Universidad de Alcalá
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA

TIG y autómatas celulares para el modelado de usos del suelo

Francisco Escobar
Profesor de Análisis Geográfico Regional
Dpto. de Geografía
Universidad de Alcalá
francisco.escobar@uah.es

DUSPANAC – 17 de junio de 2011

Contenido

1. Autómatas celulares
2. Autómatas celulares y Cartografía
3. Autómatas celulares y cambios en los usos del suelo
4. El modelo MOLAND
5. Limitaciones
6. Acciones de futuro
7. Conclusiones

1. Autómatas celulares - origen

- La teoría de los autómatas celulares es iniciada a finales de los años 40 por John von Neumann (Theory of Self-reproducing Automata)

1. Autómatas celulares en Geografía - origen

- Tobler W.R., « Cellular geography », p. 379-386 in S. Gale, G. Olsson (dir.), *Philosophy in geography*, Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holanda, 1979.
  - Modelos de cambios de usos del suelo
  - Vecindad – estructura “raster” de datos geográficos. Cada celdilla de la capa raster constituye una “célula”
  - Reglas de transición

1. Autómatas celulares - definición

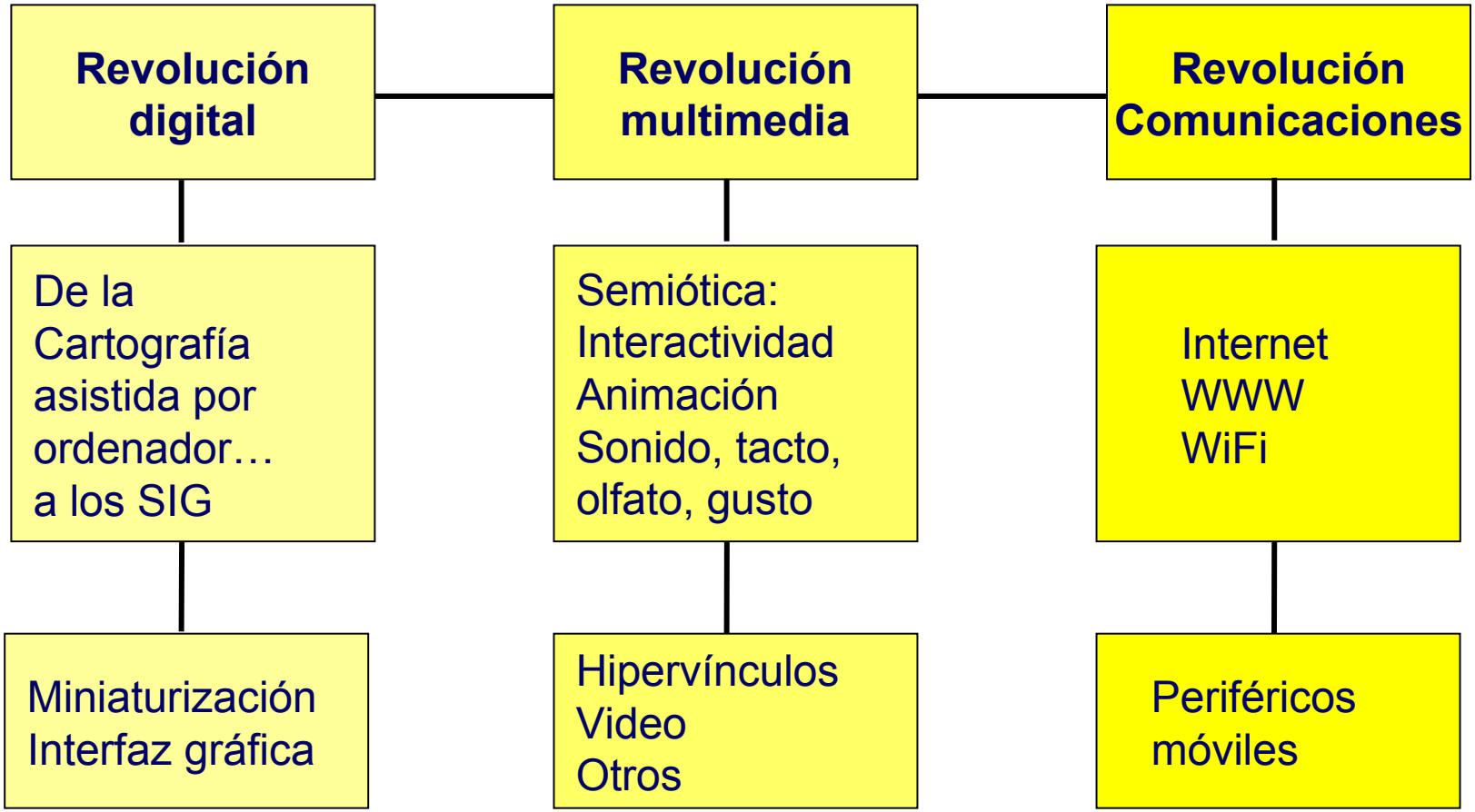
- Sistema de células que interactúan de manera sencilla pero que manifiestan un comportamiento global complejo (S. Wolfram, 1983)
- Modelo matemático para un sistema dinámico que evoluciona en pasos discretos.
- Hacen emerger estructuras complejas a nivel global partiendo de reglas relativamente simples (A. Langlois y M. Phipps, 1997)
- Modelos potentes para la comprensión de fenómenos y procesos espaciales
- Permiten simular la evolución del espacio geográfico

1. Autómatas celulares - características

- Rejilla o cuadrícula. Cada celda de la cuadrícula se conoce como **célula**.
- Cada célula puede tomar un valor a partir de un conjunto finito de **estados**.
- Cada célula se caracteriza por su **vecindad**.
- Todas las células de la cuadrícula se ven afectadas por una **función de transición** que toma como argumentos los valores de la célula en cuestión y los valores de sus vecinos.
- Un **reloj virtual** de cómputo conectado a cada celda del autómata indica el momento en que debe aplicarse la función de transición

2. Autómatas celulares y Cartografía

Avances en Cartografía



2. Autómatas celulares y Cartografía

Consecuencias de la revolución digital 1

- Datos
  - Recogida
  - Almacenamiento
  - Estructuración – SGBD
- Semiología
  - Pantalla
  - Tonos de gris
- Modos de representación
  - MDT
  - Cartogramas
- Atributos
  - Tratamiento estadístico

2. Autómatas celulares y Cartografía

Consecuencias de la revolución digital 2

- Cartografía
  - Convergencia de disciplinas
  - Nuevas funciones del mapa:
    - Sistemas de alerta
    - Ayuda a la decisión

2. Autómatas celulares y Cartografía

Consecuencias de la revolución digital 3

- Cartografía
  - Automatización
  - Investigación
    - Experimentación
    - Simulación

Autómatas celulares

- Datos
  - Recogida
  - Almacenamiento
  - Estructuración – SGBD
- Semiología
  - Pantalla
  - Tonos de gris
- Modos de representación
  - MDT
  - Cartogramas
- Atributos
  - Tratamiento estadístico

2. Autómatas celulares y Cartografía

Consecuencias de la revolución multimedia

- Adecuación de la cartografía a las nuevas demandas de la sociedad – sociedad de la imagen
- Apertura hacia nuevas posibilidades de visualización
- Apertura hacia nuevas posibilidades de análisis espacio-temporales

Los autómatas celulares en Cartografía responden a:

- Los SIG de segunda generación se limitan a:
  - Operaciones espaciales geométrica simples (superposiciones y mediciones)
  - Presentan limitaciones:
    - En la resolución de algoritmos iterativos
    - En la optimización de modelos
    - En la realización de simulaciones
    - En el análisis de procesos espaciales
    - En el análisis de la dinámica y transformación del espacio

Esfuerzos actuales:

- Integración en los SIG de modelos cartográficos basados en:
  - Multi-agentes
  - Autómatas celulares

3. Autómatas celulares y cambios en los usos del suelo (urbanos)

- Ventajas
  - Debilidad de modelos tradicionales
  - Adaptación a sistemas espaciales
  - Aproximación descentralizada
  - Afinidad con SIG y Teledetección
  - Escalas detalladas
  - Atención simultánea al espacio, el tiempo y los atributos
  - Dinamismo
  - Modelos complejos
  - Simplicidad
  - Visualización

(Torrens, 2000)

Aplicaciones de AC en sistemas urbanos

- Dinámica en los usos del suelo
- Urbanización a escala regional
- Crecimiento urbano y “sprawl”

→ MOLAND

- Segregación socio-espacial
- Desarrollo
- Análisis de la localización
- Urbanismo

O’Sullivan y Torrens, 2000

4. El modelo MOLAND

- Qué es MOLAND?
  - Un instrumento práctico para el planeamiento urbano y regional
  - Un modelo de simulación integrado en un Sistema de Apoyo a la Decisión Espacial
  - Un modelo basado en SIG para conocer mejor la dinámica del crecimiento urbano en Europa
  - Un modelo utilizado como herramienta para estimular y facilitar la discusión y la reflexión
  - Un modelo basado en autómatas celulares

  - *Cada usuario tiene su propia visión*

MOLAND - Objetivos

- Establecer y definir una metodología específica para el monitoreo de la dinámica de los asentamientos humanos
- Ser aplicado a un conjunto de centros urbanos europeos
- Ser aplicado a un conjunto de megaciudades en países en vías de desarrollo

Lavalle et al, 2001

Zonas de aplicación de MOLAND
+ Madrid, Leipzig, Montpellier, Köper, La Haya… y muchas más

Kasanko, 2007

Premisa

Las ciudades son similares.

Evolucionan según los mismos procesos.

Hipótesis

Las diferencias entre las ciudades estriban en las diferentes condiciones encontradas en sus áreas (topografía, geometría de la red de transporte, regulación de su planeamiento)

MOLAND se centra en:

- Cambios en los usos del suelo
- Modelado de escenarios futuros
- Escala urbana y peri-urbana en grandes metrópolis

- El modelo MOLAND ha sido desarrollado por RIKS bajo el auspicio del Joint Research Centre (JRC) de la Comisión Europea

- Su primera versión fue lanzada en 1998 como parte del proyecto Murbandy. La última versión del modelo es conocida como MOLAND

Objetivo científico

- Simular el crecimiento urbano (y *sprawl*) basado en diferentes políticas y regulaciones

Preguntas a las que pretende dar respuesta:

- Qué ocurriría si…? – *Story lines*
- En relación con los cambios en los usos del suelo:
  - Crecimiento o reducción de determinados usos
  - Patrones de cambios en los usos
  - Inter-relaciones entre clases de usos del suelo

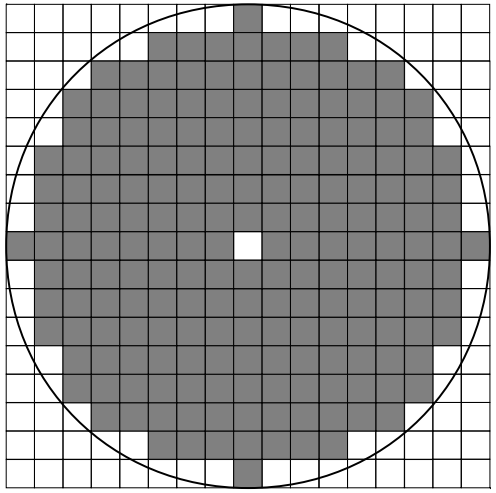
Cómo funciona?

- Celdas – píxeles (100*100 m.)
- Estados – clases en la ocupación del suelo
  - Fijas (ejemplo: aeropuertos, redes de transporte…)
  - Vacantes (ejemplo: tierras agrícolas, bosques, zonas húmedas…)
  - Activas (ejemplo: zonas residenciales, urbanas…)
- Reglas de transición
  - La potencialidad de transición viene marcada por accesibilidad, zonificación, efecto de vecindad, aptitud
- Demanda de usos del suelo

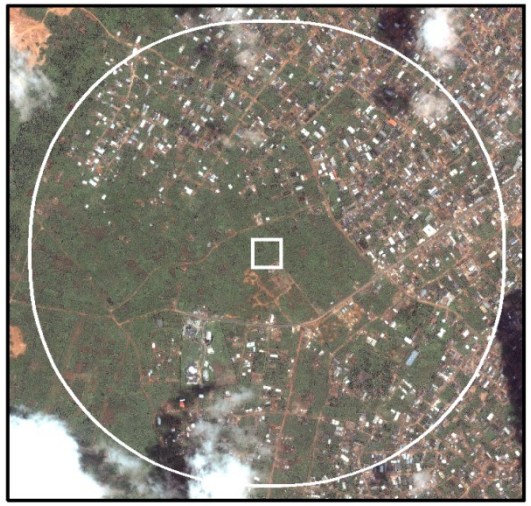
- **Aptitud**: entre 0 y 1, se define como la adecuación de una celda para recibir una categoría de uso del suelo (en función de medidas relacionadas a la ecología, economía, historia…)
- **Zonificación**: Valor binario, determinado por el hecho de que una celda pueda o no recibir un tipo de uso.
- **Accesibilidad**: entre 0 y 1, calculado en función de la distancia a elementos de la red de transporte
- **Uso del suelo**: la celda adopta el valor de la categoría más demandada hasta que esta demanda es cubierta. La siguiente opción será la segunda categoría en el ranking de demanda

Efecto de vecindad:

- Se aplica un área de vecindad de 196 píxeles (radio = 8 píxeles)
- El efecto en la celda central es calculado en función de la distancia



1 celda = 100 x 100 m



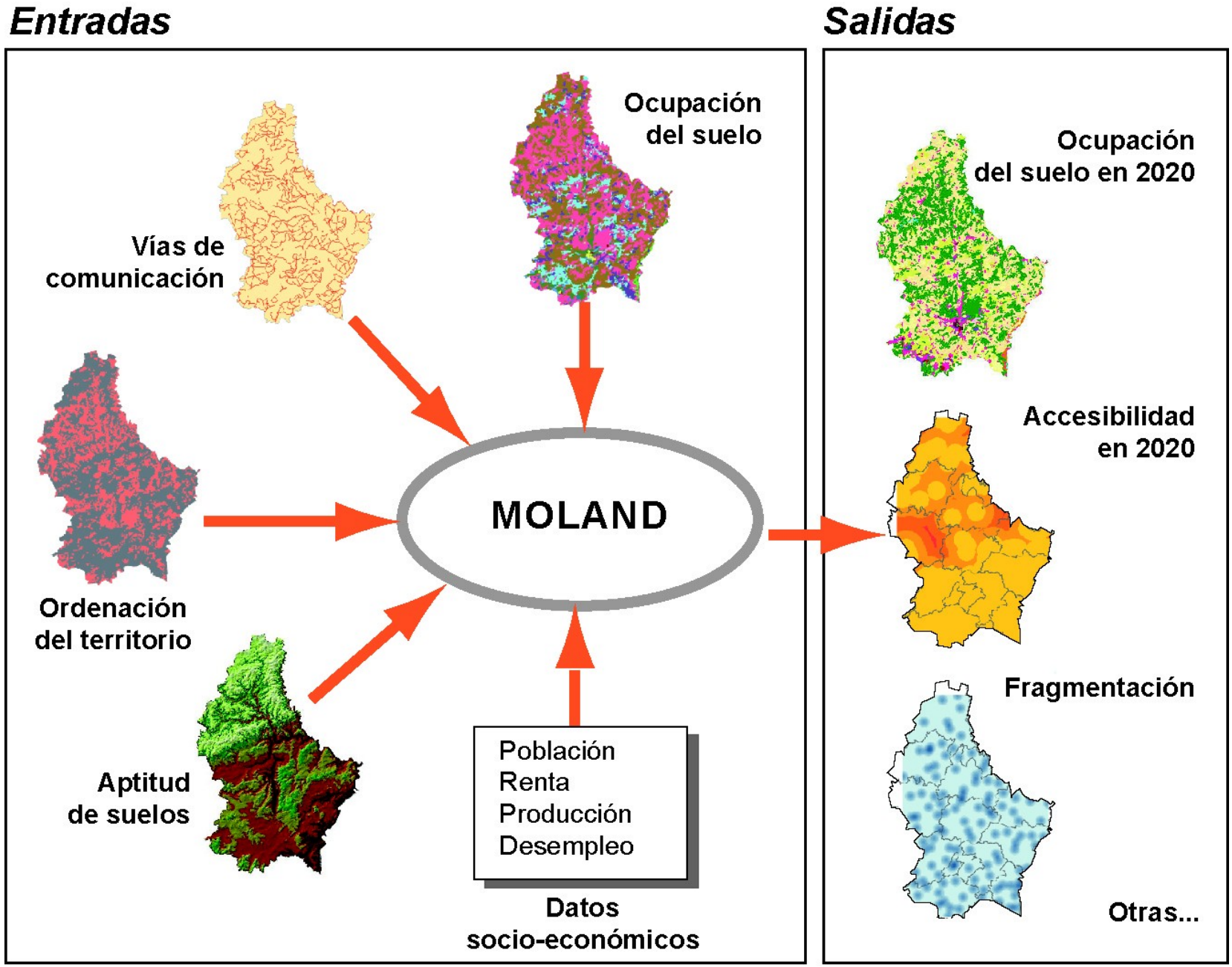
Calibración del modelo

- Periodo de calibración (± 10 años)
- Comparación de la salida del modelo con la realidad
- Cambio de parámetros para su mejora
- Funciones genéricas para establecer reglas de distancia:
  - Sin interacción
  - Atracción
  - Repulsión
  - Cambio de interacción con la distancia
  - Fuerte interacción con vecinos alejados
  - Atracción decadente gradual
  - Fuerte interacción con vecinos próximos
  - Esfera de influencia (sólo en distancias cortas o sólo en largas)

Escenarios

- Influencias externas
- 30 años
- Resultados visibles año a año

Visión general del modelo



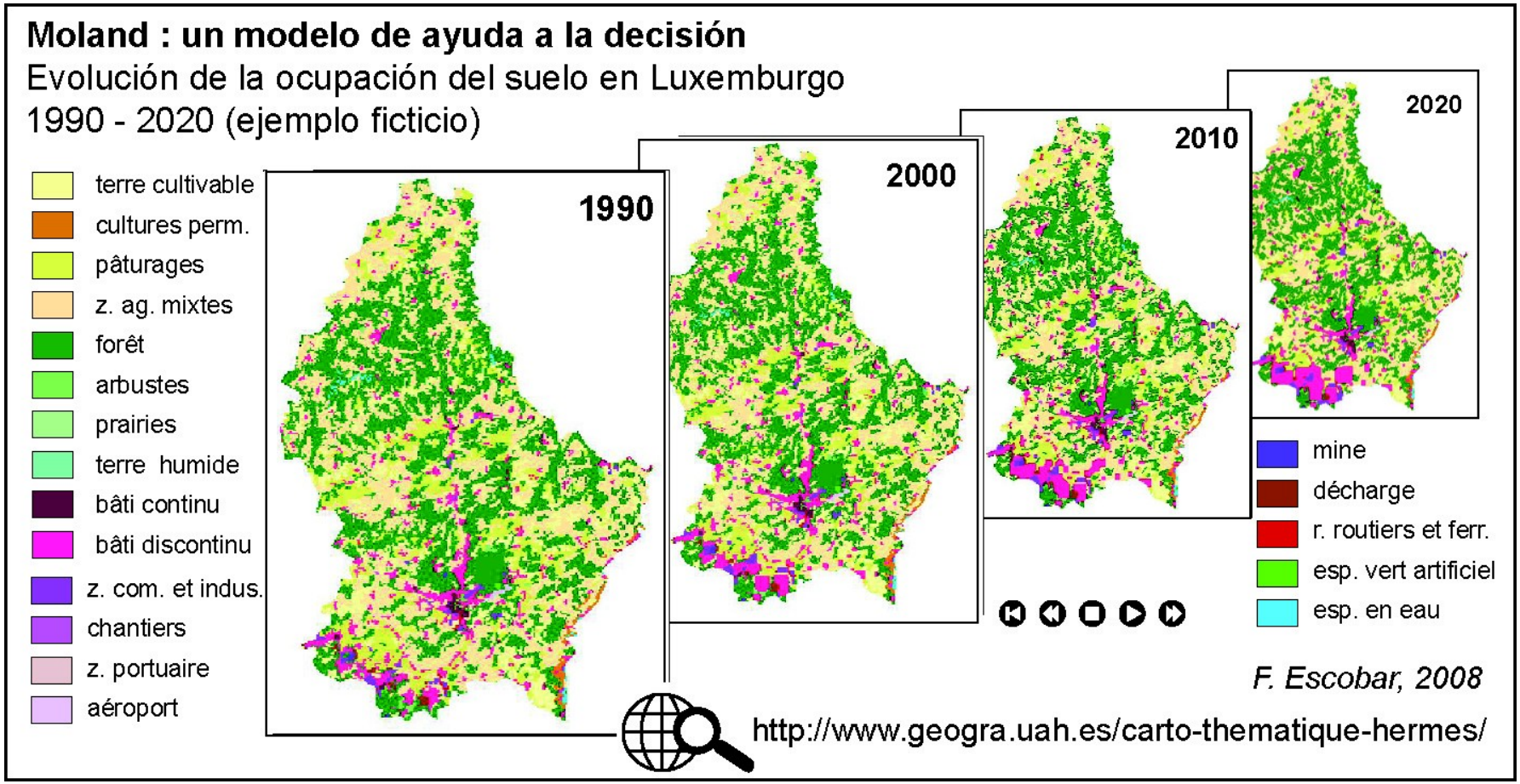
Moland : modelo de autómatas celulares - Software: Geonamica (JRC - RIKS)

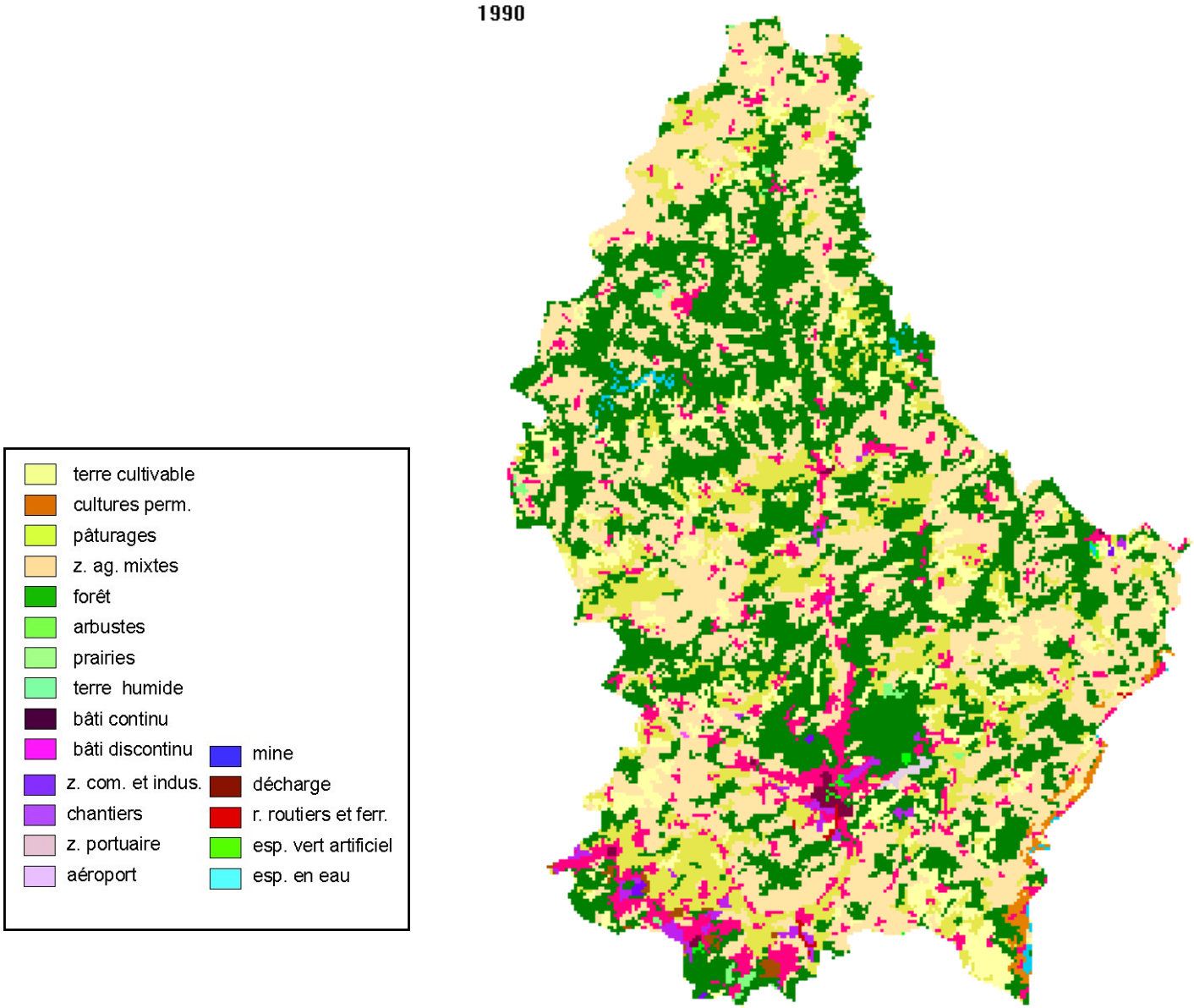
F. Escobar, 2008, en: Cauvin, Escobar y Serradj (2008) Cartographie Thématique 5, London, Hermès.

Salidas

- Mapas:
  - Simulaciones de usos del suelo
  - Dinámica de los usos del suelo
  - Análisis espacial (accesibilidad, riesgos, fragmentación…)
- Métricas espaciales:
  - Composición del paisaje
  - Configuración del paisaje
- Animaciones
  - Dinámica en la evolución de los usos del suelo

Ejemplo de salida cartográfica en MOLAND





Ejemplo de animaciones producidas por MOLAND

5. Limitaciones

Revolución digital

De la Cartografía asistida por ordenador… a los SIG

✓ Miniaturización
Interfaz gráfica

Revolución multimedia

Interactividad
Animación
Sonido, tacto, olfato, gusto

✓ Hipervínculos
Video
Otros

Revolución Comunicaciones

Internet
WWW
WiFi

✓ Periféricos móviles

7. Acciones de futuro

- Desarrollo de interfaz interactiva
- Desarrollo y mejora de salidas de animación

Otras necesidades:

- Internet
- Popularización
- Adaptación a periféricos móviles
- Mayor incorporación de ventajas multimedia

8. Conclusiones

- Avances en modelado de usos del suelo
- Herramientas continúan en poder de “expertos”
- Dificultad para cumplir algunos objetivos de MOLAND
  - Instrumento práctico para el planeamiento urbano y regional
  - Un modelo utilizado como herramienta para estimular y facilitar la discusión y la reflexión
- Necesidad de integrar en MOLAND (y otros!) los desarrollos actuales en Cartografía