

Modelación de los cambios de cubierta / uso del suelo con Dinamica EGO

2-3 de abril 2017
CIGA – UNAM

Jean-F. Mas
CIGA - UNAM



CURSO TALLER
Modelación de patrones y procesos de cambio

2-7
ABRIL
2017

CICLO DE CONFERENCIAS | CURSOS DE MODELACIÓN CON Dinamica EGO y APoLUS

 **CIGA**  **CONACYT**
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL
UNAM, Campus Morelia

Estructura del curso:

Presentación del modelado de cambios

Enfoques de modelado

Modelos empíricos de cambio

Prácticas con DINAMICA-EGO (Michoacán).

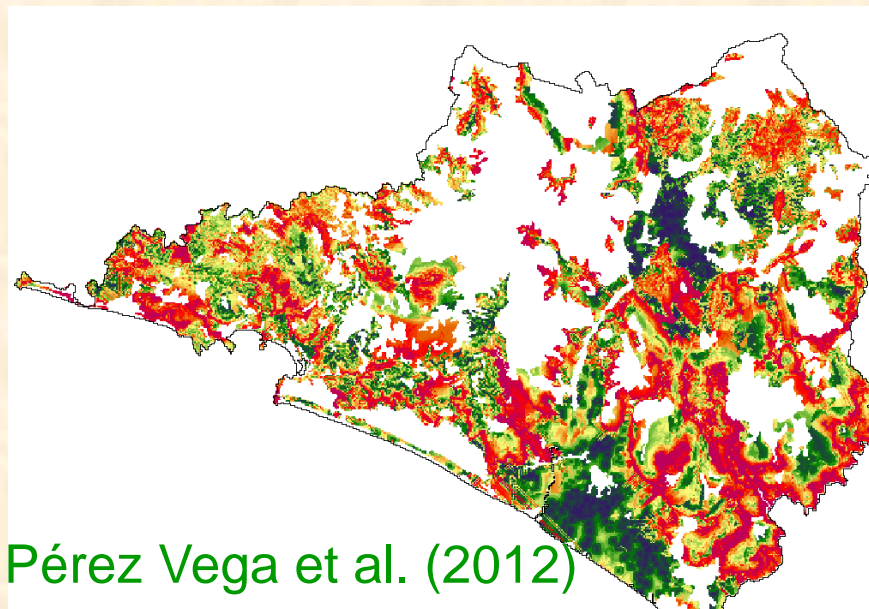
Dinámica del curso:

Partes teóricas / prácticas alternadas

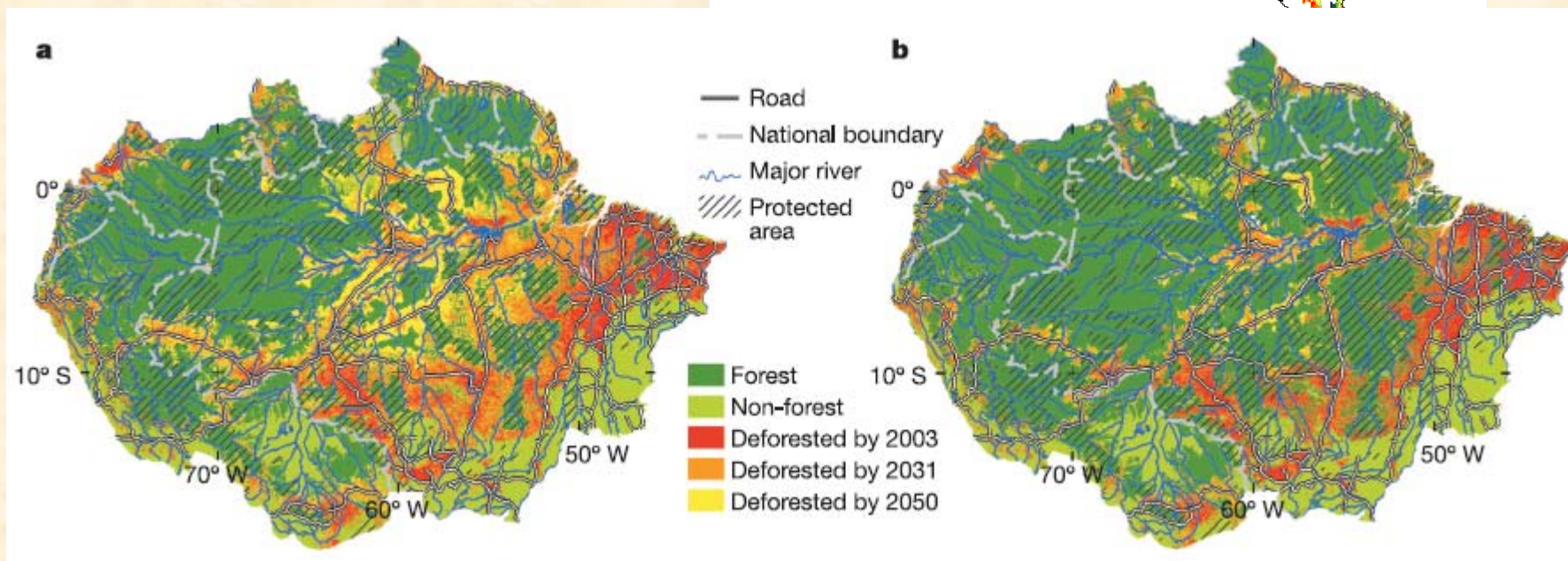
Por fa, preguntar en caso de duda

https://dl.dropboxusercontent.com/u/22467480/Model_CCUS_dinamica.zip

Modelos espaciales de cambio de cobertura



Pérez Vega et al. (2012)



Soares Filho et al. (2005)

Modelos espaciales de cambio de cubierta

Según Lambin (1994) varias ventajas:

- Mejor entendimiento de las relaciones cambios / “causas” del cambio (ej. Deforestación).
- Predicción de la localización de las áreas más susceptibles a ser deforestadas.
- Escenarios a futuro (alternativas).
- Herramienta de apoyo para el diseño de políticas ambientales.

Modelos de cambio de cubierta

Dos enfoques diferentes:

- Modelos enfocados a los actores (modelos orientados a agentes). Tratan de simular la toma de decisión. En general necesitan muchos datos, modelo locales, difíciles de extrapolar, no espaciales.
- Modelos enfocados a patrones. Cambios de un estado al otro, orientado SIG.
- Modelos híbridos, tratan de conciliar ambos enfoques.
 - Modelos basados en los datos (*Data driven*)
 - Modelos basados en conocimiento experto (*Knowledge driven*)
 - Modelos híbridos

Modelos empíricos de cambio

- Expansión urbana
- Cambio de uso/cubierta del suelo
- Deforestación

Muchos enfoques de modelado: en particular agentes / **patrones, basados en datos** / conocimiento experto

3 etapas:

1. Entrenamiento (calibración), basado en tendencia pasada
2. Simulación
3. Validación

Modelado de los cambios:

Modelado de los cambios: mapas de áreas más propensas a los cambios, mapas de uso/cubierta del suelo prospectivos.

Bajo diferentes escenarios

El modelo debe resolver varias preguntas:

- 1) cuánto (superficie) debe cambiar ? No necesario si el modelo produce sólo un mapa de probabilidad de cambio.
- 2) dónde ? Cómo resolver competencia entre usos?
- 3) con qué patrones espaciales (eventualmente) ?

Entrenamiento (calibración)

2 mapas de fecha diferente: mapa de cambio (matriz de Markov)

Base de datos geográfica :

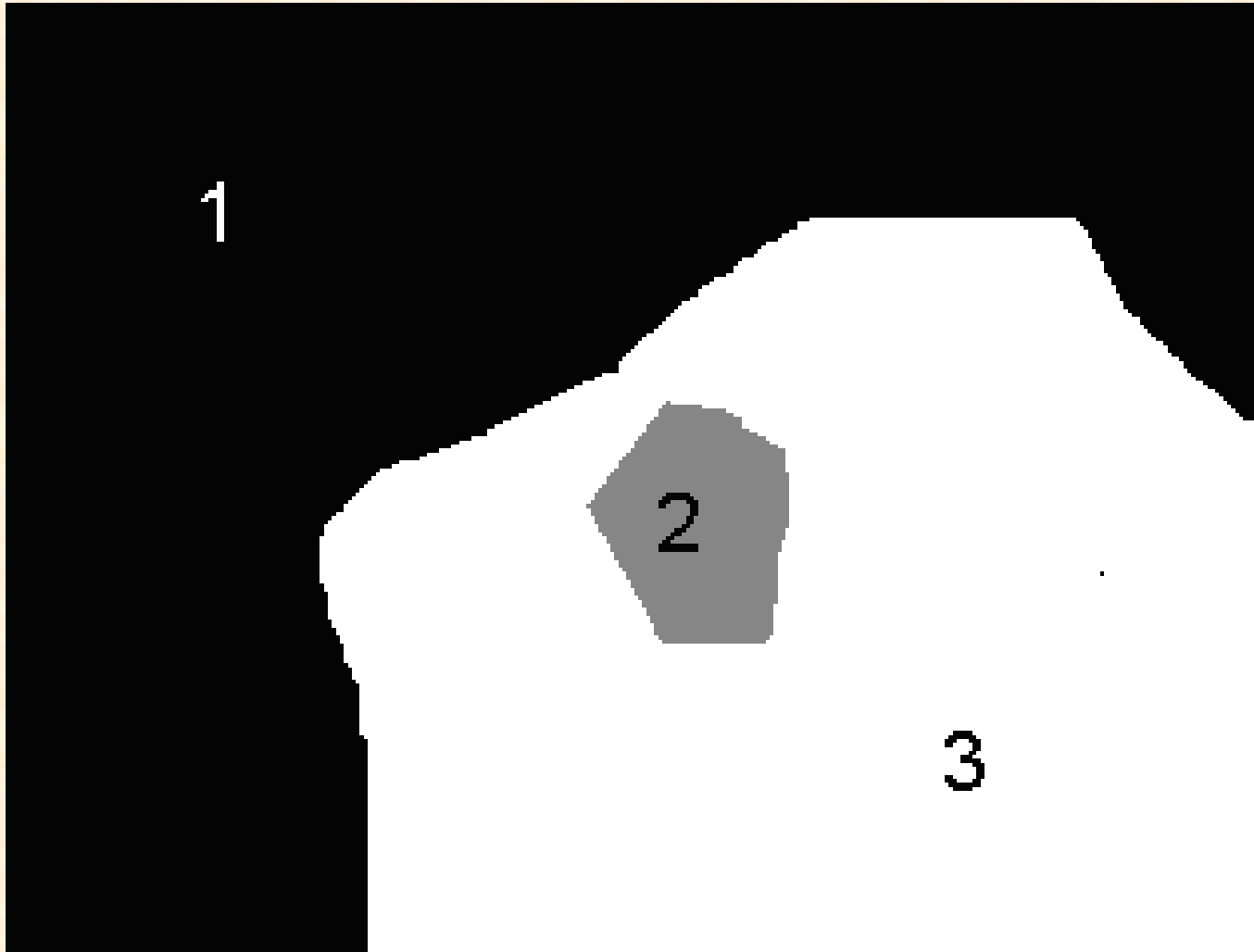
Variables que “controlan” los cambios:

- **Aptitud del terreno:** MDE, pendiente, suelos...
- **Acceso:** Distancia a carreteras, asentamientos humanos.
- **Presión antrópica:** Fragmentación forestal, distancia a usos
- **Datos socio-económicos:** Tenencia de la tierra, marginación, etc.
- **Políticas:** ANP, PROCAMPO, etc.

Entrenamiento

“Cuánto?” Con base en monitoreo de los cambios por comparación de mapas

t_1



Entrenamiento

“Cuánto?” Con base en monitoreo de los cambios por comparación de mapas

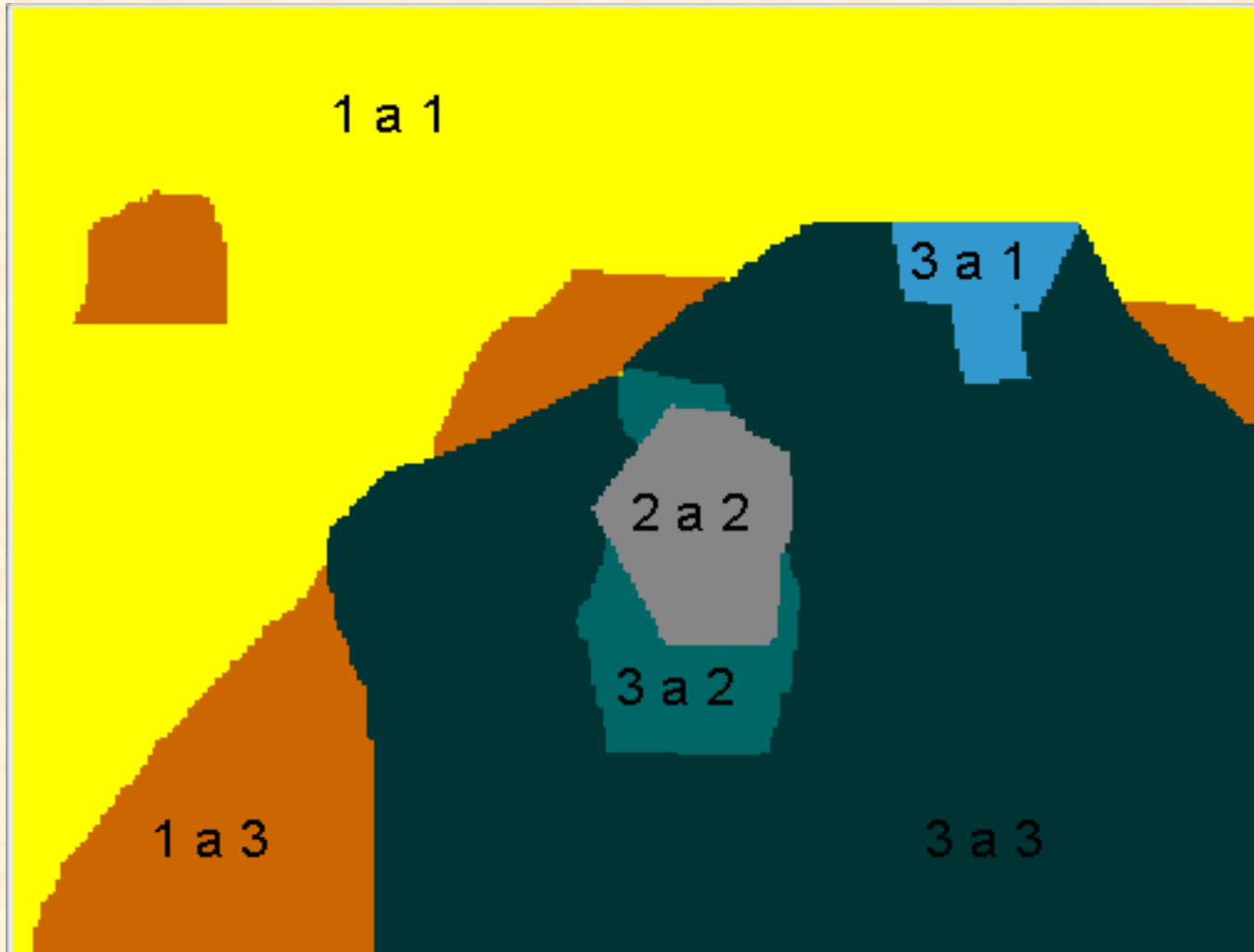
t_2



Entrenamiento

“Cuánto?” Con base en monitoreo de los cambios por comparación de mapas

t_{1-2}



Entrenamiento

Matriz de cambio (o de transición)

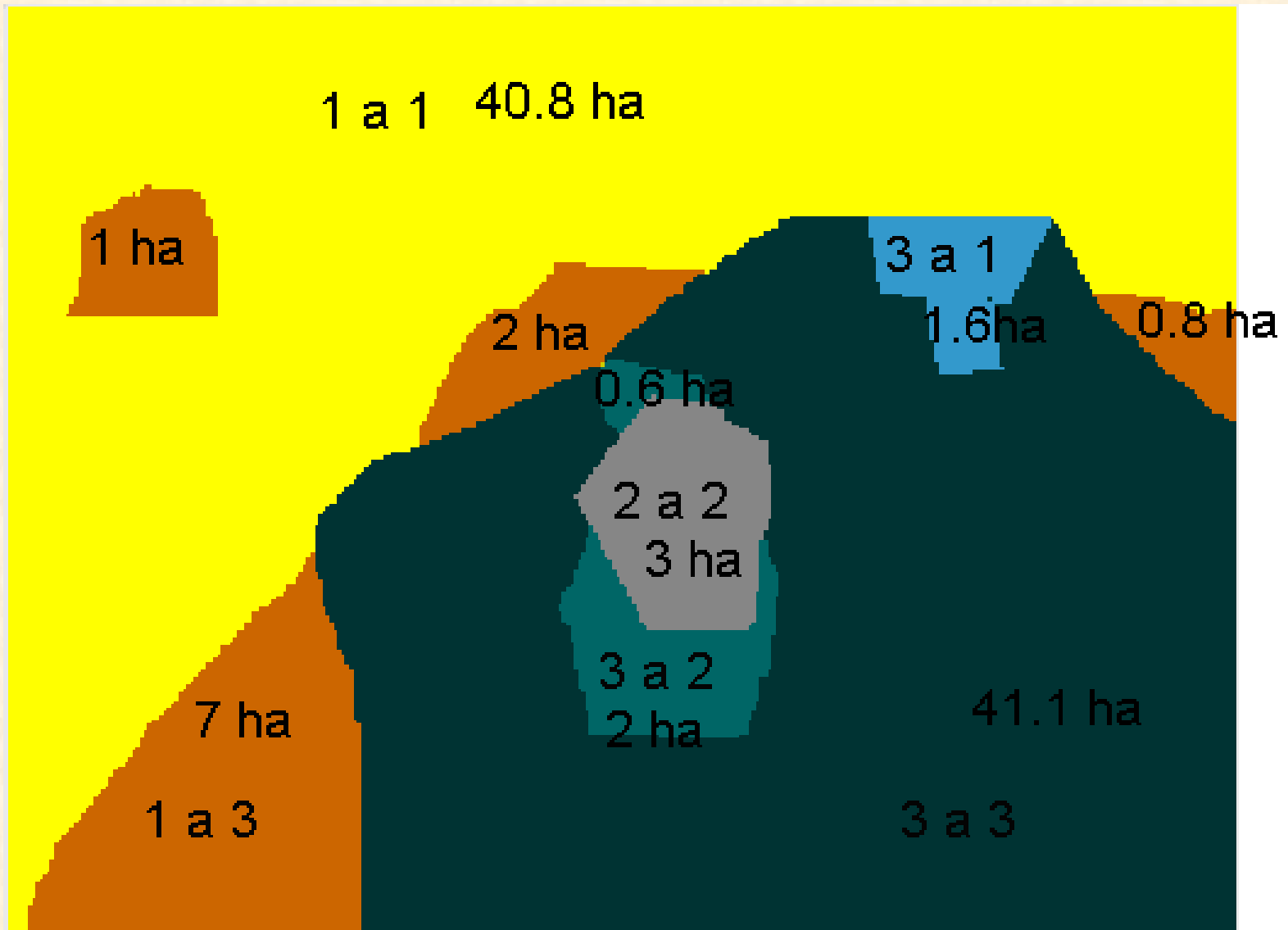
Tabla de dos entradas (una por fecha) que indica la superficie de cada cambio (o permanencia)

Tabla 1 – Matriz de cambio

t1 \ t2	1	2	3	suma
1	C1 permanece	C1 A C2	C1 A C3	Total C1 en t1
2	C2 a C1	C2 permanece	C2 A C3	Total C2 en t1
3	C3 a C1	C3 a C2	C3 permanece	Total C3 en t1
suma	Total C1 en t2	Total C2 en t2	Total C3 en t2	

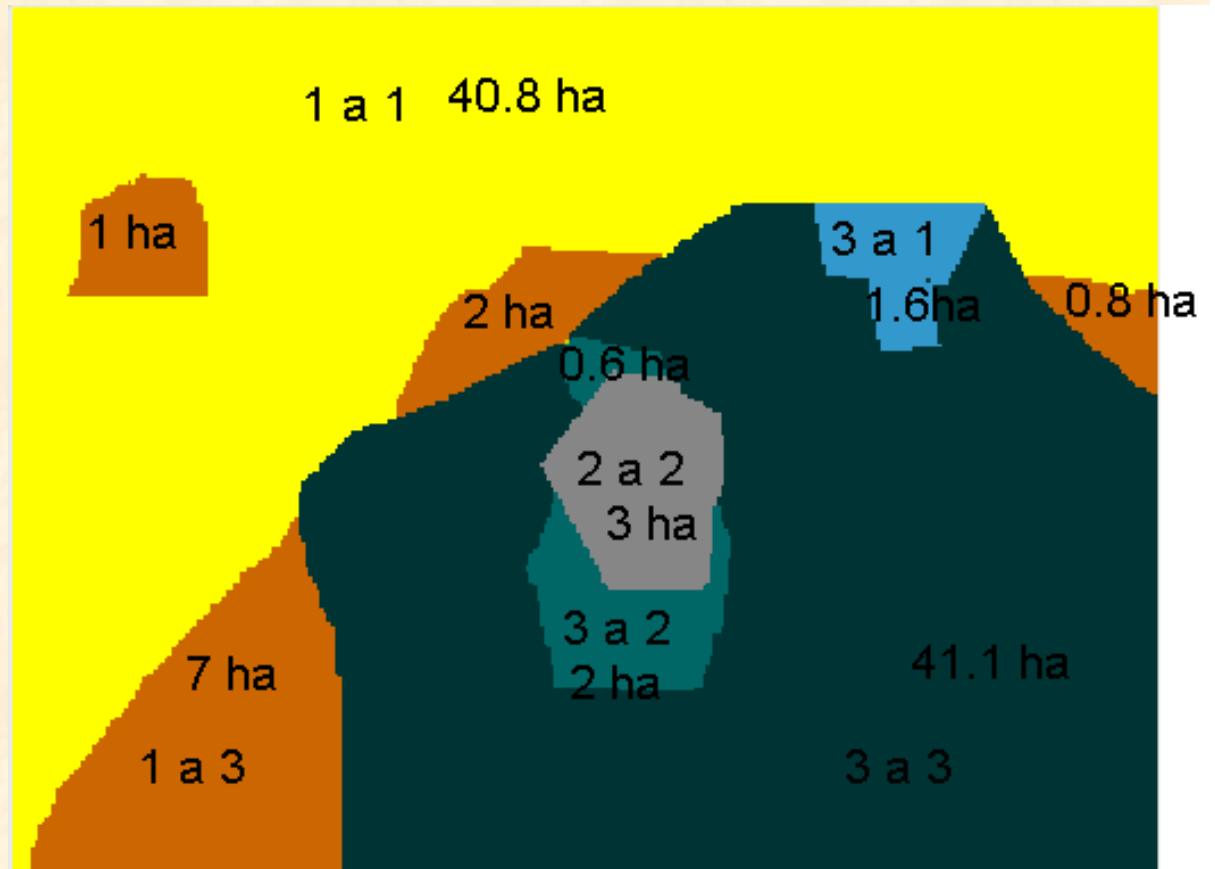
Entrenamiento

Matriz de cambio (o de transición)



Entrenamiento

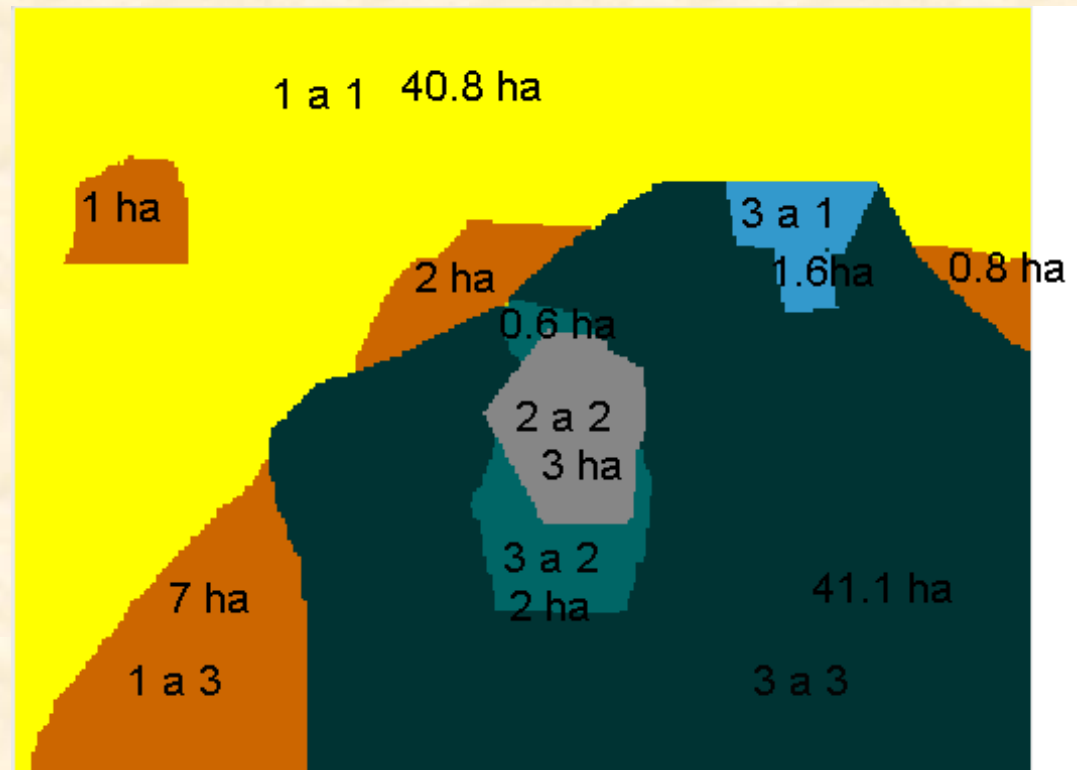
Matriz de cambio



T2 \ T1	1	2	3	suma
1				
2				
3				
suma				

Entrenamiento

Matriz de cambio



T1 \ T2	1	2	3	suma
1	40.8	0.0	10.8	51.6
2	0.0	3	0.0	2.98
3	1.6	2.6	41.1	45.3
suma	42.4	5.6	51.9	

Entrenamiento

Matriz de cambio

T1 \ T2	1	2	3	suma
1	40.8	0.0	10.8	51.6
2	0.0	3	0.0	2.98
3	1.6	2.6	41.1	45.3
suma	42.4	5.6	51.9	

De 51.6 de C_1 en t_1 , 40.8 permanece en t_2 , 10.8 ha se transforma en C_3

$$40.8/51.6 = 0.79 \text{ (79\%)}$$

$$10.8/51.6 = 0.21 \text{ (21\%)}$$

Matriz de cambio

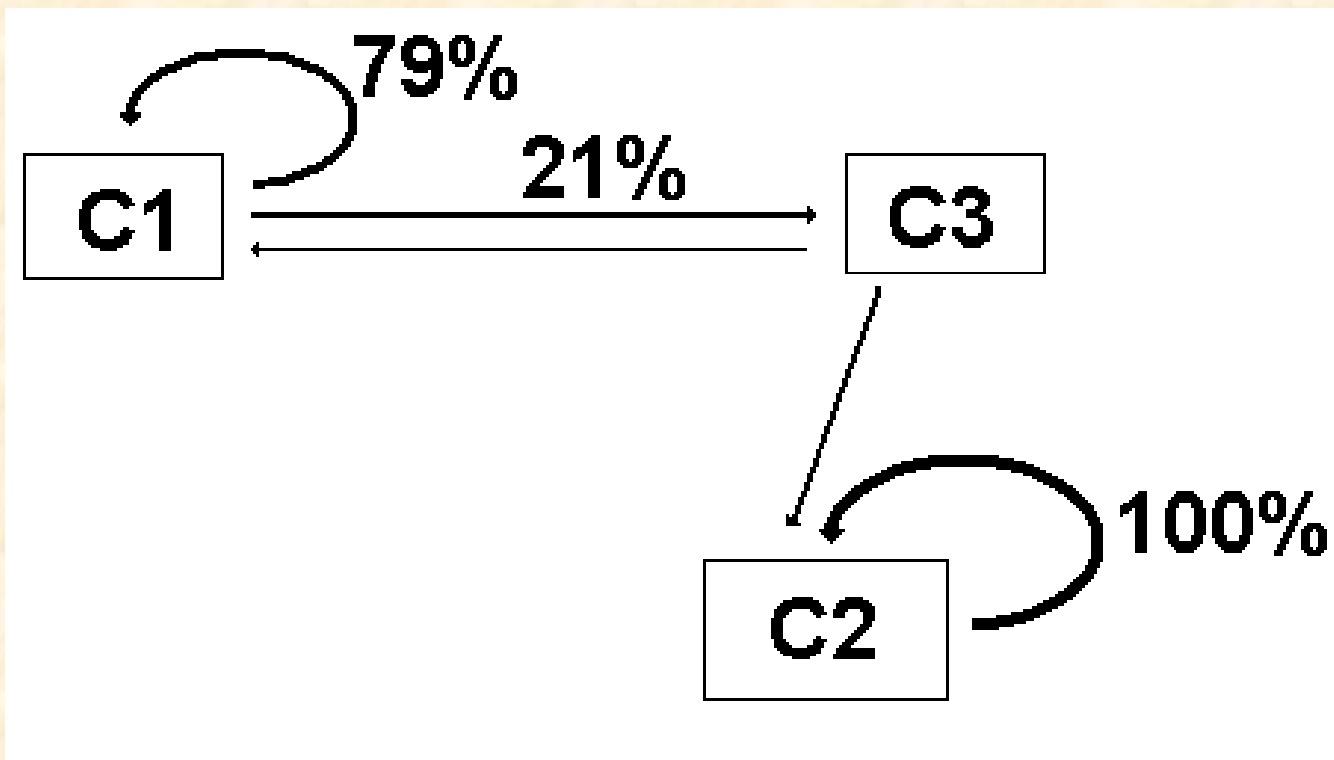
T1 \ T2	1	2	3	suma
1	40.8	0.0	10.8	51.6
2	0.0	3	0.0	2.98
3	1.6	2.6	41.1	45.3
suma	42.4	5.6	51.9	

Matriz de probabilidad de cambio (Markov)

T1 \ T2	1	2	3	suma
1	0.79	0.00	0.21	1
2	0.00	1.00	0.00	1
3	0.04	0.06	0.91	1

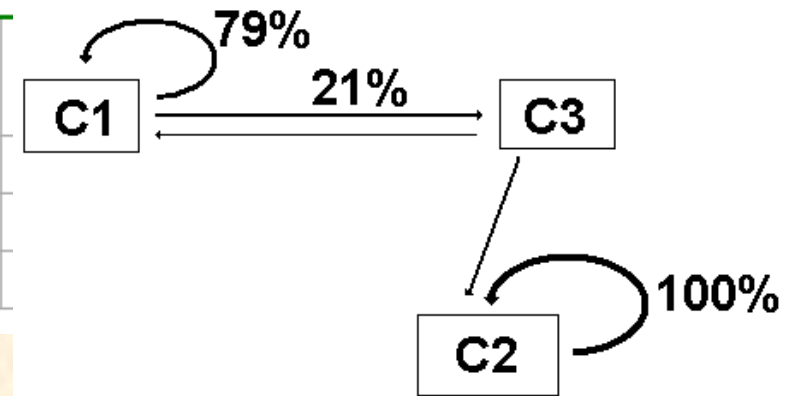
Matriz de probabilidad de cambio (Markov)

T1 \ T2	1	2	3	suma
1	0.79	0.00	0.21	1
2	0.00	1.00	0.00	1
3	0.04	0.06	0.91	1



Proyección a futuro (t_3)

T1 \ T2	1	2	3
1	0.79	0.00	0.21
2	0.00	1.00	0.00
3	0.04	0.06	0.91



(42.4 5.6 52.0)

Sup de C_1 en $t_2 = 42.4$ ha, de los cuales 79% van a permanecer en C_1 ($0.79 \times 42.4 = 33.5$).

4% de la categoría 3 se transforma en 1, por lo tanto este cambio va incrementar la superficie de la categoría 1 en 2.1 ha ($0.04 \times 52 \text{ ha} = 2.1 \text{ ha}$).

Proyección a futuro (t_3)

Cálculo matricial

$$(a_1 \quad a_2 \quad a_3) \times \begin{vmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{vmatrix}$$

$$(a_1 * m_{11} + a_2 * m_{21} + a_3 * m_{31} \quad a_1 * m_{12} + a_2 * m_{22} + a_3 * m_{32} \quad a_1 * m_{13} + a_2 * m_{23} + a_3 * m_{33})$$

Proyección a futuro (t_3)

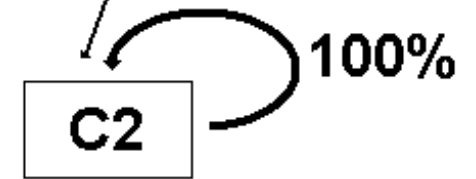
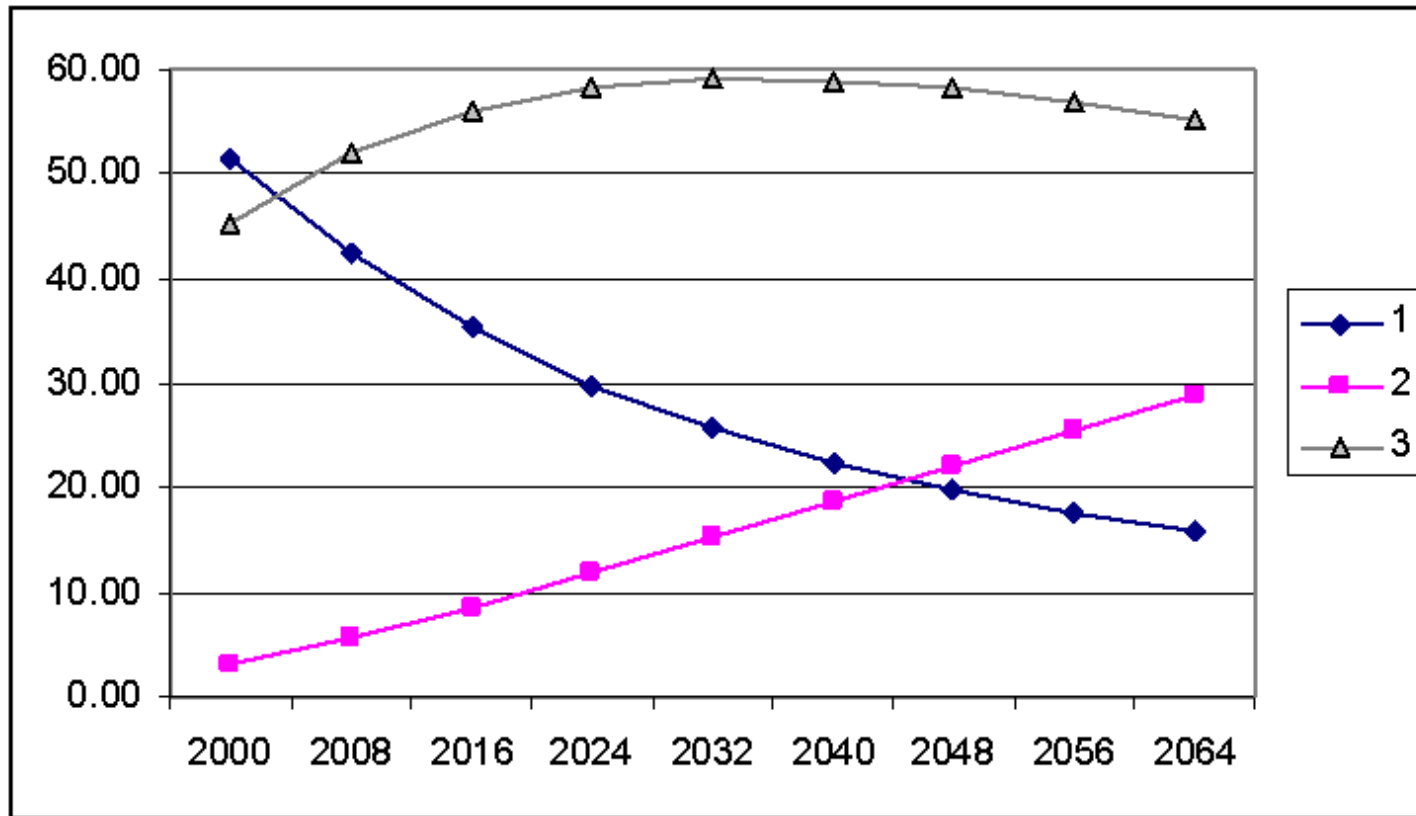
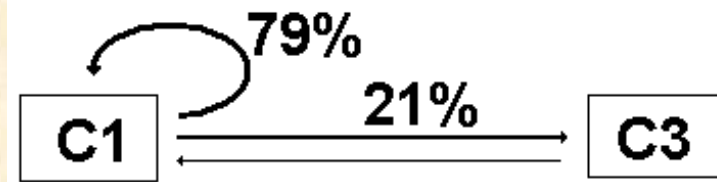
Cálculo matricial

$$(42.4 \quad 5.6 \quad 52.0) \times \begin{vmatrix} 0.79 & 0.00 & 0.21 \\ 0.00 & 1.00 & 0.00 \\ 0.04 & 0.06 & 0.91 \end{vmatrix} = (35.3 \quad 8.6 \quad 56.1)$$

Supuesto de la proyección: tasas y patrones de cambio constantes en el tiempo (proceso “estacionario”)

Mismo periodo de tiempo entre t_3 y t_2 que entre t_1 y t_2 :
2000-2008-2016

Proyección a futuro



2000-2008-2016...

Proyección a futuro: “anualización” de la matriz

$$P^t = HV^tH^{-1}$$

Donde P es la matriz de transición originalmente
H las matrices eigenvector y eigenvalue
t es la fracción del periodo
(número de años para anualizar una matriz multi-anual).

DINAMICA

Matriz de paso simple y múltiple

Cálculo de la cantidad de cambio por matriz de Markov

Se puede modificar esta matriz

Errores en la comparación de mapas



Figura 3 – Error en el mapa de cambio debido a un error temático. En la fecha 2, se identificó erróneamente una categoría 3 como 2, generando un falso cambio de 3 a 2 (Mas y Fernández, 2003).



Figura 4 – Falsos cambios generados por errores posicionales (desfases, delimitación de los polígonos). Mas y Fernández, 2003.



Errores en las matrices de cambio

Proyecciones tendenciales:

- Basadas en el supuesto que los cambios son estacionarios, lo cual es a menudo erróneo (ej. Colima, Pérez et al., 2012). Otras alternativas para la cantidad de cambio.

A. Pérez-Vega et al. / Environmental Modelling & Software 29 (2012) 11–23

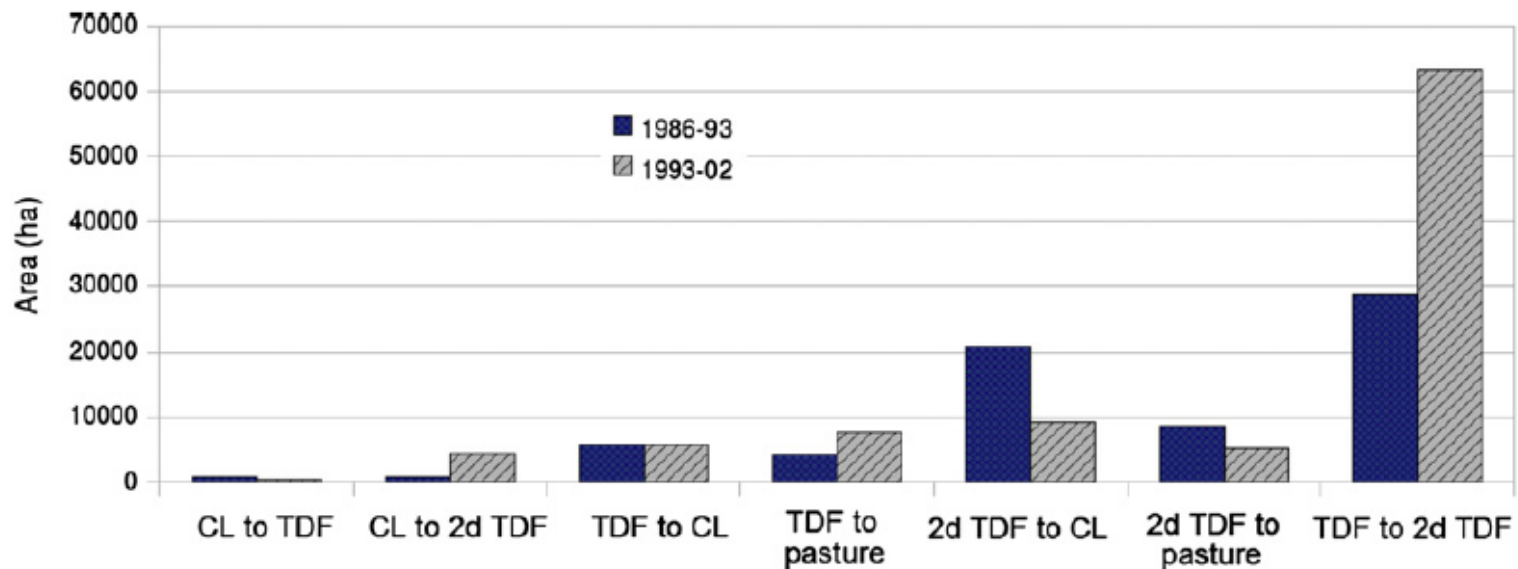


Fig. 11. Observed area of the different LUC transition categories calculated for calibration (1986–93) and validation (1993–2002) periods.

Interfase de DINAMICA

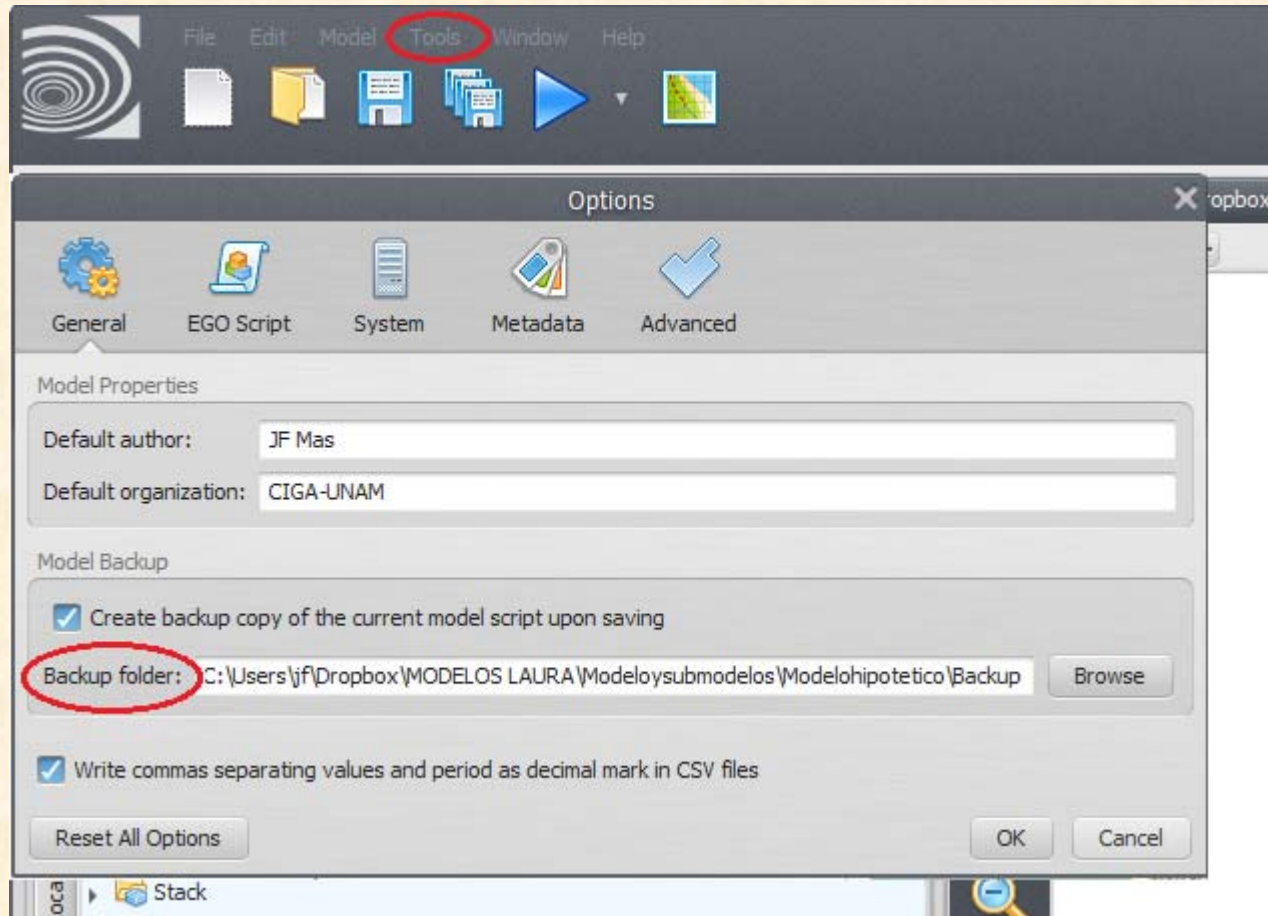
The screenshot displays the DINAMICA software interface for a model named 'segregation'. The interface is divided into several panels:

- Library:** A sidebar on the left containing various tool categories such as Calibration, Control, Input/Output, Landscape Metrics, Lookup Table, Map Algebra, Random Points, Region, Road Constructor, Simulation, Stack, Statistics, Submodels, Table, and Validation.
- Model Overview:** A small thumbnail view of the model's spatial layout.
- Inputs:** A vertical panel on the left of the main workspace containing input parameters:
 - proportion (%) of green cells (coded 2): 30
 - number columns: 50
 - number of lines: 50
 - proportion (%) of red cells (coded 1): 30
- Main Workspace:** A central area showing a flow diagram for 'Creates initial state'. The process starts with a 'Create Map' block, followed by a 'random map 0-65000' block. This leads to a 'Calculate Map' block, which then feeds into an 'Initial Map' block. The 'Initial Map' block is connected to a 'Repeat' block on the right.
- Explorer:** A panel at the bottom showing the model's structure, including a 'Script' folder and several 'Group' folders.
- Performance Table:** A table at the bottom right showing execution times.

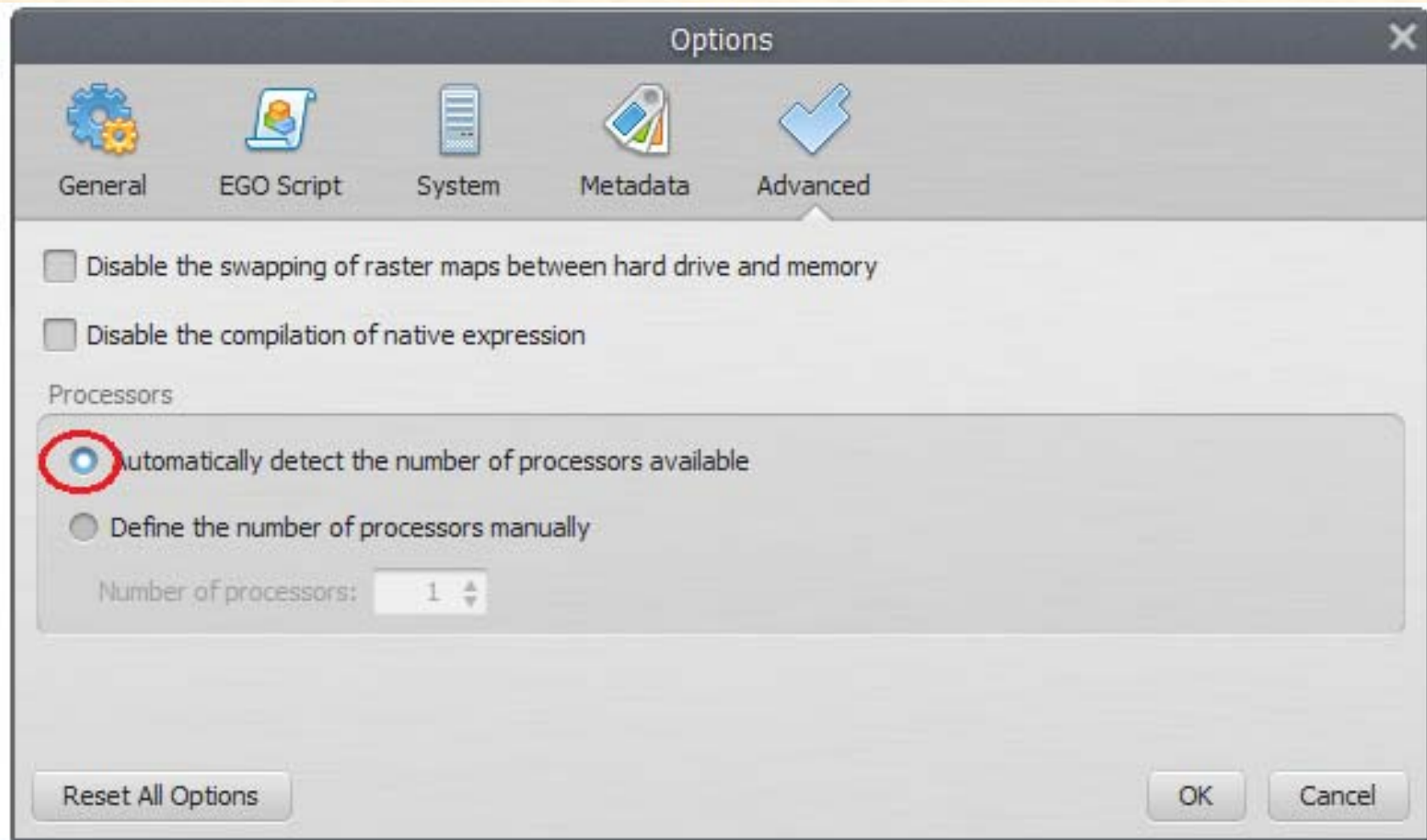
Functor	Total Time (s)
Script	0.36
Group	0
Group	0.001
Group	0.01

Ready

DINAMICA: Algunos ajustes



DINAMICA: Algunos ajustes



Interfase de DINAMICA

The screenshot displays the QGIS interface. On the left, a 'Library' panel contains various processing tools. The central 'Sketch' window shows a workflow: a 'Map "caminos_ze.tif"' tool is connected to a 'Calculate Map' tool (containing 'Map #1'), which is then connected to a 'Map "caminos_una_categoria.tif"' tool. On the right, the 'Funcion Editor' window is open for the 'Calculate Map' tool, showing an 'Expression' field with the following code:

```
if i1 > 0 then
  1
else
  null
```

Simplificación del mapa de caminos (3 a 1 categoría), cálculo de la distancia a caminos

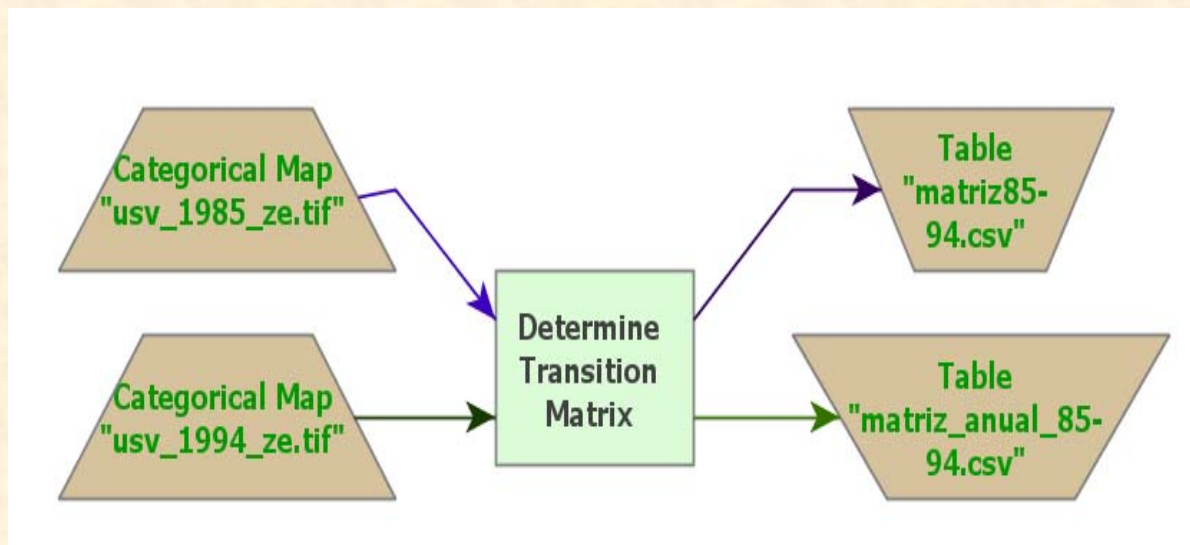
Cálculo de la pendiente

Cálculo matriz con DINAMICA

Cargar los dos mapas de uso/cubierta del suelo
(input/output Load categorical map)

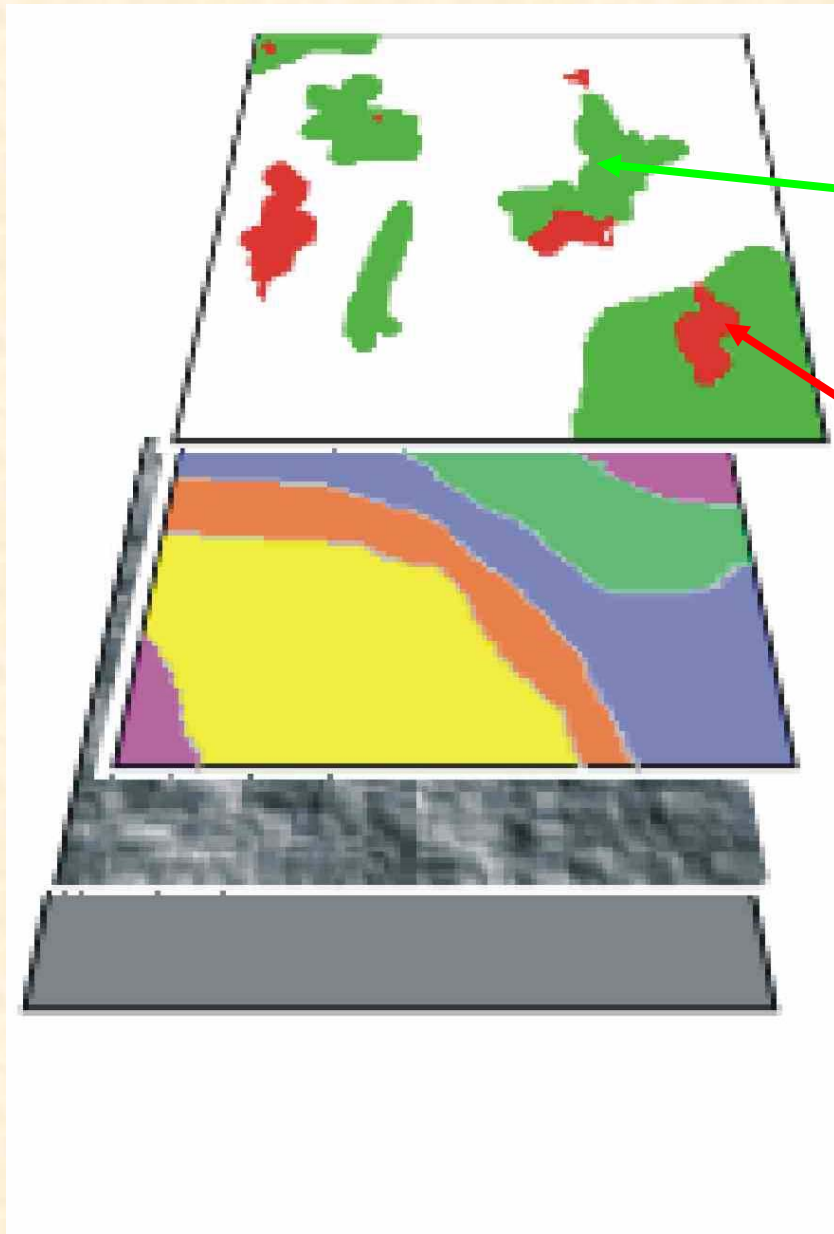
Functor Determine transition matrix (calibration)

Salvar los resultados (save look up table, input/output)



Entrenamiento “dónde?”

Mapa de cambio :



Áreas forestales conservadas

Áreas forestales desmontadas

Variables
“Explicativas”
(factores de los cambios)

Entrenamiento

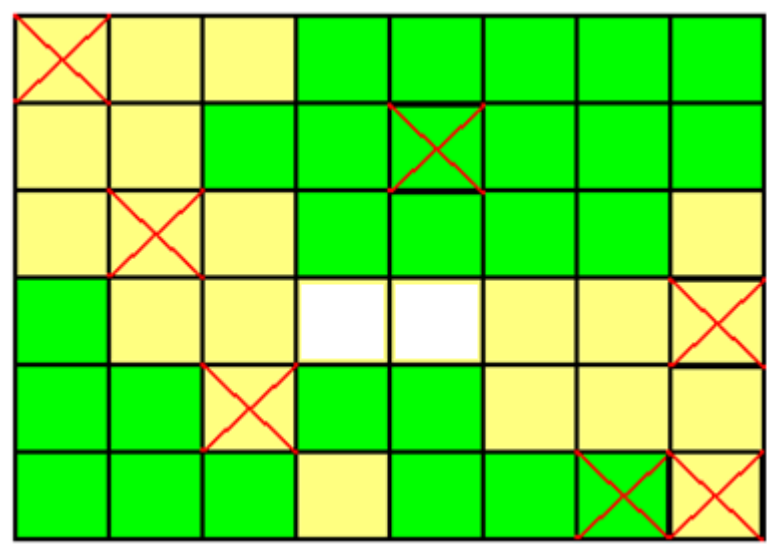
Relación entre variables explicativas y la localización de los cambios:





Regresión logística, redes neurales, etc.

DINAMICA: pesos de evidencia (probabilidad condicional) y algoritmos genéticos

LCM (IDRISI): redes neurales (Perceptrón multicapa), CLUE: Regresión logística

Probabilidades condicionales / Pesos de evidencia



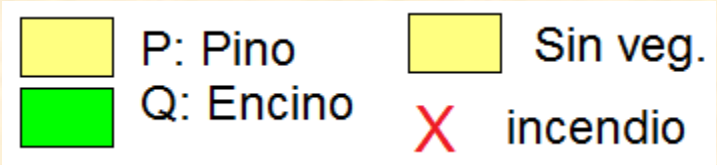
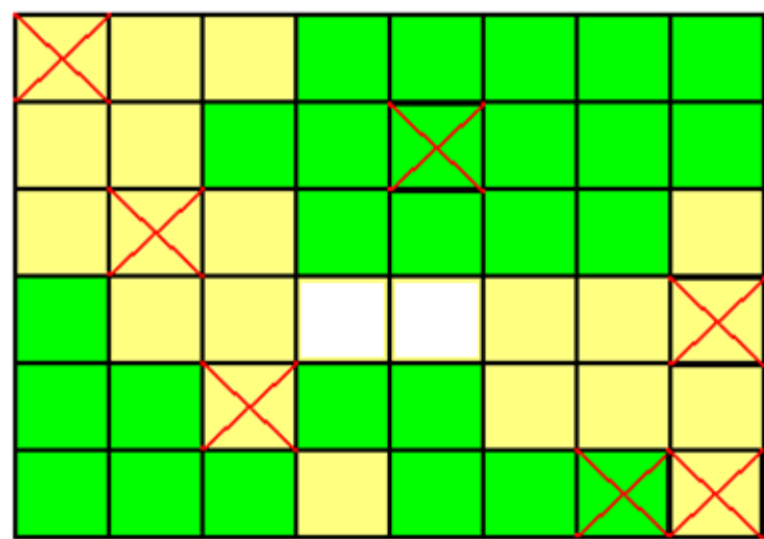
	P: Pino		Sin veg.
	Q: Encino		incendio

$$p(i) = \frac{7}{48} \approx 0.15$$

$P(i \cap P)$ Probabilidades de encontrar i y P los 2 juntos

$$P(i|P) = \frac{P(i \cap P)}{P(P)} = \frac{5}{20} \approx 0.25$$

Probabilidades condicionales / Pesos de evidencia



$$p(i) = \frac{7}{48} \approx 0.15$$

$P(i|Q)$?

Pesos de evidencia

w^+ peso positivo de evidencia (presencia condición)

w^- peso negativo de evidencia (ausencia condición)

Ojo: w^+ y w^- pueden tener valores < 0 o > 0

Condición (categoría) asociada a $w^+ > 0$: probabilidad de cambio $>$ en la categoría que fuera de la categoría (todas las demás)

$w^- = w^+ = 0$ variables sin efecto sobre el fenómeno

$$w^+ = \ln \left[\frac{P(P|i)}{P(P|\bar{i})} \right]$$
$$P(P|i) = \frac{P(P \cap i)}{P(i)} = \frac{N(P \cap i)}{N(i)}$$
$$P(P|\bar{i}) = \frac{P(P \cap \bar{i})}{P(\bar{i})} = \frac{N(P \cap \bar{i})}{N(\bar{i})}$$

Pesos de evidencia

Pesos de evidencia con varias variables explicativas.

Ejemplo: Probabilidad de incendios según tipo de bosque y cercanía a carreteras

Se calculan pesos de evidencia para P, para d1 (cerca carreteras), etc.

$$\log it\{i|P \cap d1\} = \log it\{i\} + w_1^+ + w_2^+$$

Los pesos de diferentes variables se suman (ojo tienen que ser descorrelacionadas)

Ejemplo: Cercanía a carreteras, cercanía a poblaciones

Entrenamiento

$W_+ > 0$ la categoría “favorece” el cambio

$W_+ < 0$ lo “inhibe”

$W_+ = 0$ “indiferente”

Funciona con variables categóricas: Hay que transformar las variables continuas en categóricas (rangos)



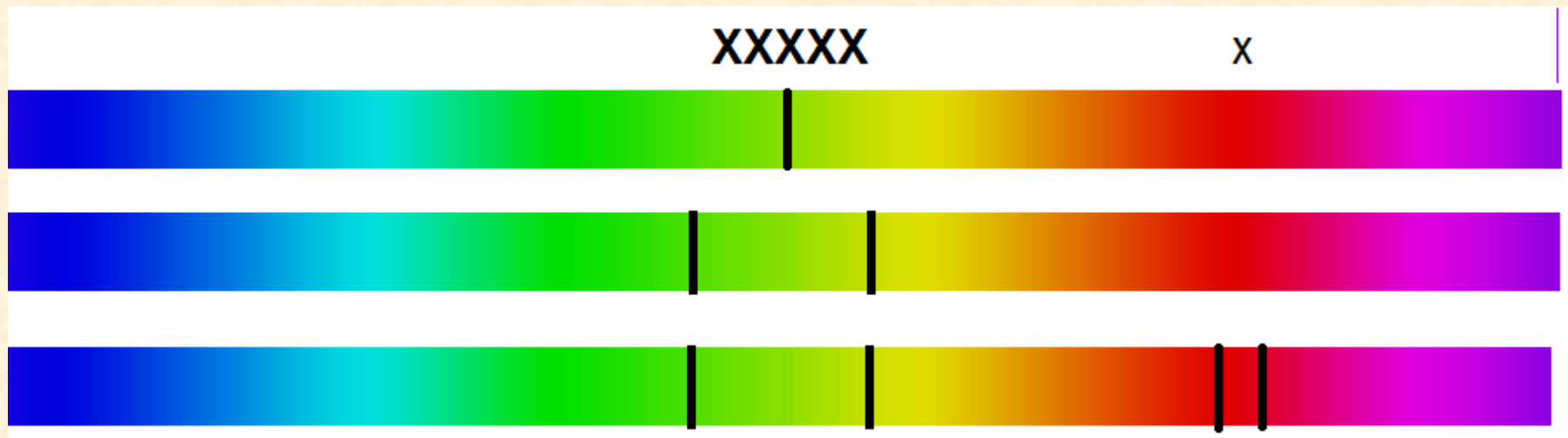
Cálculo de los pesos de evidencia en DINAMICA

2 etapas

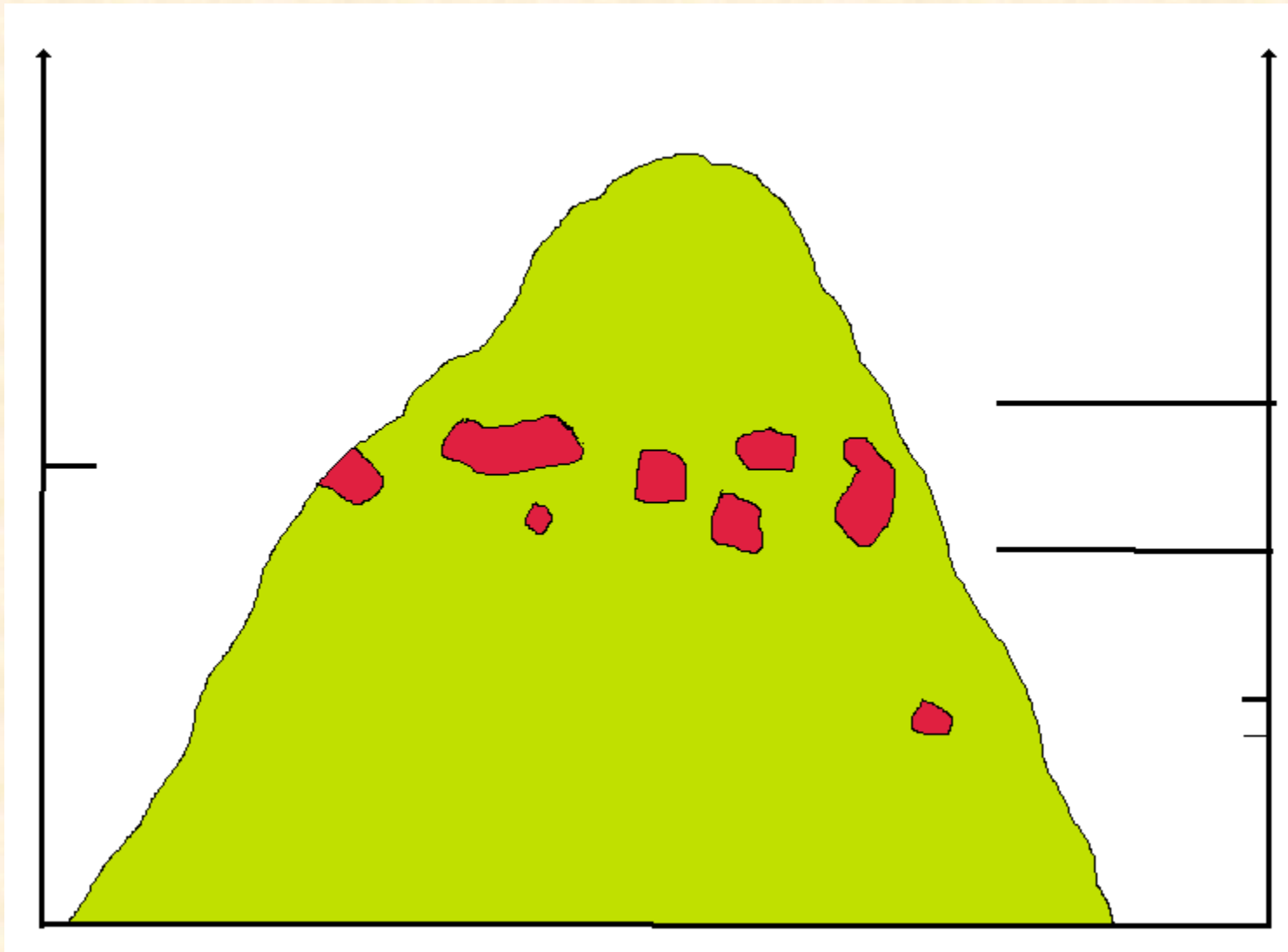
- 1) Transformación de las variables continuas en categóricas, preparación del archivo de pesos
- 2) Cálculo de los pesos

Transformación de las variables continuas en categóricas, preparación del archivo de pesos

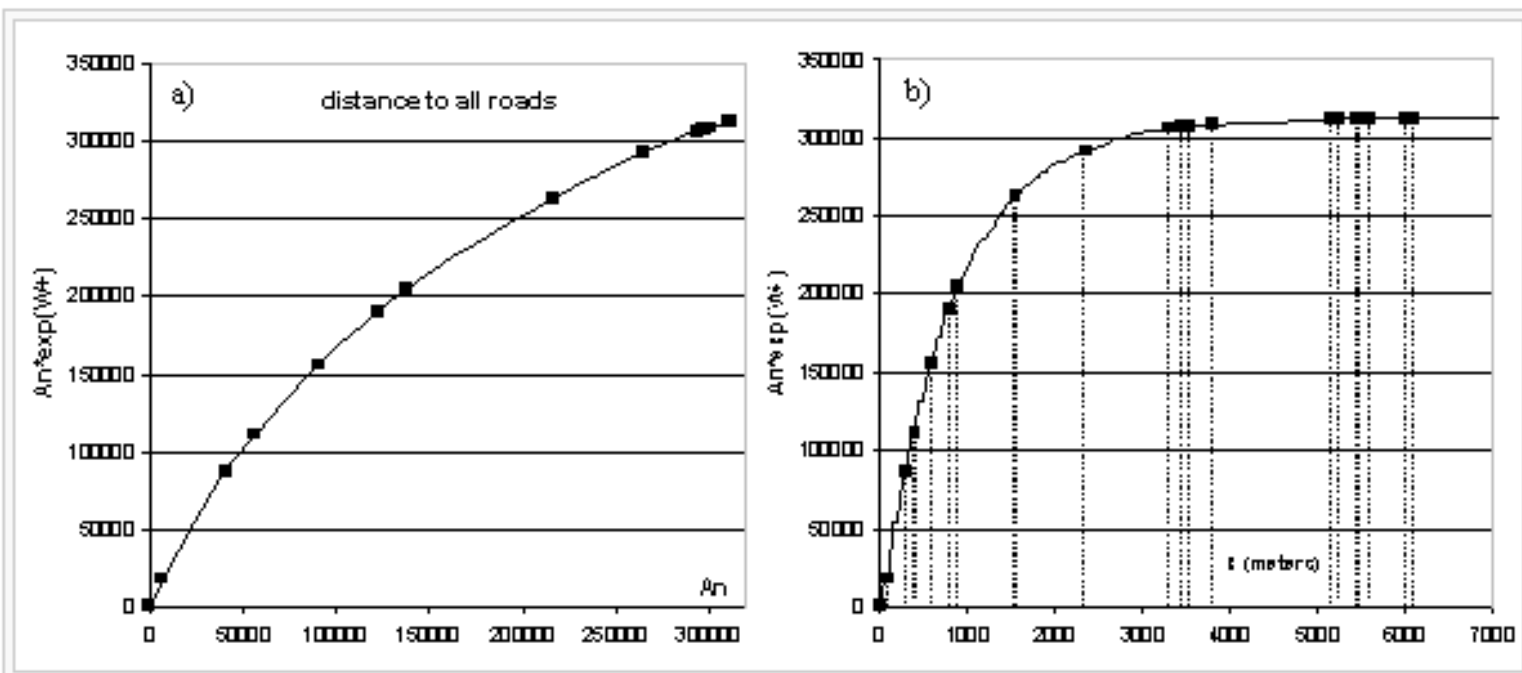
Eventos de cambio XXX en un gradiente (ej elevación)



Transformación de las variables continuas en categóricas, preparación del archivo de pesos

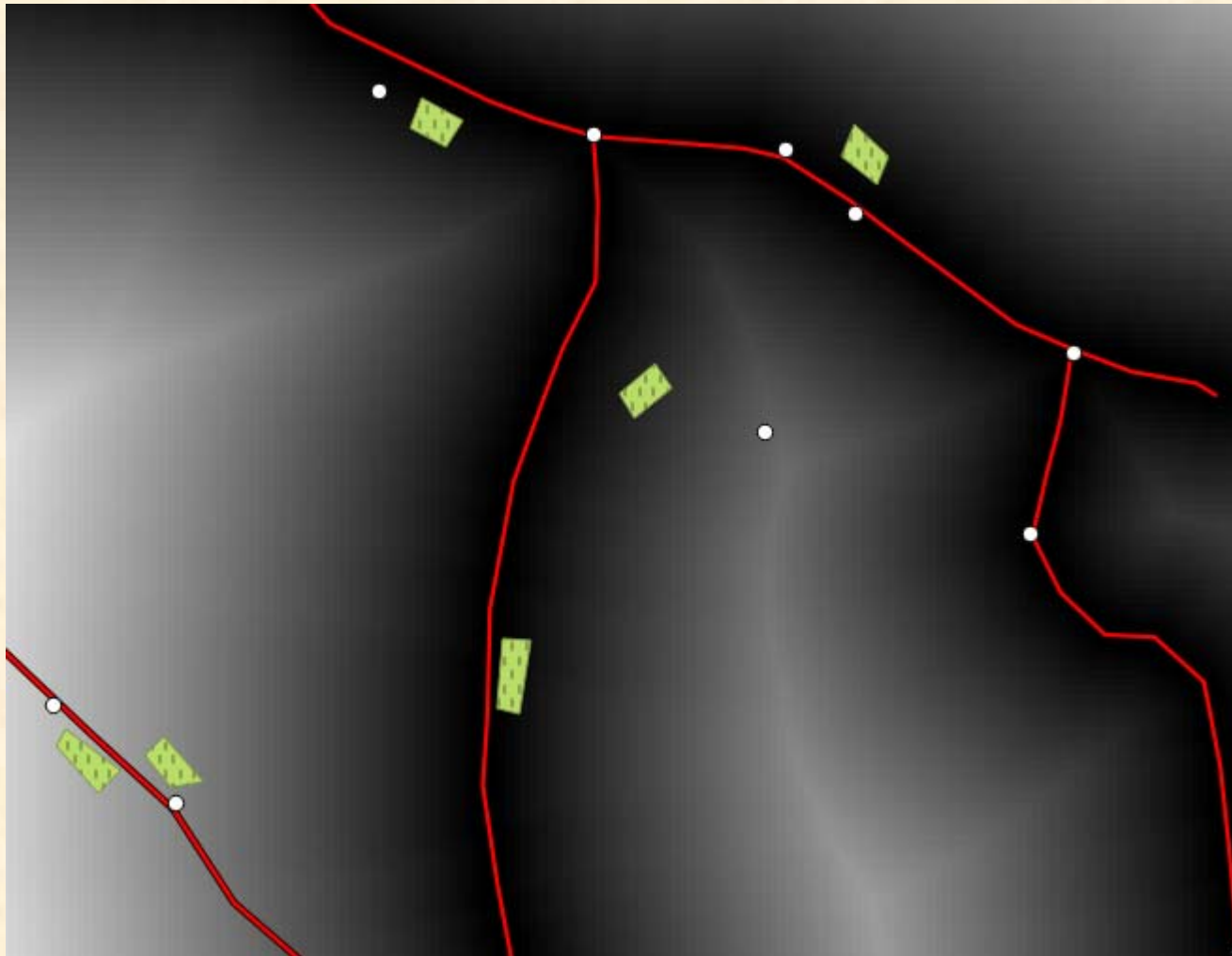


Transformación de las variables continuas en categóricas, preparación del archivo de pesos

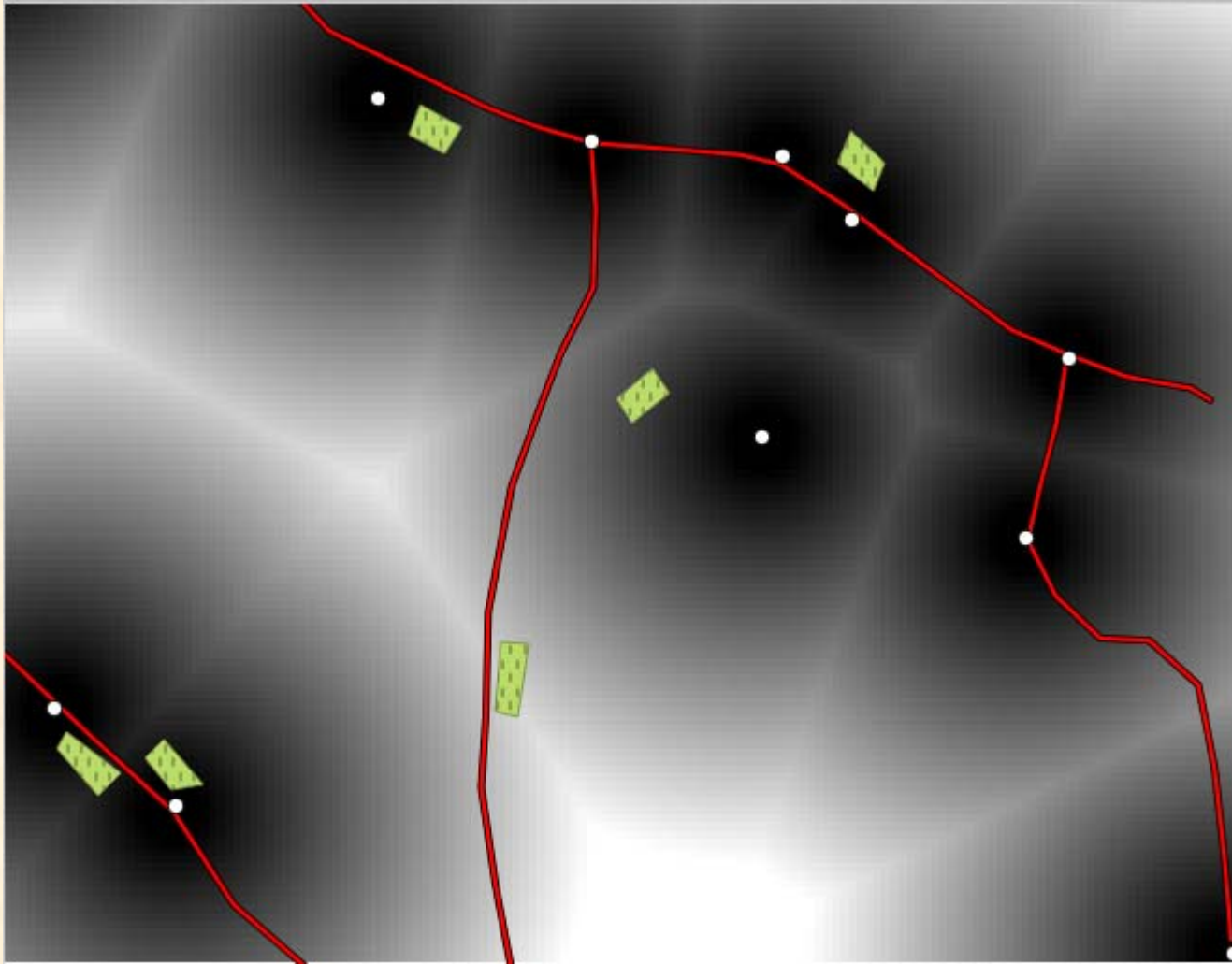


(a) Plot of A_n against for the variable "distance to all roads". The best-fitting curve can be approximated by a series of straight-line segments by using a line-generalizing algorithm as explained in the text. This approach is used to define the breaking points for this curve and subsequently category intervals for a continuous variable (b).

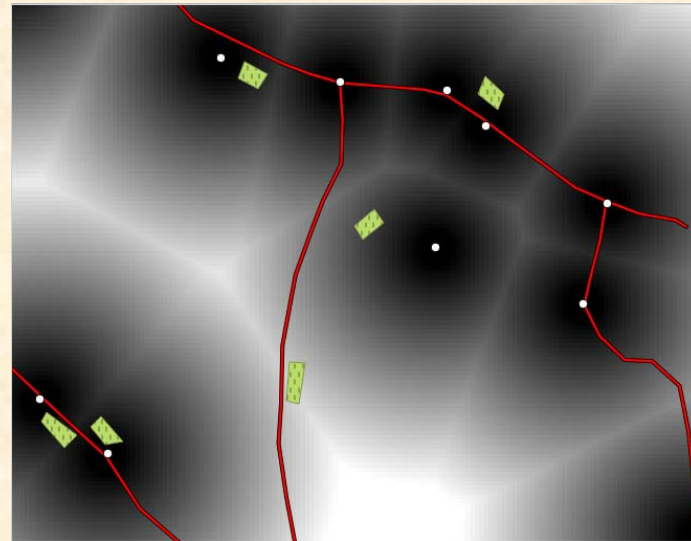
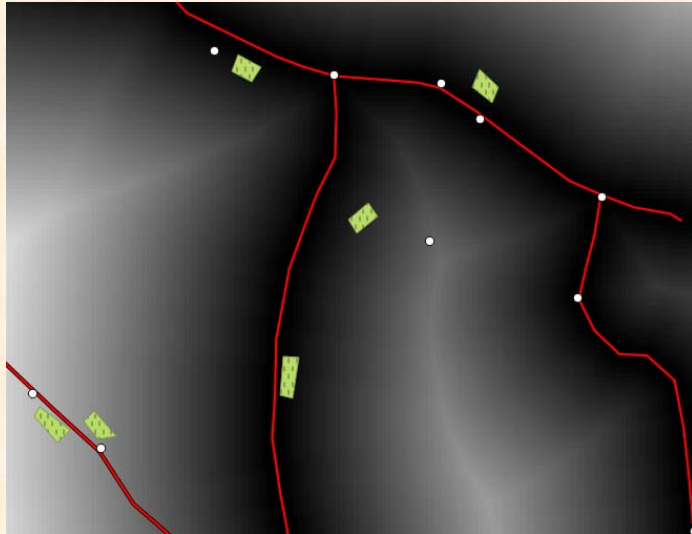
Correlación entre variables explicativas



Correlación entre variables explicativas



Correlación entre variables explicativas



Pesos calculados para la *var distancia a carretera* son influenciados por la *dist a poblados* y vice versa

Al sumar los pesos, se sobreestima el efecto de estas variables

Detección de las variables correlacionadas (índice de Cramer)

Simulación

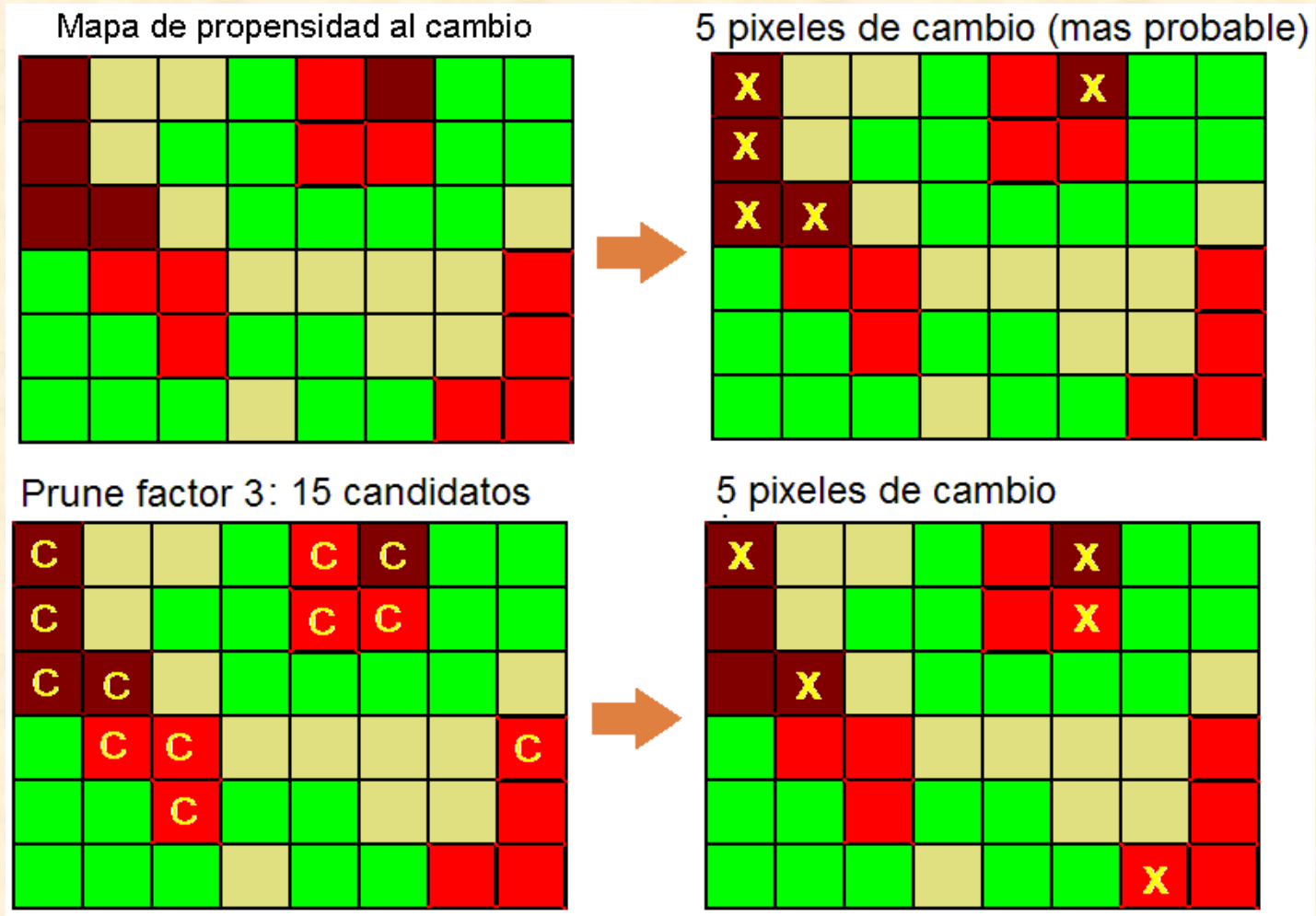
Con base en la relación entre cambios y variables explicativas

Mapa de probabilidad de cambio

Muchos modelos umbralizan este mapa para generar mapa futuro:

- Matriz de Markov da la cantidad de cambio.
- Se selecciona esta cantidad de pixeles dentro de los que tienen la más alta probabilidad de cambio.

Simulación



Proceso determinista *versus* Proceso estocástico

Simulación



Distancia a carretera



Simulación de los patrones espaciales

Los cambios reales se dan por parches.
Generalmente un parche está representado por varios píxeles, por lo tanto los cambios no se pueden simular pixel-a-pixel

Autómata
Celular



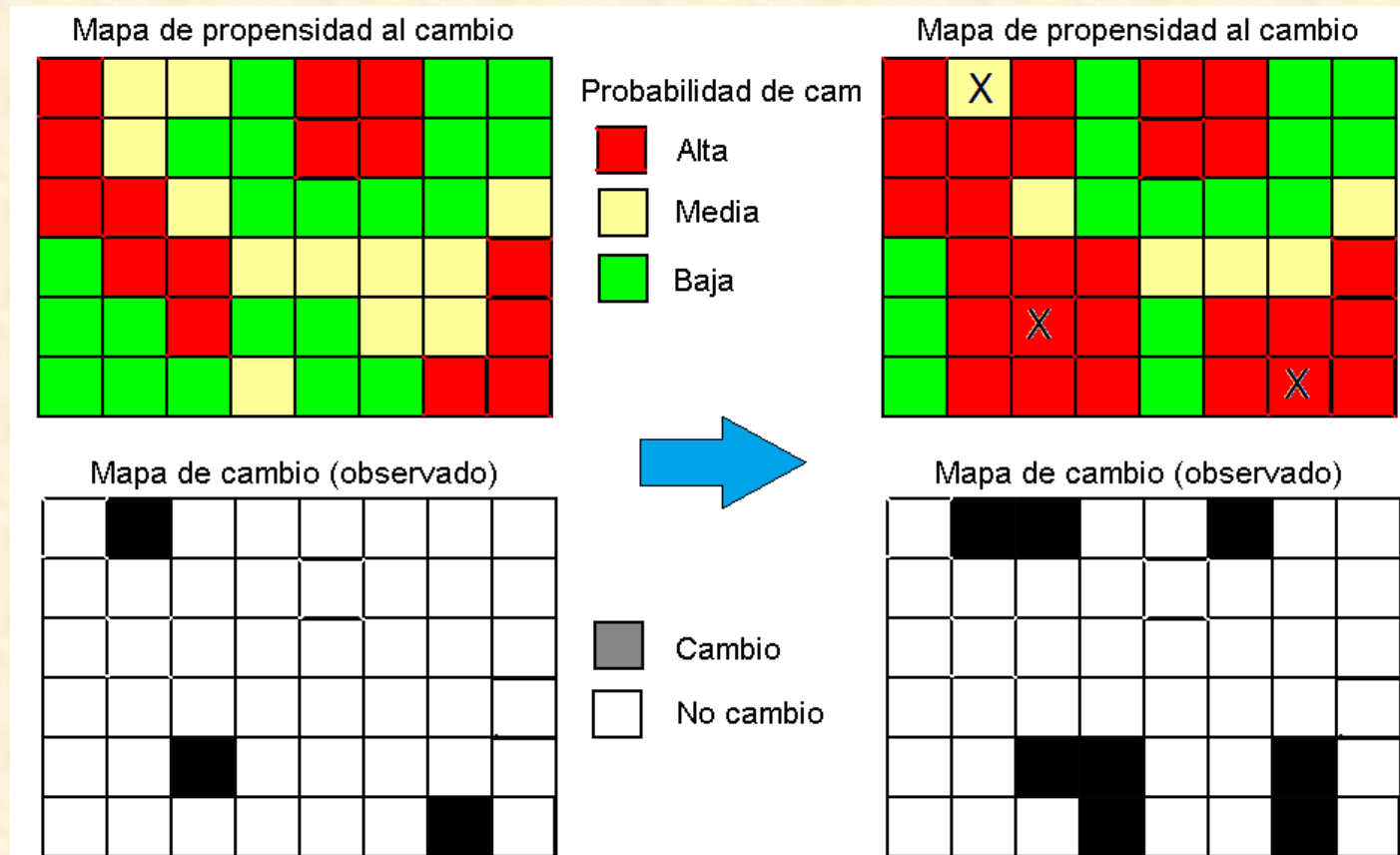


Según el tipo de cambio, parches de diferentes forma, tamaño (ej milpa *versus* pastizal)



Autómatas celulares: el juego de la vida

<http://www.collidoscope.com/modernca/>



Autómatas celulares: Modifica las probabilidades para favorecer la formación de "parches"

En modelización, CA sirve para agregar los pixeles en paquetes para formar parches de cambio

DINAMICA: CA avanzado

Para cada transición:

2 patrones de cambio PARCHER y EXPANDER

Controla tamaño promedio y varianza de los parches

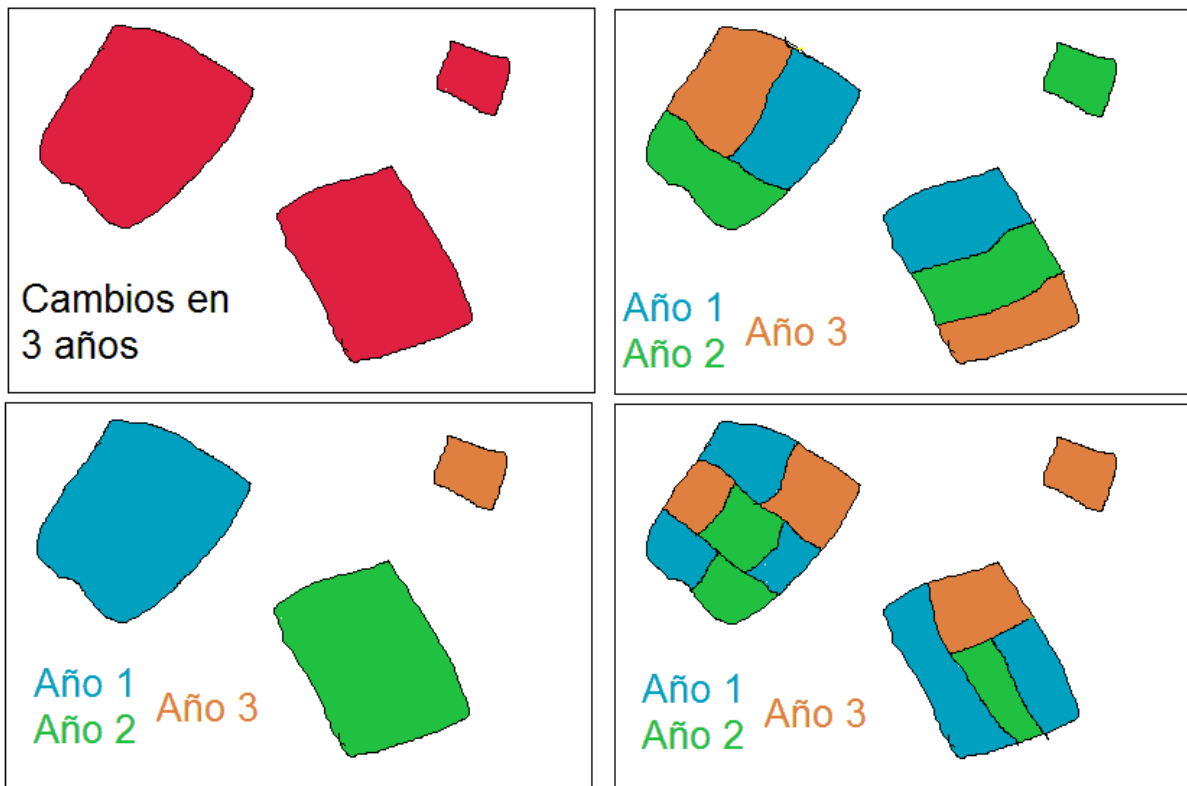
Isometría (mas o menos difuso), prune factor

CA_Markov (Idrisi): CA más rudimentario: se controla el tamaño del filtro y el número de iteraciones.

Mismo CA para todas las transiciones

LCM (Idrisi) No hay CA: se seleccionan los pixeles con valores de probabilidad más altos para el cambio

Ambigüedad al definir los parámetros de tamaño promedio y varianza de los parches



Modelado de los cambios (Matriz de Markov, celular automata (DINAMICA, LCM).

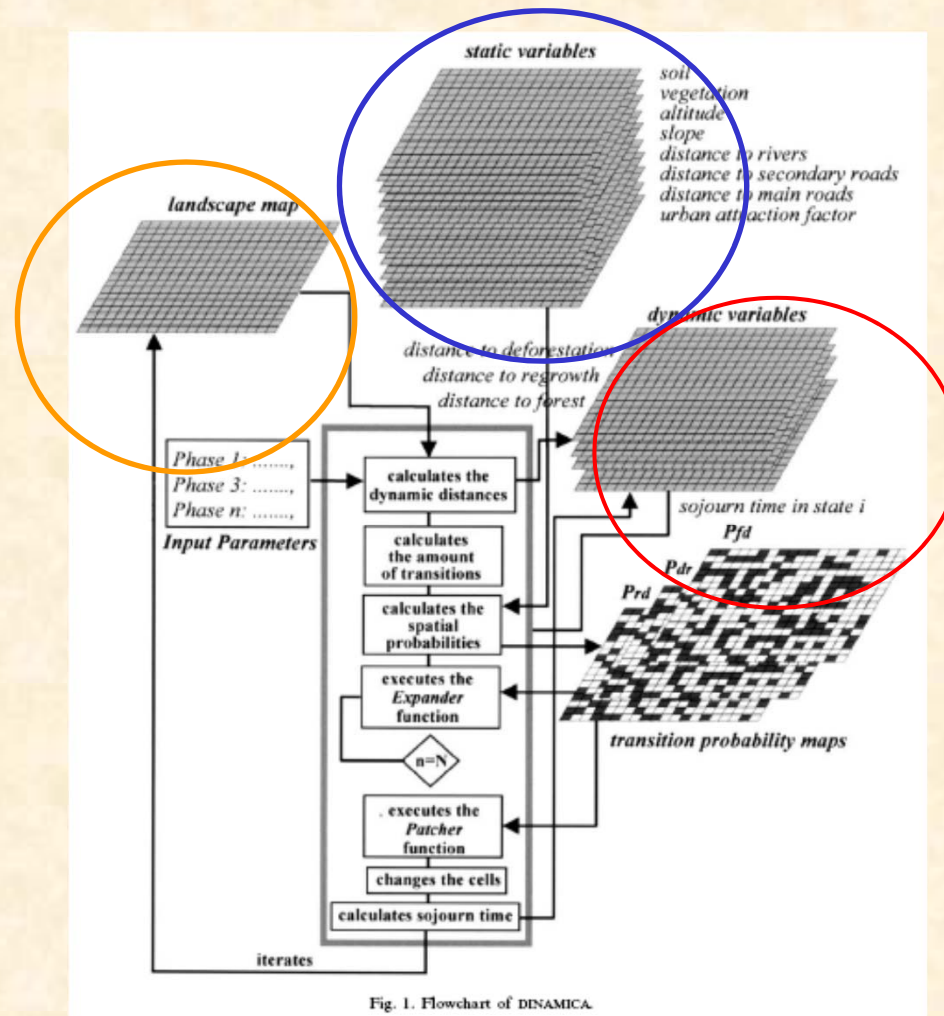


Fig. 1. Flowchart of DINAMICA

DINAMICA y LCM: variables dinámicas

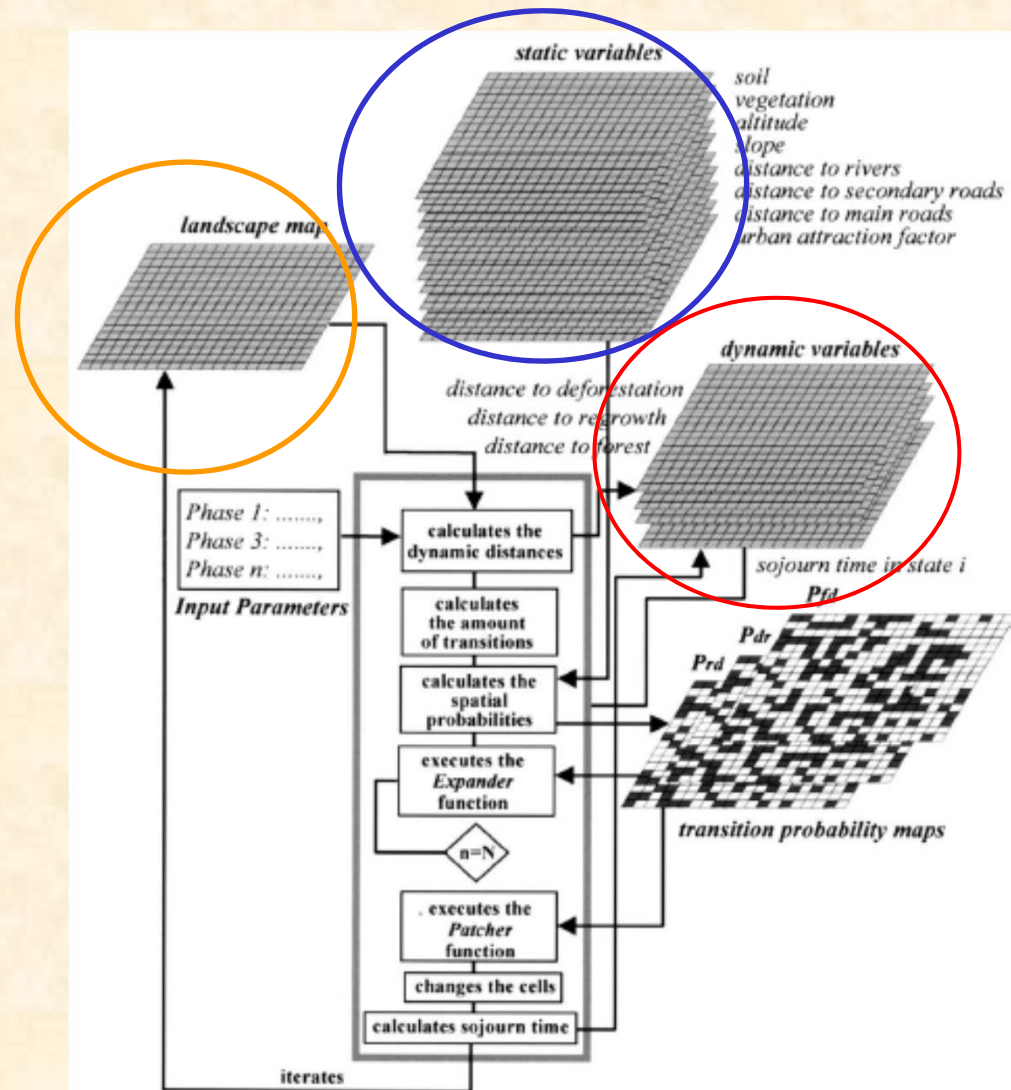


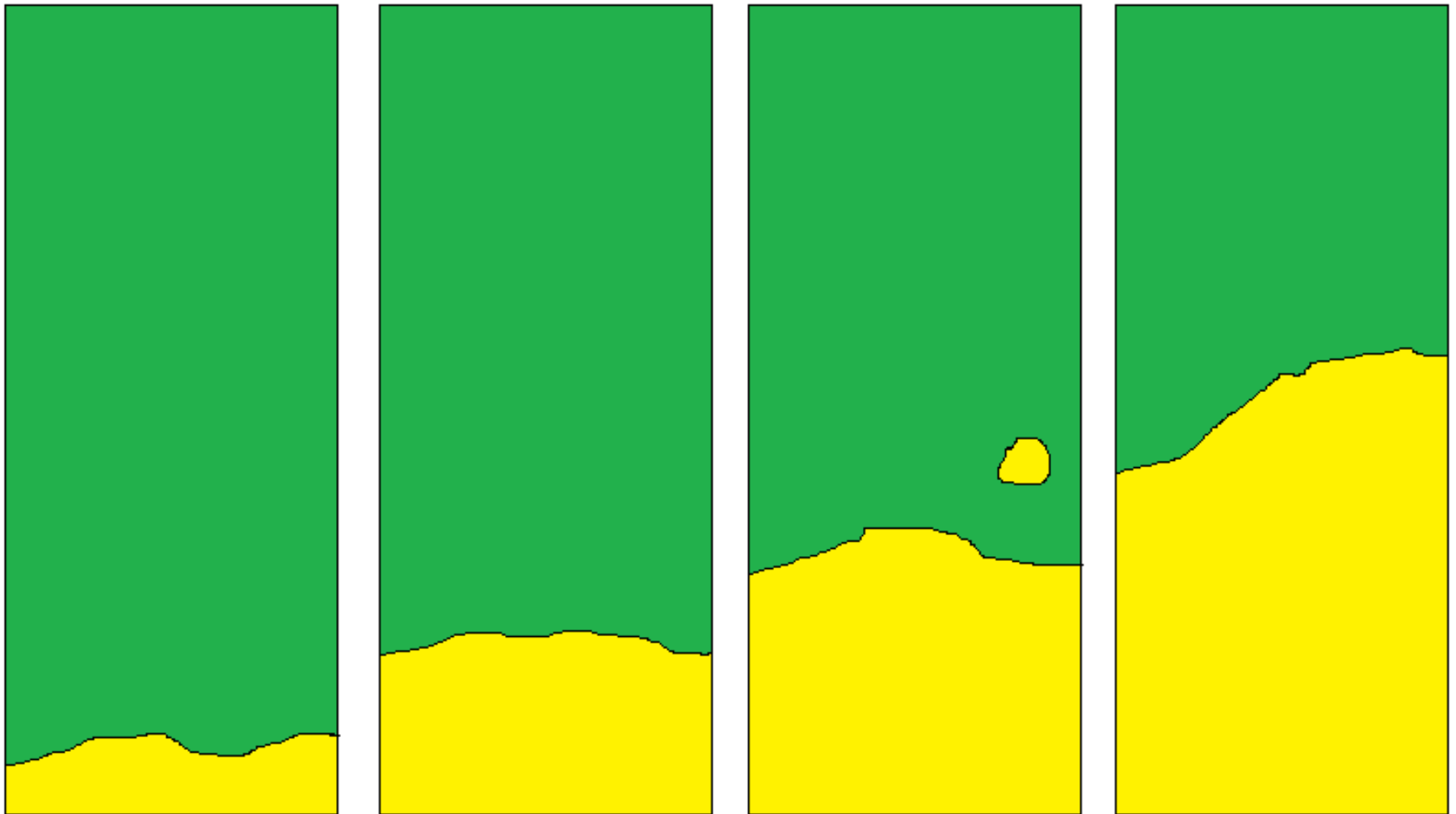
Fig. 1. Flowchart of DINAMICA.

Simulación en DINAMICA

- 1) Simulación del paisaje, paso de tiempo anual
- 2) Variables dinámicas: distancia a agricultura
- 3) Cálculo del un mapa de probabilidad de cambio cada año
- 4) CA (Parcher y expander)

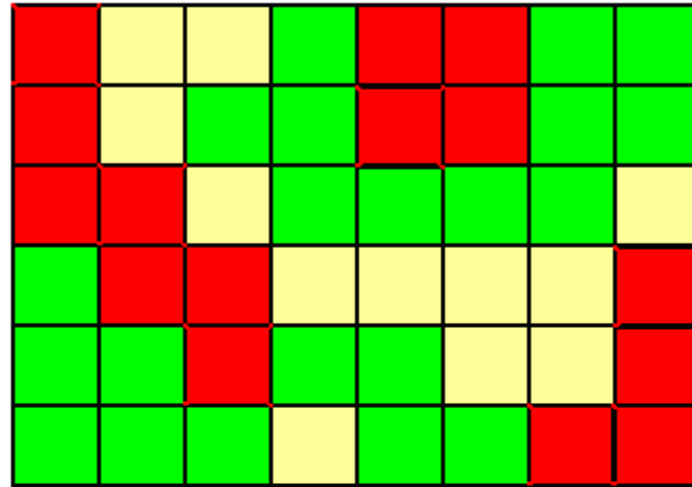
Simulación en DINAMICA

Variables dinámicas: distancia a agropecuario
(frente de deforestación)



Evaluación: Mapa de probabilidad de cambio *versus* cambio: ROC

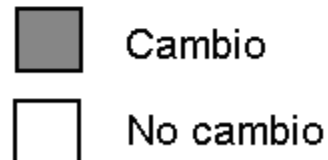
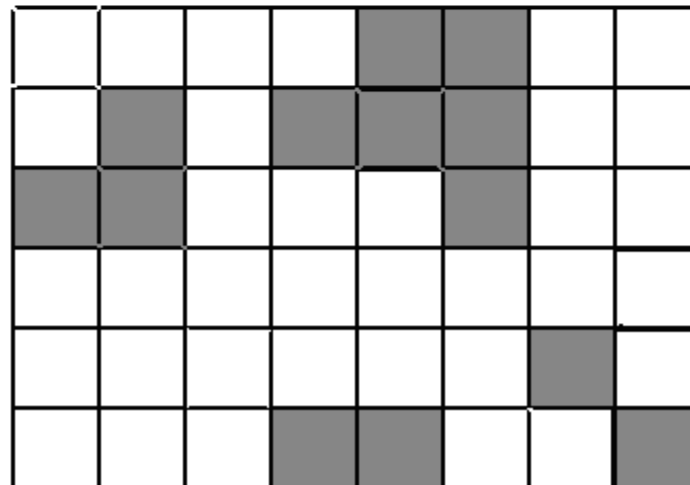
Mapa de propensidad al cambio



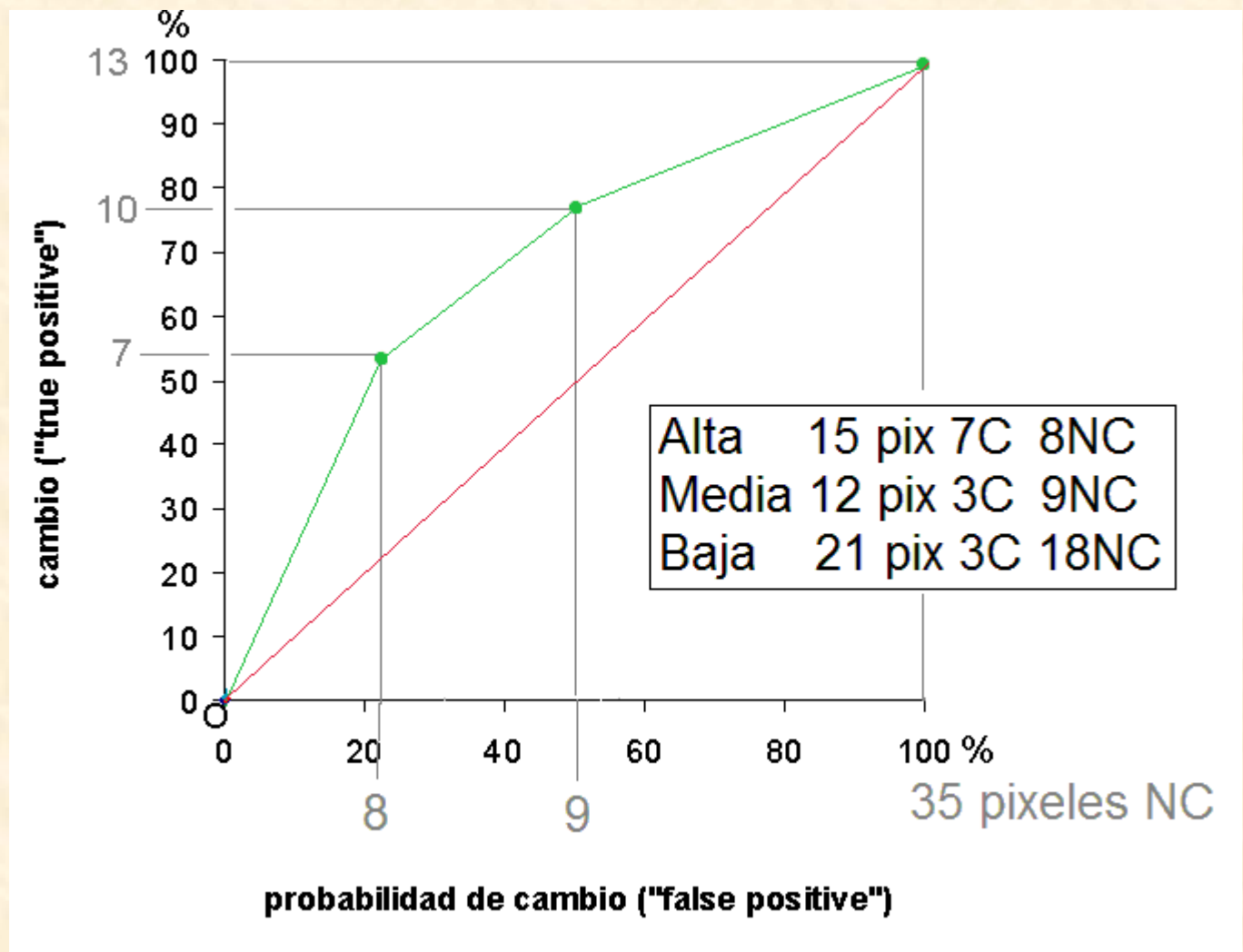
Probabilidad de cambio



Mapa de cambio (observado)

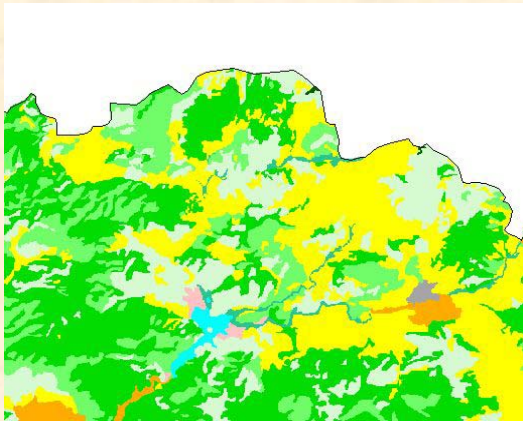


Mapa de probabilidad de cambio *versus* cambio: ROC

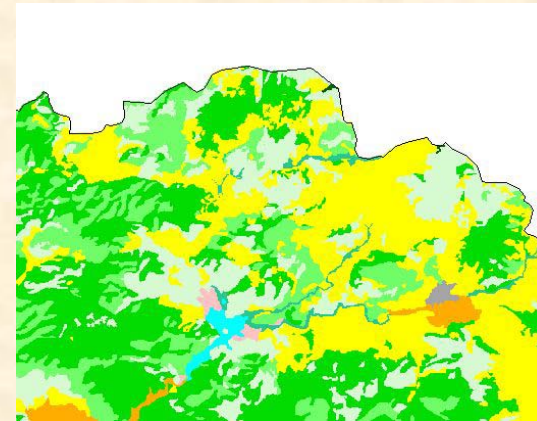


Validación: comparación mapa simulado y mapa observado

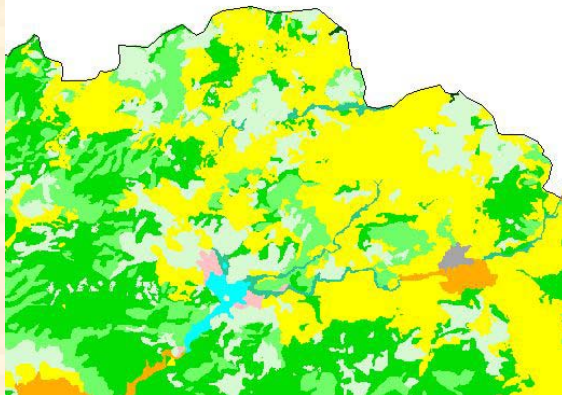
Initial land use/cover map, 2006



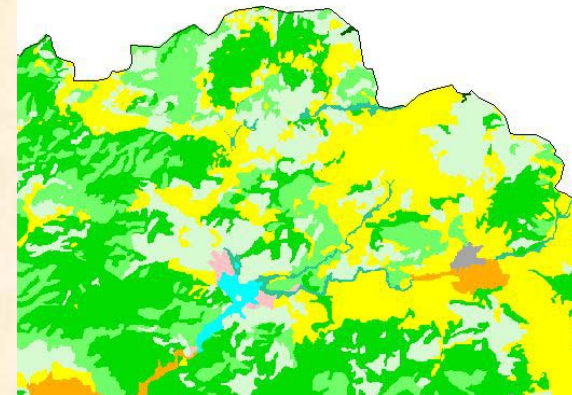
Trend scenario 2015



Cattle scenario 2015



Sustainable scenario 2015

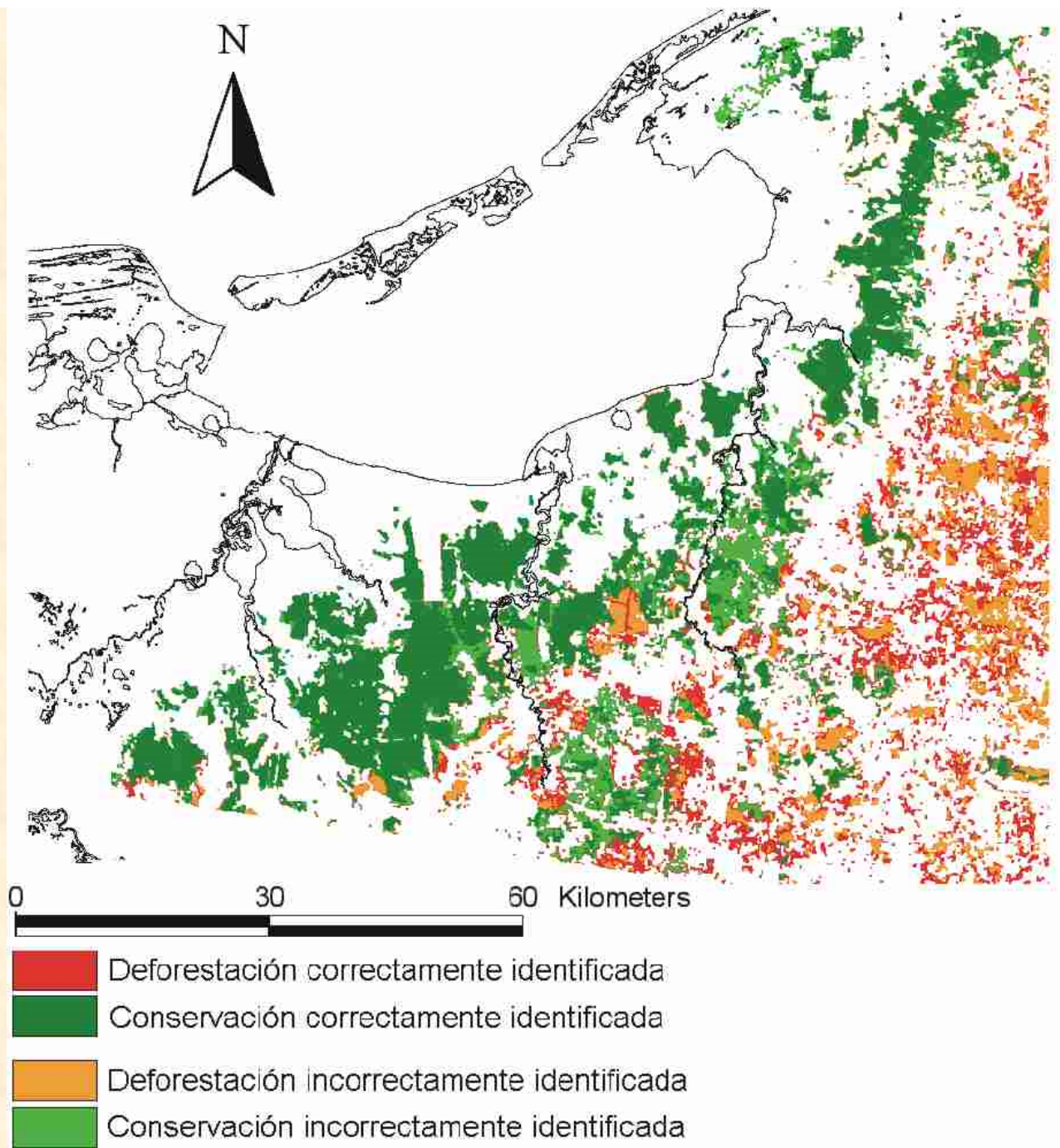


Tasa de coincidencia muy alta debido a la permanencia:
95% de coincidencia debido a la permanencia, 0% de
coincidencia para los cambios

Comparación basada en los cambios

Índice de Kappa, “castiga” la coincidencia restando
aquella debido a un arreglo aleatorio

Errores omisión / comisión



Errores (Pontius et al., 2008)

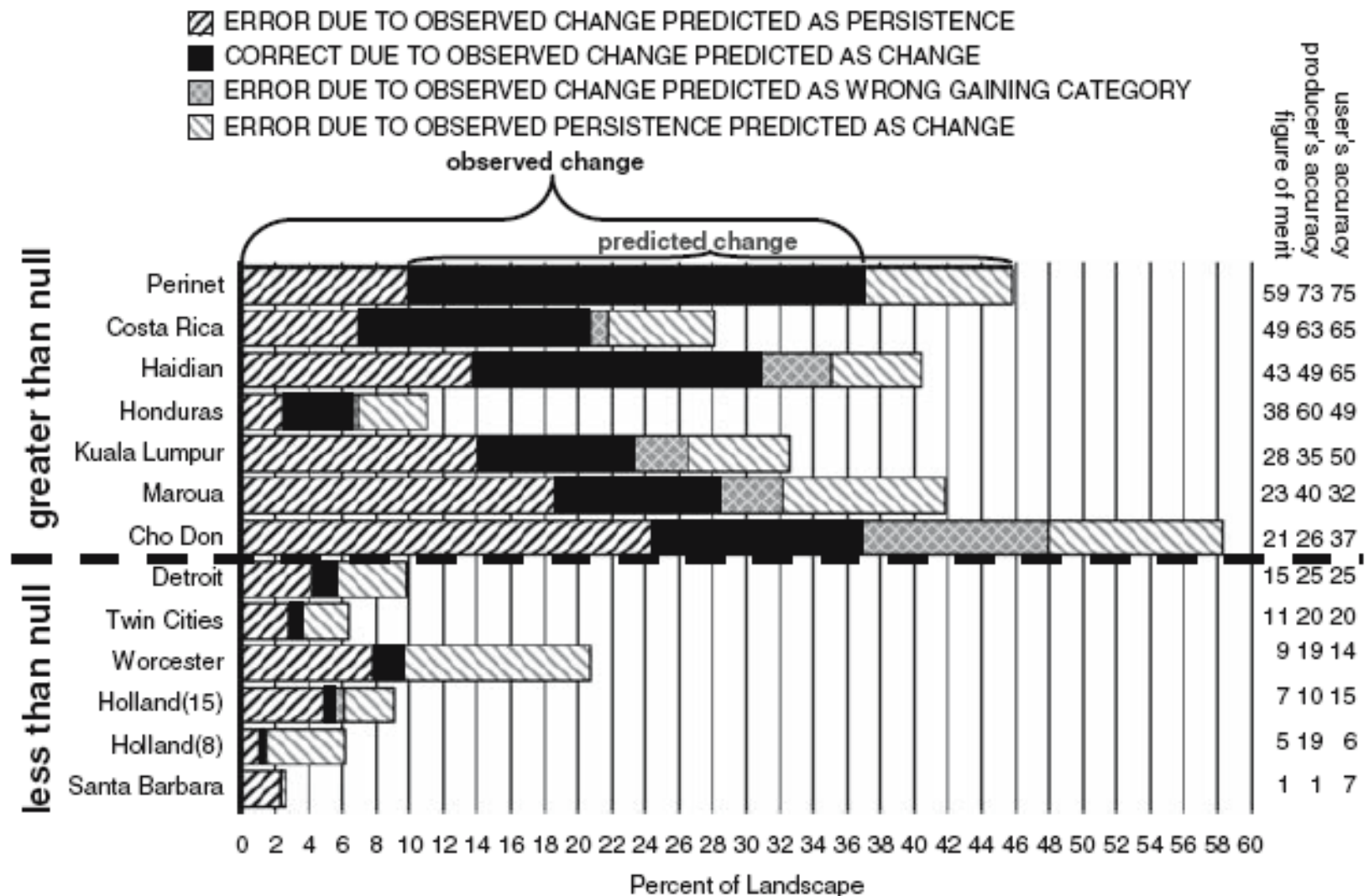
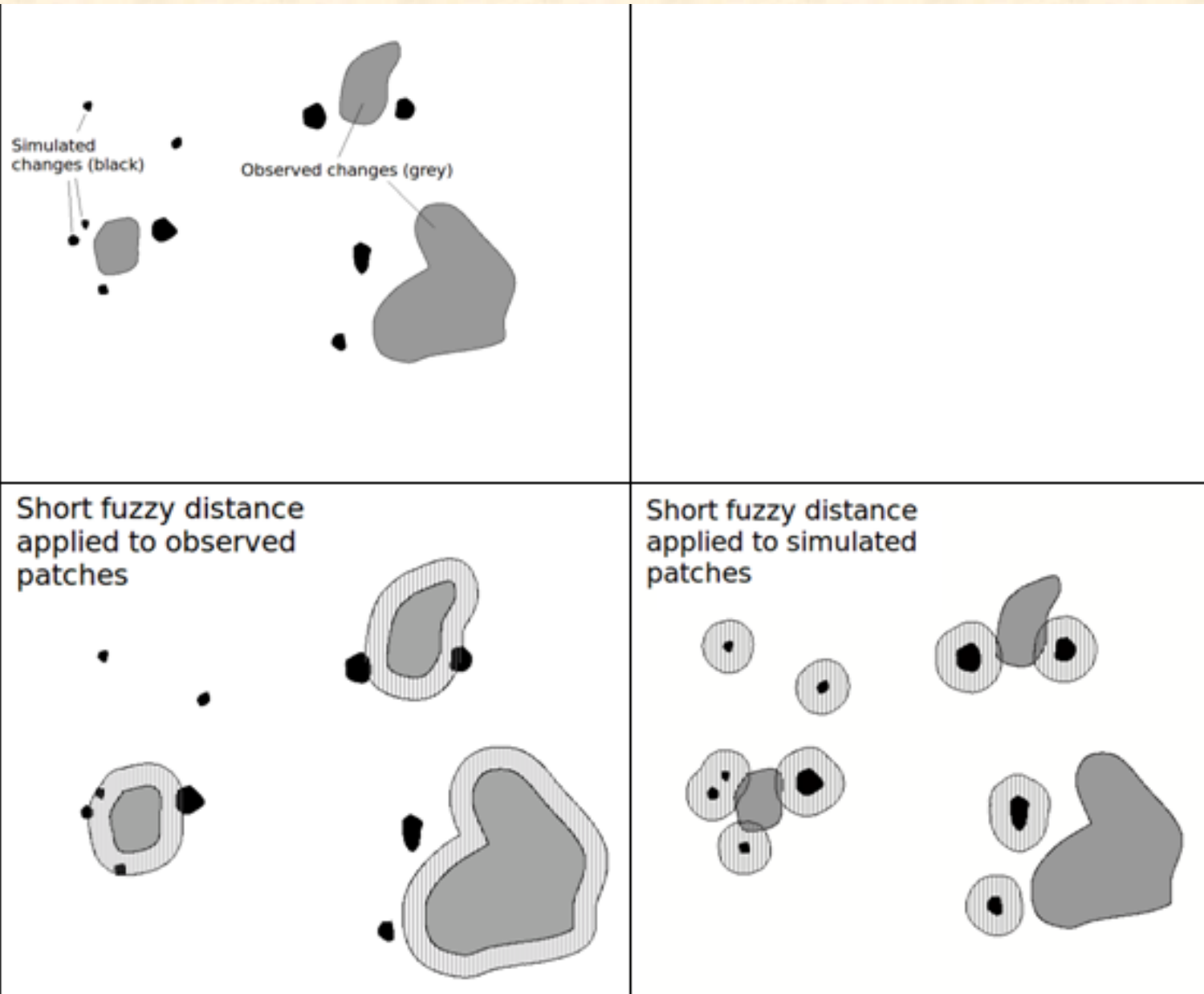


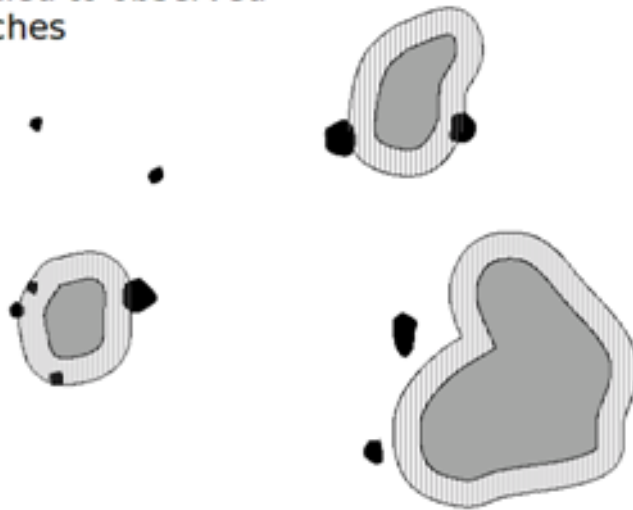
Fig. 4 Sources of percent correct and percent error in the validation for 13 modeling applications. Each bar is a Venn diagram where the solid and cross-hatched segments show the intersection of the observed change and the predicted change

Comparação Fuzzy (Hagen, 2003) no Dinamica

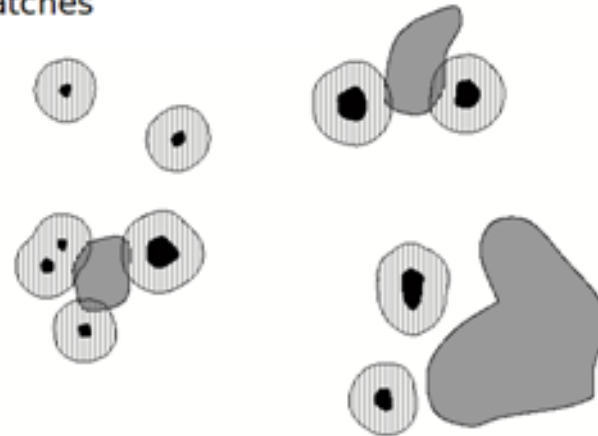


Comparação Fuzzy (Hagen, 2003) no Dinamica

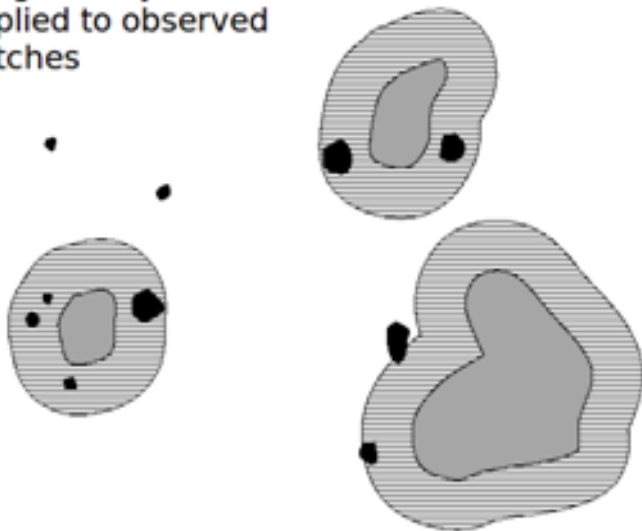
Short fuzzy distance
applied to observed
patches



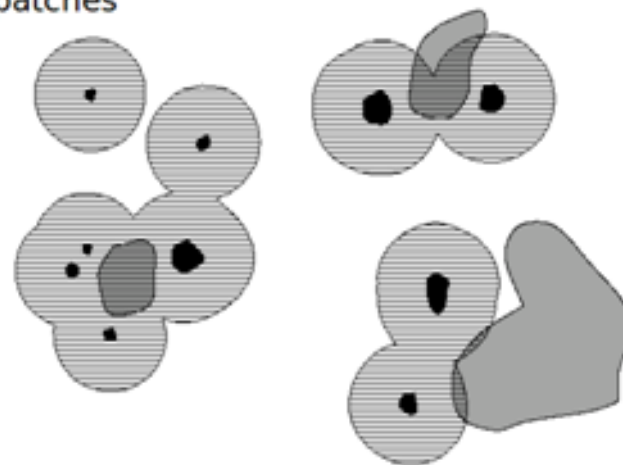
Short fuzzy distance
applied to simulated
patches



Longer fuzzy distance
applied to observed
patches



Longer fuzzy distance
applied to simulated
patches



Comparación Fuzzy

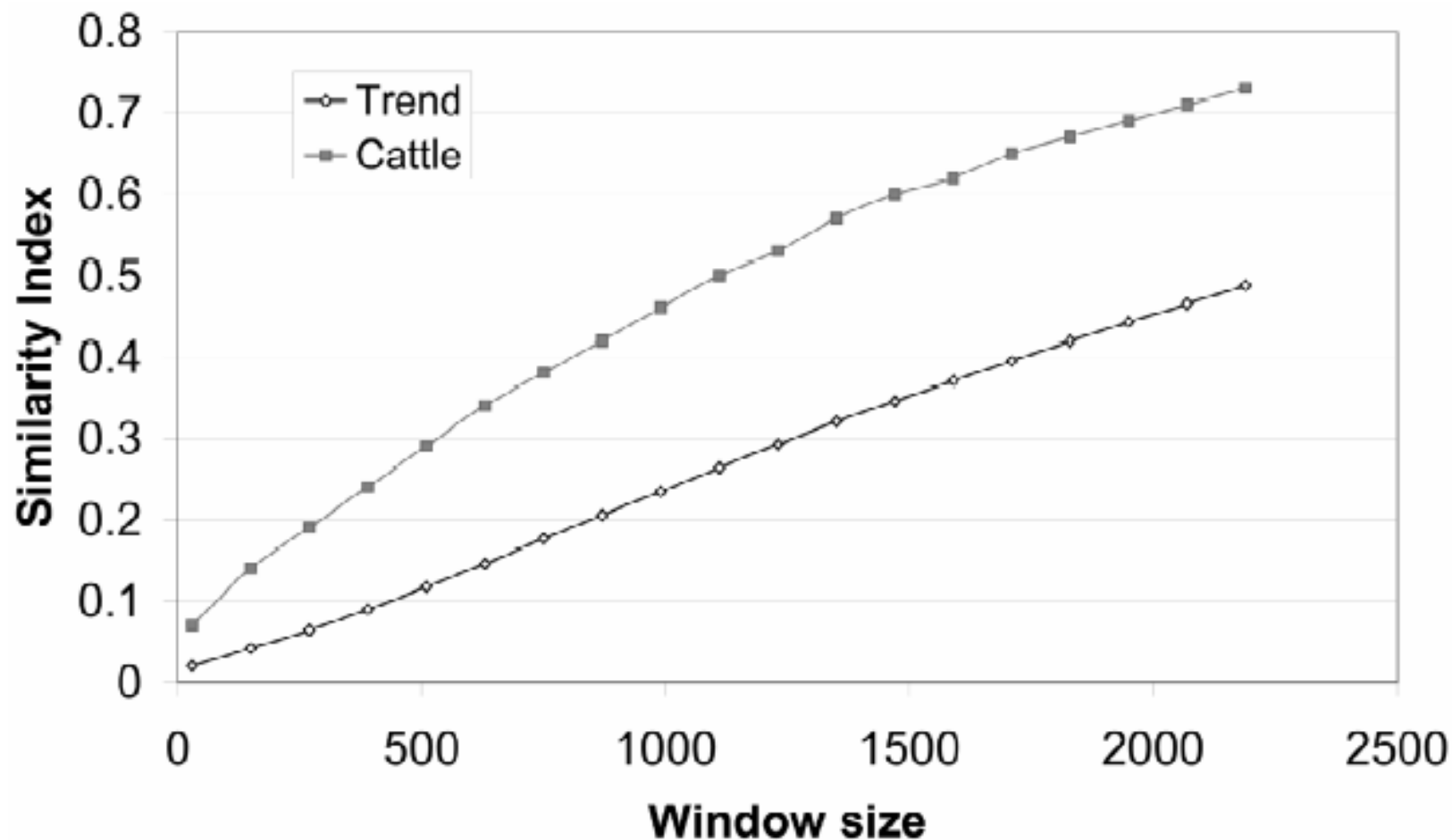


Fig. 8.9 Fuzzy Similarity Index as a function of window size (positional fuzziness)

Modelos más sofisticados

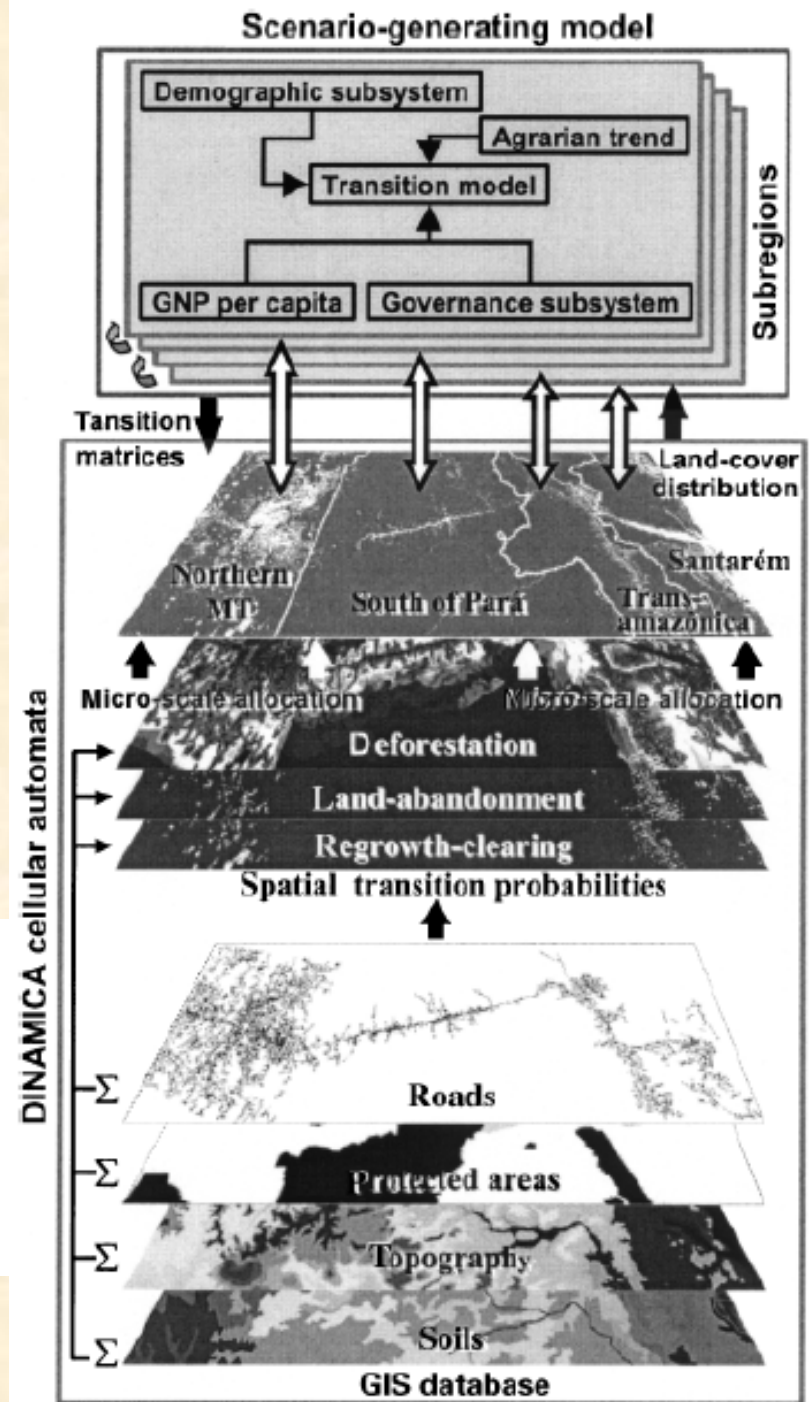
- Varias matrices, matrices elaboradas por modelos externos
- Variables dinámicas (carreteras actualizadas, constructor de carreteras de dinámica)
- “Sojourn time” (tiempo de permanencia: ejemplo ciclo milpa – acahual)
- Efecto de saturación
- sub-regiones con su propia dinámica de cambio (matriz, variables explicativas pero interactúan entre ellas).

Modelos más sofisticados

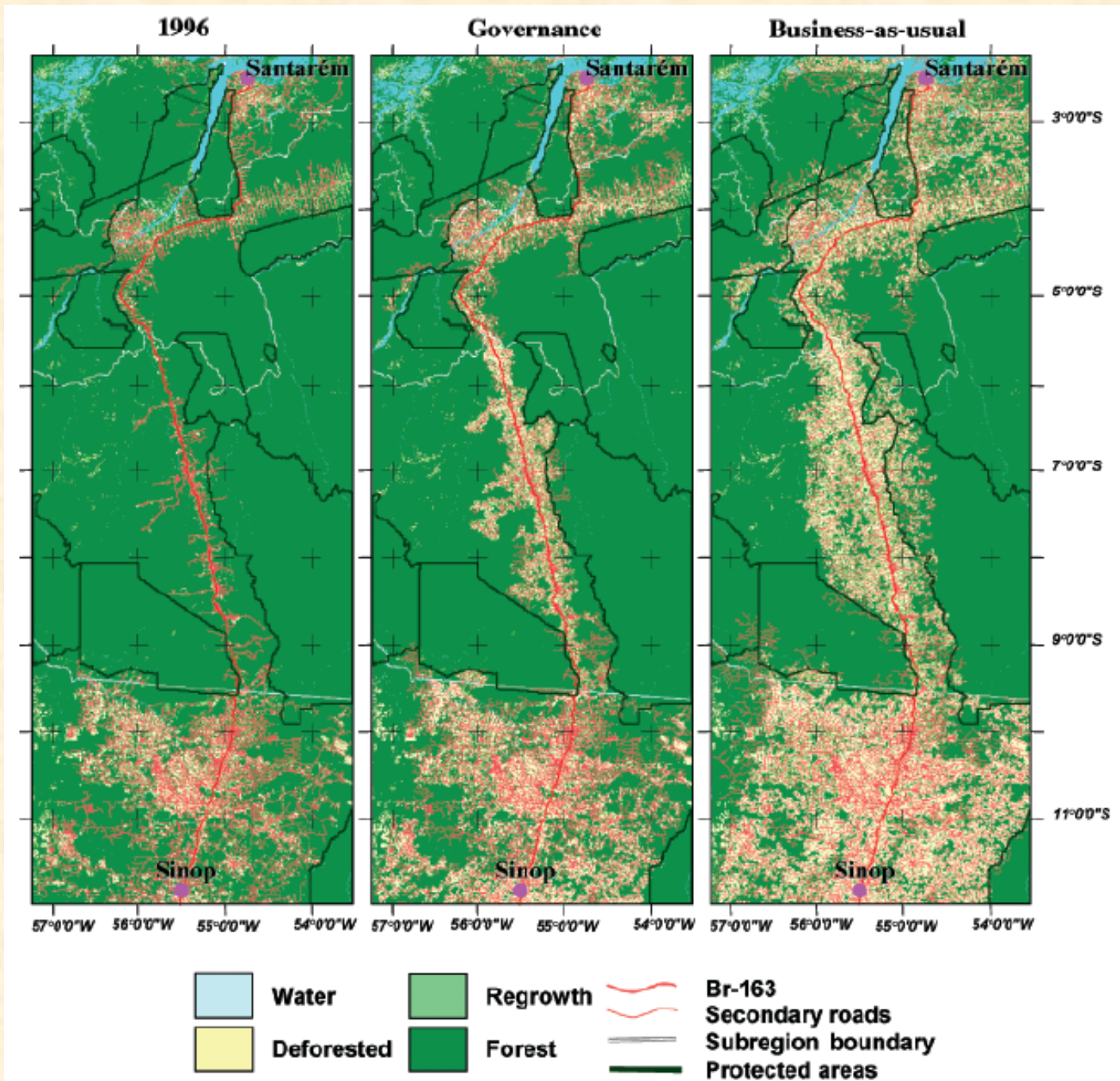
Modelo no espacial que genera las matrices

Fig. 2 Linkage between the scenario-generating model and DINAMICA. DINAMICA receives the transition matrices output by the upper scenario model (one for each subregion) and returns to it the land-cover distribution of each subregion. DINAMICA allocates the changes using transition probability maps calculated by integrating the weights of evidence of spatial variables.

Soares et al., 2004, Global Change Biology
10, 745–764



Generación de escenarios



Combinación de modelos de cambio con otros modelos:

- Modelos económicos,
- Biodiversidad
- Incendios
- Emisión de CO₂
- ...

DINAMICA EGO tiene la flexibilidad o potencial para elaborar todo tipo de modelos ambientales

Recursos para aprender (Manual, tutorial, lista de discusión...)

ROC Analysis

Herramienta para análisis ROC (submodelos)

www.mdpi.com/2220-9964/2/3/869

http://www.ciga.unam.mx/ciga/images/proyectos/vigentes/modelos/images/ROC_tools.zip

Launcher

<http://csr.ufmg.br/dinamica/dokuwiki/doku.php?id=dev:installers>

Hacer un submodelo

C:\Users\...\Documents\Dinamica Examples

C:\Users\...\Documents\Dinamica

EGO\Dataset\Examples\advanced\sub_regions