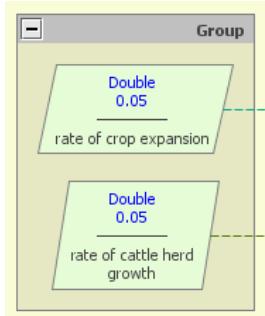
11.1. Desarrollode un modelo de proyección econométrico que predice las tasas de deforestación basándose en cambios en el contexto socioeconómico de municipios

En este ejemplo, un modelo econométrico es acoplado a un modelo explícito espacial de simulación de la deforestación. El modelo econométrico predice las tasas de deforestación basándose en cambios del contexto socioeconómico a nivel de municipios (Soares-filho *et. al*, 2008). Se aplica una regresión espacial por desfase para calcular la influencia de cinco variables: la expansión del área agrícola, incremento del número de cabezas de ganado vacuno, porcentaje de áreas protegidas, distancia a carreteras pavimentadas, y tasas de migración. Una matriz espacial de vecindad le permite al modelo incorporar la influencia del contexto socioeconómico de los municipios vecinos, en la predicción de las tasas de deforestación de un municipio en particular.

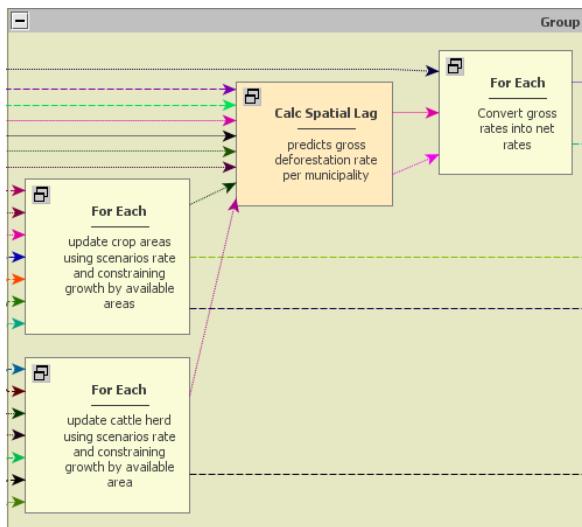
Cargue el modelo “simulate_deforestation_under_socioeconomic_scenarios.xml” de la carpeta \Examples\REDD_case_study. Este modelo consta de tres partes principales: los insumos, el pre-cálculo, y el modelo de simulación en sí mismo.



En esta versión simplificada de Soares-Filho *et al.* (2008), el usuario puede modificar el escenario al cambiar las tasas anuales de expansión agrícola y de incremento del ganado vacuno. También se pueden cambiar otras variables editando las lookup tables de inicio.



El grupo de pre-cálculo calcula la extensión original del bosque para cada municipio, el área del municipio, y la matriz de vecindad (*Calc neighborhood*) que define cuáles municipios son vecinos de otros. Estos serán los insumos del modelo de simulación. Abra el grupo denominado “Econometric projection model”.

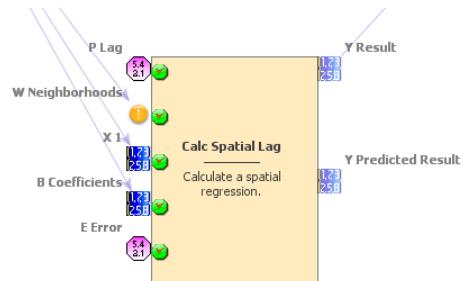


Este *Group* contiene tres *For Each* y un *Calc Spatial Lag*. Los dos primeros *For Each* actualizan las lookup tables del ganado y del área agrícola, y calculan sus tasas anuales de cambio, las que son insumos para la regresión espacial de desfase. **TIP:** *For Each* busca los elementos de una tabla permitiendo su manipulación. Además de las lookuptables de las cinco variables independientes, *Calc Spatial Lag* recibe como insumo el coeficiente de desfase, la matriz de vecindad, una tabla inicial variable dependiente *x1*, los coeficientes de regresión, y un término aleatorio de error. Este functor representa una ecuación de regresión espacial de desfase de la siguiente forma (Anselin, 2002):

$$y = \rho W y + X\beta + \varepsilon$$

Donde ρ es el coeficiente de autoregresión, W es la matriz de vecindad de primer orden, y la variable dependiente, X la matriz de observaciones de las variables independientes, β el vector con los coeficientes de regresión, y ε un término aleatorio de error. En esta ecuación el término $\rho W y$ se calcula de forma iterativa usando promedios móviles de las respuestas y de los municipios vecinos. En este caso, en vez de utilizar un modelo lineal clásico, se adoptó una regresión espacial de desfase ya que el modelo de regresión no pasó las pruebas de autocorrelación (Anselin, 2002).

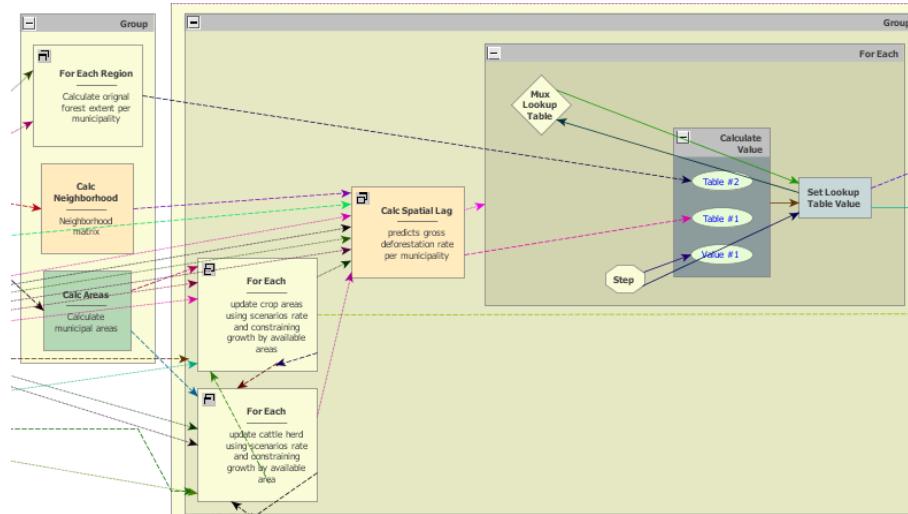
Dinamica EGO no proporciona un método para desarrollar una regresión espacial de desfase, sólo para resolver la ecuación, la que fue elaborada usando *Geoda* (www.geoda.uiuc.edu).



Finalmente el tercer *For Each* conviertelas tasas de deforestación bruta, producidas en el *Calc Spatial Lag*, a tasas netas de deforestación utilizando la siguiente fórmula:

if t1[v1] / t2[v1] > 1 then 1 else if t1[v1] / t2[v1] < 0 then 0 else t1[v1] / t2[v1]

dondet₁[v1] es la tasa bruta y t₂[v1] la extensión original de bosque de un municipio.

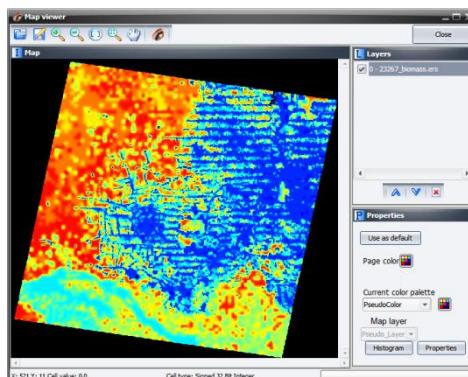


El modeloeconométrico pasa las tasas de deforestación modeladas a un modelo explícito espacial que ubica la deforestación en cada municipio utilizando el enfoque de subregión utilizado en la lección 9.2.

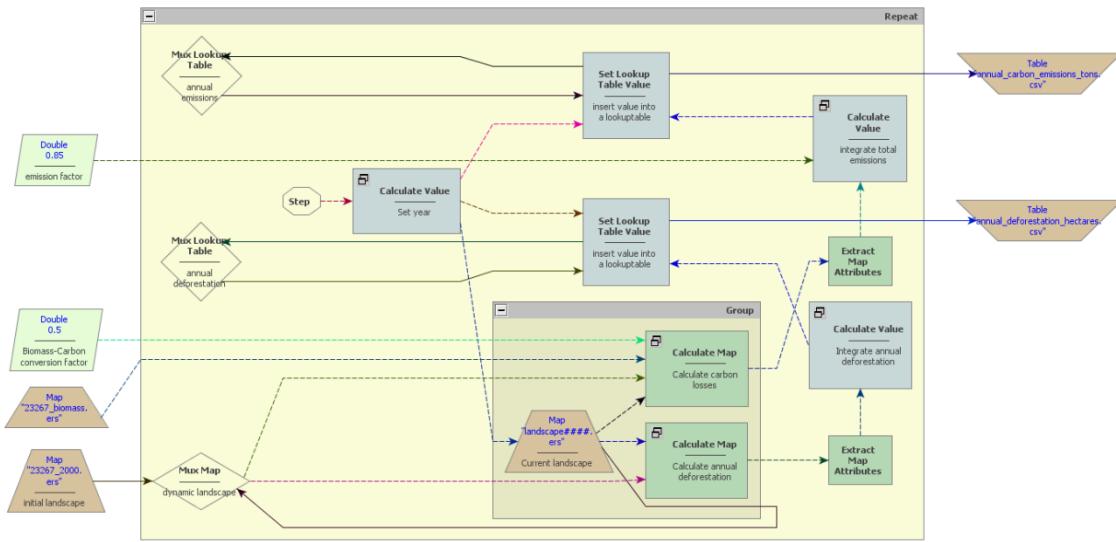
11.2. Desarrollo de un modelo para monitorear las emisiones de carbono

Abra el modelo “carbon_bookeeping_model.xml” de la carpeta \Examples\REDD_case_study

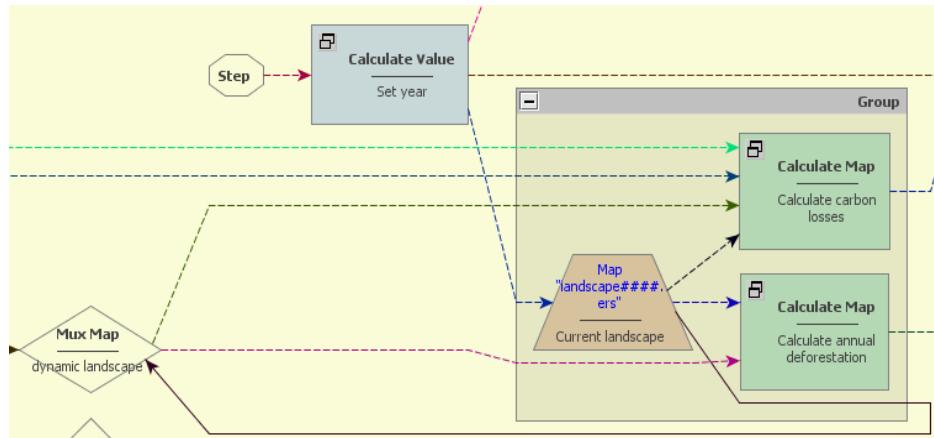
Este modelo calcula las emisiones anuales de carbono, identificando deforestación anual y luego, sobreponiendo las áreas deforestadas sobre un mapa de biomasa de carbono en el bosque – ver la figura abajo (Saatchiet al., 2007). Se asume que el contenido de carbono es el 50% de la biomasa leñosa (Houghton et al., 2001) y que 85% del carbono contenido en árboles es liberado a la atmósfera a causa de la deforestación (Houghton et al., 2000).



Para calcular la deforestación anual, el modelo compara el mapa de usos de suelo de la iteración actual con el de la anterior. Dinamica permite que se carguen múltiples mapas usando un *Load Map* dentro de un *Repeat* y pasando *Step* como un indicador del nombre del archivo que tiene el número de la iteración como su sufijo. Note que en este caso el sufijo tiene 4 dígitos para representar el año de cada iteración (2002-2020).



Dentro del *Group* colocamos un *Load Map* para asegurar un adecuado orden de la ejecución del modelo. El mapa previo de uso del suelo se mantiene en un *Mux Map*, así que ambos *Calculate Map* dentro de este contenedor reciben el mapa previo como **i1** y el vigente como **i2**.



Luego que las celdas deforestadas de cada año son identificadas, el modelo recoge el correspondiente stock de biomasa del mapa de biomasa y lo convierte en carbono y luego en emisiones. Usamos un *Extract Map Attribute* para calcular el número total de celdas y el *Calculate Value* integra esas figuras para cada año. El producto se pasa a *Set Lookup Table* que actualiza una tabla con las emisiones anuales de carbono (Fig. 21).

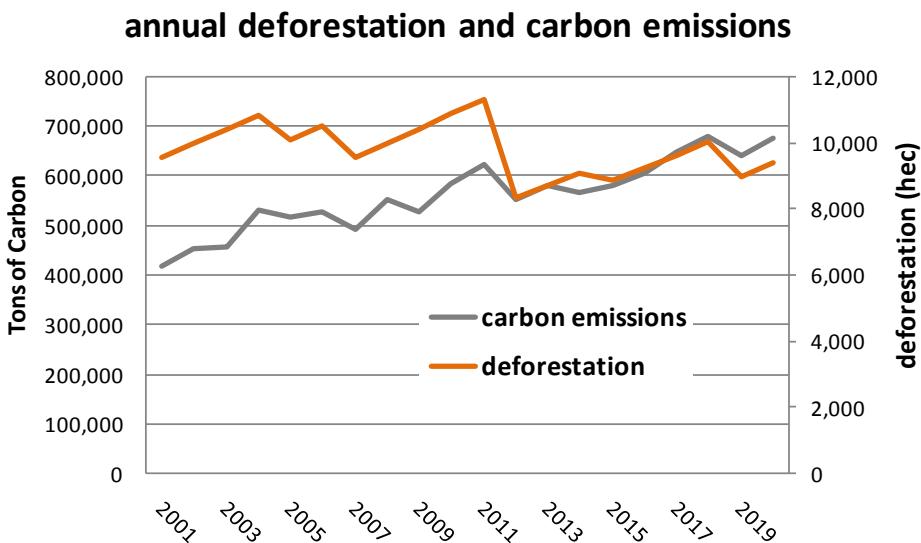
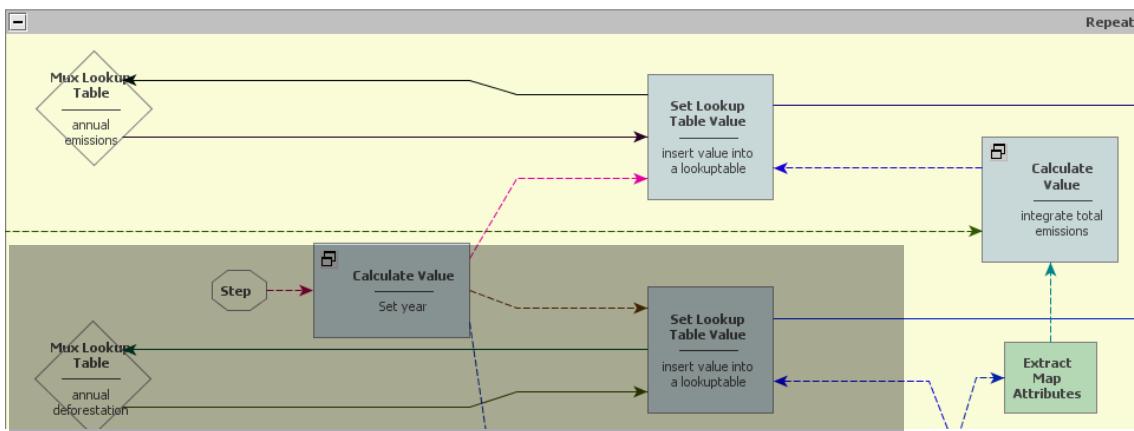


Fig. 21 –Deforestación y emisiones anuales calculadas para la región modelo.

Comentarios finales

Felicitaciones! Ha completado el tutorial. Qué gran esfuerzo! Otros ejemplos y textos sobre Dinamica EGO y sus aplicaciones están disponibles en la carpeta Examples. Esperamos que haya adquirido el conocimiento básico para el diseño de modelos a través del uso de Dinamica EGO y pueda avizorar las enormes posibilidades de modelamiento ambiental. Esto es sólo la punta del iceberg, ahora depende de usted explorar esta gran vía para el diseño creativo e ingenioso de modelos ambientales.

Dinamica EGO es un software no-comercial de libre disponibilidad (vea el copyright debajo). Varios programas de investigación llevados a cabo por CSR/UFMG han contribuido en su desarrollo. Estamos muy agradecidos con todos los auspiciadores que directa o indirectamente contribuyeron a hacer de Dinamica EGO lo que hoy es. Vea la lista de auspiciadores.

Estamos comprometidos con apoyar estudiantes e investigadores interesados en su uso. Para mayores preguntas, contáctenos a: dinamica@csr.ufmg.br. El laboratorio CSR de la UFMG tiene un programa de visitas académicas.

Dinamica EGO Copyright

Copyright(c) 1998-2009Centro de Sensoriamento Remoto / Universidade Federal de Minas Gerais - Brazil. Todos los derechos reservados.

El producto es otorgado a usted bajo licencia “tal y cómo está”, sujeto a los términos y condiciones de este Acuerdo, para su uso personal, y uso no-comercial únicamente. Por lo tanto, no puede ser transferido en su totalidad o parcialmente a un tercero, siendo una institución comercial o que use el software comercialmente. Se define a una institución comercial como cualquier compañía u organización con fines lucrativos. Uso comercial es definido como cualquier uso dentro de una institución comercial, cualquier uso lucrativo, o cualquier uso dentro de una cooperación de dos o más partes en la que por lo menos una de ellas persiga un fin lucrativo o sea una institución comercial. Fuera de los derechos que aquí se le otorgan expresamente a continuación, ningún otro derecho es otorgado. Las restricciones a las que usted estará sujeto no se limitan a las que se mencionan a continuación; usted no debe: (a) modificar o crear ningún derivado del producto o de la documentación; (b) descompilar, desensamblar, realizar ingeniería inversa, o intentar derivar el código fuente del producto; o (c) redistribuir, restringir, vender, alquilar, otorgar una sub-licencia, o transferir derechos sobre el producto sin previa autorización escrita de **CSR/UFMG**.

12. Referencias

- Agterberg, F.P. and Bonham-Carter, G.F. Deriving weights of evidence from geoscience contour maps for the prediction of discrete events. XXII Int. Symposium AP-COM, 381-395. (1990).
- Anselin, L. *Spatial Externalities, Spatial Multipliers and Spatial Econometrics*. (University of Illinois, Urbana-Champaign(2002).
- Bonham-Carter, G. *Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS*. Pergamon, 398 pp.(1994).
- Burrough, P. A. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Clarendon Press, Oxford (1986).
- Cattaneo, A. How to Distribute REDD Funds Across Countries? A Stock-Flow Mechanism. Submission to the United Nations Framework Convention on Climate Change regarding AWG-LCA (FCCC/AWGLCA/2008/L.7) (2008).
- Costa, M. H., Botta, A. & Cardille, J. A. Effects of Large-Scale Changes in Land Cover on the Discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. *Journal of Hydrology* **283**, 206-217(2003).
- Costanza, R. Model goodness of fit: a multiple resolution procedure. *Ecological Modelling*, **47**, 199-215 (1989).
- FAS (Fundação Amazônia Sustentável). *The Juma Sustainable Development Reserve Project: Reducing Greenhouse Gas Emissions from Deforestation in the State of Amazonas, Brazil. For validation at Climate Community and Biodiversity alliance (CCBA)*. http://www.climate-standards.org/pdf/release_juma_english_v_1_0_3.pdf Retrieved on October, 09, (2008).
- Fearnside, P. M. Environmental Services as a Strategy for Sustainable Development in Rural Amazonia. *Ecological Economics* **20** 53-70(1997).
- Geist, H. J. & Lambin, E. F. *What Drives Tropical Deforestation? A Meta-Analysis of Proximate and Underlying Causes of Deforestation Based on Subnational Case Study Evidence*. Belgium, LUCC International Project Office, LUCC Report Series, 4.136pp. Internet, <http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/lucc.htm> (2001).
- Goodacre C. M., Bonham-Carter G. F., Agterberg, F. P., Wright D. F. A statistical analysis of spatial association of seismicity with drainage patterns and magnetic anomalies in western Quebec. *Tectonophysics* **217**, 205-305 (1993).
- Hagen, A. Fuzzy Set Approach to Assessing Similarity of Categorical Maps. *International Journal of Geographical Information Science*, **17**, 235-249 (2003).
- Houghton, R.A. et al. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. *Nature* **403**, 301-304 (2000).

- Houghton, R. A., Lawrence, K. T., Hackler, J. & Brown, L. S. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. *Global Change Biology*7, 731-746 (2001).
- Houghton, R.A. Tropical deforestation as a source of greenhouse gases. *Tropical Deforestation and Climate Change*. Edited by P. Moutinho and S. Schwartzman. IPAM and ED (2005).
- Hirsch, A. I., Little, W. S., Houghton, R. A., Scott, N. A., White, J. D. The Net Carbon Flux Due to Deforestation and Forest Re-Growth in the Brazilian Amazon: Analysis Using a Process-Based Model. *Global Change Biology*10, 908-924 (2004).
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite - Projeto PRODES. (<http://www.obt.inpe.br/prodes>). (2007)
- McGarigal, K., Marks, B.J. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. PNW-GTR-351. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland. (1995).
- Metzger, J.P., How to deal with non-obvious rules for biodiversity conservation in fragmented landscapes? *The Brazilian Journal of Nature Conservation* 4, 125-139 (2006).
- Moutinho, P. and S. Schwartzman. *Tropical Deforestation and Climate Change*. IPAM and ED.(2005).
- Merry, F., Soares-Filho, B.S., Nepstad, D., Amacher, G., Rodrigues, H. Balancing Conservation and Economic Sustainability: The Future of the Amazon Timber Industry. *Environmental Management*doi: 10.1007/s00267-009-9337-1 (2009).
- Pontius, R.G. Jr., Statistical Methods to Partition Effects of Quantity and Location During Comparison of Categorical Maps at Multiple Resolutions. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*68, 1041-1049(2002).
- Power, C., Simms, A., White, R. Hierarchical fuzzy pattern matching for the regional comparison of Land Use Maps. *International Journal of Geographical Information Science*15, 77-100(2001).
- Saatchi, S. S., Houghton, R. A., Dos Santos Alvala, R. C., Soares, Z. J. V. & Yu, Y. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Global Change Biology* 13, 816–837 (2007).
- Schlundmadinger, B., T. Johns, L. Ciccarese, M. Braun, A. Sato, A. Senyaz, P. Stephens, M. Takahashi, and X. Zhan. 2007b. Options for including land use in a climate agreement post-2012: improving the Kyoto Protocol approach. *Environmental Science and Policy*10, 295-305 (2007).
- Sampaio, G., Nobre, C., Costa, M. H., Satyamurty, P., Soares-Filho, B. S., Cardoso, M. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. *Geophysical Research Letters*34, 1-7doi:10.1029/2007GL031202(2007).
- Santilli, M. P., P. Moutinho, S. Schwartzman, D. C. Nepstad, L. Curran, and C. Nobre.. Tropical deforestation and the Kyoto Protocol: an editorial essay. *Climatic Change*71, 267-276 (2005).
- Schneider, E. K., Fan, M; Kirtman, B. P. & Dirmeyer, P. Potential Effects of Amazon Deforestation on Tropical Climate. *Cola Technical Report* 226, 1-41(2006).
- Sedjo, R.A., B. Sohngen. Carbon credits for avoided deforestation. Washington, D.C, *Resources for the Future*(2007)
- Silva-Chavez, G. and Petsonk, A. Rainforest credits. *Carbon Finance* 6, 18(2006).
- Skutsch, M., N. Bird, E. Trines, M. Dutschke, P. Frumhoff , B. H. J. de Jong, P. van Laake, O. Masera, and D. Murdiyarso. Clearing the way for reducing emissions from tropical deforestation. *Environmental Science and Policy*10, 322-334 (2007).
- Soares-Filho, B. S., Pennachin, C. L., Cerqueira, G. DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*154, 217-235 (2002).
- Soares-Filho, B. S., Corradi, L., Cerqueira; Araújo, W. Simulating the spatial patterns of change through the use of the dinamica model. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 11, 2003, BH, INPE, p. 721-728. (2003).

- Soares-Filho, B. S., Alencar, A., Nepstad, D., Cerqueira, G., Vera-Diaz, M., Rivero, S., Solórzano, L. & Voll, E. Simulating the Response of Land-Cover Changes to Road Paving and Governance Along a Major Amazon Highway: The Santarém-Cuiabá Corridor. *Global Change Biology* **10**, 745-764(2004).
- Soares-Filho, B. S., Nepstad, D., Curran, L., Voll, E., Cerqueira, G., Garcia, R. A., Ramos, C. A., McDonald, A., Lefebvre, P. & Schlesinger, P. Modeling Conservation in the Amazon Basin. *Nature* **440**, 520-523 (2006).
- Soares-Filho, B. S., D. C. Nepstad, L. M. Curran, G. C. Cerqueira, R. A. Garcia, C. A. Ramos, E. Voll, A. McDonald, P. Lefebvre, and P. Schlesinger. Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature* **440**, 520-523 (2006).
- Soares-Filho, B.S., Garcia, R. A., Rodrigues, H., Moro, S., Nepstad, D. 2008b. Nexus entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: Batistella, M., Alves, D., Moran, E. (Org.). *Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação*. São Paulo, v. 1 (2008).
- Teixeira, A. M., Soares-Filho, B.S., Freitas, S. Metzger, Jean Paul Walter. Modeling Landscape dynamics in the Atlantic Rainforest domain: Implications for conservation. *Forest Ecology and Management* **257**, 1219–1230 (2009).

13. Lista de functors

	pg.
Add Change Matrix	86, 87, 93
Calc Areas	53, 54, 58
Calc Change Matrix	74, 75
Calc Cost Map	35, 39, 41, 48
Calc Distance Map	67, 73, 74, 76, 91, 93, 98, 99,
Calc Distance To Feature Map	44, 45, 46, 47
Calc Neighborhood	111
Calc Patch Label Map	53, 54, 58
Calc Pathway Map	35, 40, 41
Calc Reciprocal Similarity Map	77, 78, 79, 81, 82
Calc Spatial Lag	111, 112
Calculate Categorical Map	44, 45, 47, 55, 57, 58, 77, 78, 103
Calculate Map	16, 17, 18, 23, 25, 26, 27, 28, 34, 35, 37, 38, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 79, 81, 102, 105, 113
Calculate Value	30, 56, 79, 82, 89, 91, 94, 113
Calc WOFE Probability Map	68, 73, 74, 75, 87, 91, 93, 102
Determine Transition Matrix	62
Determine Weights Of Evidence Coefficients	69, 70
Determine Weights Of Evidence Correlation	68, 72
Determine Weights Of Evidence Ranges	66, 67, 68

Expander	62, 75, 85, 86, 87, 88, 91, 93, 102, 103
Extract Map Attributes	28, 29, 56, 113
For	81, 82, 83
For Each	58, 111, 112
For Each Category	33, 34, 55, 56, 99, 100, 101
Group	52, 53, 55, 79, 82, 89, 101, 106, 107, 111, 113
If Not Then	79
If Then	79
Join Map	79
Load Categorical Map	27, 39, 43, 46, 73, 92, 98
Load Lookup Table	73, 92
Load Map	27, 34, 37, 39, 55, 69, 73, 92, 113
Load Weights	70, 73, 92, 97, 100
Log Policy	106
Lookup Table	37
Modulate Change Matrix	86, 87, 88, 93, 118
Mux Categorical Map	91, 101
Mux Lookup Table	29, 30, 31, 56, 57, 83
Mux Map	113
Name	74
Name Map	68, 70, 73, 93
Number Map	16, 17, 26, 27, 34, 37, 43, 44, 45, 49, 51, 54, 55, 57, 68
Number Table	28, 37, 38, 57
Number Transition Matrix	97
Number Value	27, 89
Patcher	62, 74, 75, 84, 87, 88, 91, 94, 102, 103
Regional Categorical Map	100, 101
Regionalize Categorical Map	100
Regionalize Map	34, 35, 55
Region Manager	33, 34, 55, 57, 58, 99, 100
Repeat	27, 29, 31, 33, 34, 73, 76, 82, 89, 93, 97, 99, 113
Save Lookup Table	31
Save Map	16, 17, 24, 31, 34, 37, 39, 40, 43, 44, 45, 46,

Set Lookup Table Value	49, 50, 51, 54, 55, 69, 73, 74, 76, 89
Step	29, 30, 31, 32, 56, 82, 83, 113
	27, 28, 30, 34, 55, 56, 63, 81, 82, 89, 94, 100, 113