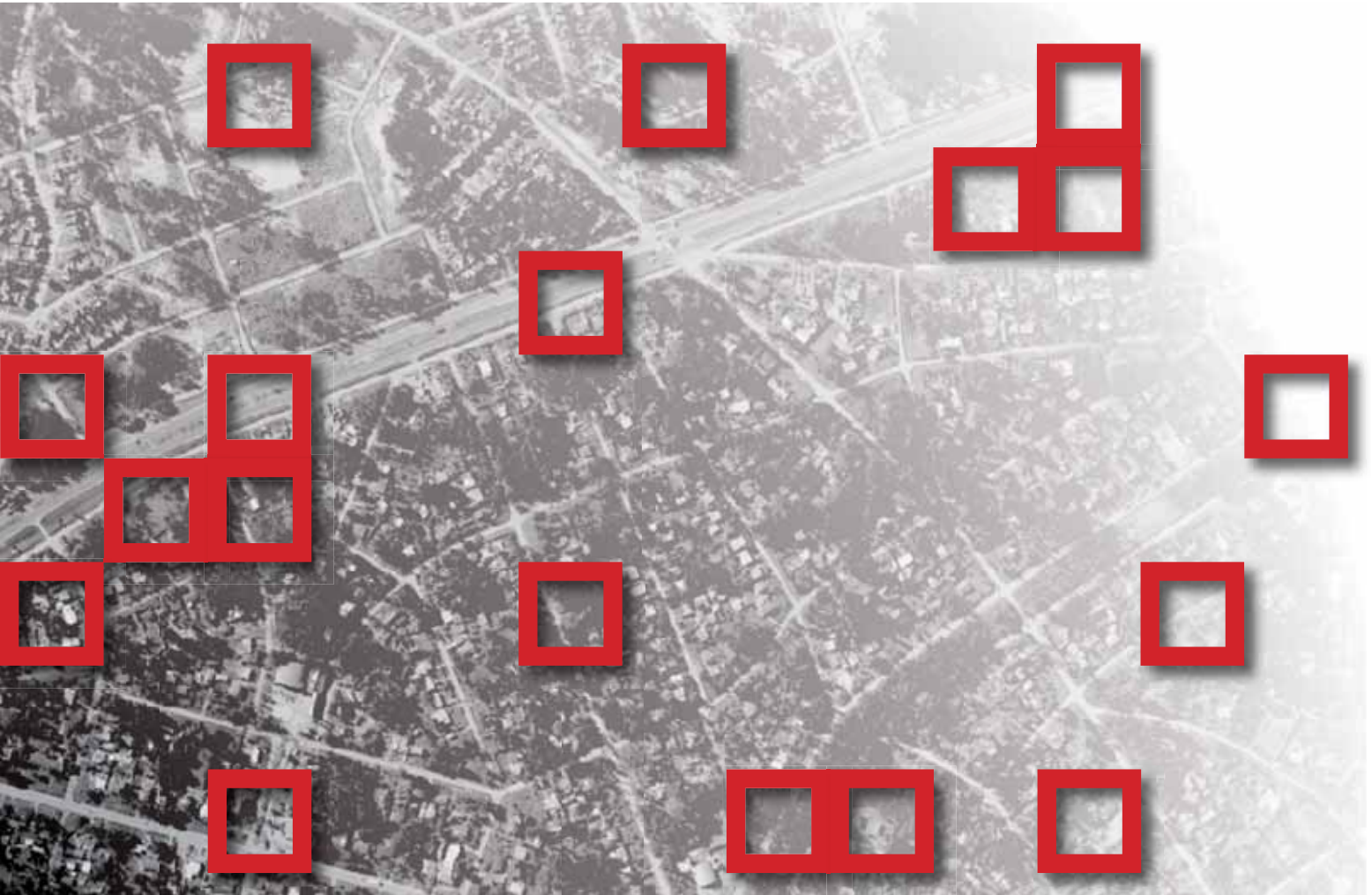
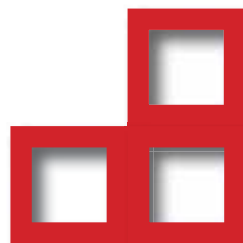


PIX > PIX

Experimentación con técnicas de modelación aplicadas a la simulación de entornos territoriales.





La publicación
de este libro fue realizada con el apoyo de la
Comisión Sectorial de Investigación Científica
(CSIC) de la Universidad de la República

Comité de referato.

sólo un prólogo.

La presente publicación surge a partir de la investigación realizada en el marco de la convocatoria 2008 del programa de Apoyo a la Investigación Estudiantil promovido por CSIC. La propuesta realizada estuvo dentro del grupo de proyectos financiados que desarrollaron su labor en el correr del 2009 y culminó en el 2010 con la obtención de una de las menciones como trabajo destacado otorgadas en el evento de clausura organizado por CSIC.

Los resultados que se exponen en las páginas siguientes no pretenden dar luz definitiva sobre los temas que abordan ni mucho menos. Por el contrario no es más que la búsqueda de preguntas y una posible hoja de ruta en el camino que empezamos a esbozar como posibles investigadores. En este sentido creemos que este producto final es un fiel reflejo del espíritu del programa que lo respaldó y no hace más que alimentar la ansiedad, la curiosidad y el entusiasmo por adentrarse y profundizar algunos temas que nos interesan y que sabemos que nos reservan más trabajo, más esfuerzo, más incertidumbres, más sorpresas y menos horas de sueño.

Como el mismo Rector de la Universidad de la República Dr. Rodrigo Arocena dijo en el acto de cierre de la generación 2009 del programa, “el objetivo está cumplido si en el correr de este tiempo encontraron esos temas que los apasionan, ahora aférrense a ellos y empiecen a trabajar...”

Es así que nuestro deseo es que estas páginas sean el prólogo de un trabajo que todavía está por hacerse.



0.0 Contenidos >







1-Introducción.

2-Objetivos, Plan de trabajo, y esbozo metodológico.

- 2.1-Propuesta de investigación.
- 2.2-Objetivos de la investigación.
- 2.3-Plan de trabajo.

3-Soportes Teóricos.

- 3.1-El nuevo soporte científico/filosófico.
 - Teoría general de sistemas.
 - Sistemas complejos.
- 3.2-La interpretación del territorio desde los nuevos soportes científico/filosóficos.

4-Soportes Tecnológicos

- 4.1-Los nuevos soportes tecnológicos.
 - Autómatas Celulares.
 - Fractales.
 - L-Systems.
 - Agentes.
- 4.2-La representación del territorio desde los nuevos soportes tecnológicos.



5-Requerimientos de la herramienta.

- 5.1-Requerimientos de la herramienta.
- 5.2- Elección de herramientas.
 - Autómatas Celulares.
 - Los Autómatas Celulares y la realidad.
 - Sistemas de información geográfica.
 - Integración de Autómatas celulares y SIG.
 - PIX>PIX

PIX>PIX

Experimentación con técnicas de modelación aplicadas a la simulación de entornos territoriales.

6-Experimentos.

Experimento1-Territorio Indígena-

E1.1-Definición del entorno

Entidades territoriales.

Variables.

Entorno físico.

E1.2-Eschema general del modelo

E1.3-Conclusiones parciales.

Experimento2-Territorio Colonial-

E2.1-Definición del entorno

Entidades territoriales.

Variables.

Entorno físico.

E2.2-Eschema general del modelo

E2.3-Conclusiones parciales.

Experimento3-Territorio Moderno-

E3.1-Definición del entorno

Entidades territoriales.

Variables.

Entorno físico.

E3.2-Eschema general del modelo

E3.3-Conclusiones parciales.

Experimento4Territorio Complejo-

E4.1-Definición del entorno

Entidades territoriales.

Variables.

Entorno físico.

E4.2-Eschema general del modelo

E4.3-Conclusiones parciales.



7- Prefiguraciones Territoriales.

8 - Conclusiones

9- Bibliografía.

1.0 Introducción >





1.0 Introducción.



A lo largo de la historia la manera en que entendemos y nos aproximamos a la realidad ha estado estrechamente relacionada con las técnicas de representación que utilizamos. En este sentido la ciencia, el arte y la filosofía han aportado influido y enriquecido las posibilidades de representación desde sus respectivos campos.

Es importante tener presente que la manera en que representamos y entendemos la realidad es una construcción humana y como tal responde al contexto cultural en el que surge. No sería novedoso establecer relaciones entre las técnicas de representación y los argumentos científico-filosóficos que las sustentan así como las cosmovisiones en las que surgen.

La invención de la perspectiva renacentista y su representación científica del espacio, el impresionismo y su búsqueda por capturar la fugacidad del instante, la explosión de vanguardias de comienzos de Siglo XX, el arte abstracto de Kandinsky y Klee, el cubismo de Picasso y la captura de la cuarta dimensión, más cercano en el tiempo el arte conceptual.....Todas estas corrientes no responden tan sólo al desarrollo independiente del área del arte sino que han surgido como respuesta a un entorno cultural, científico y filosófico que modifica nuestra visión de la realidad y a la que buscan dar respuesta. En lo referente a la arquitectura y al planeamiento urbano-territorial ésta relación entre la realidad y su representación como medio de entenderla y manipularla es aun mucho más fuerte y evidente. La representación del territorio siempre ha sido un punto clave a la hora de conceptualizarlo, entenderlo y actuar sobre él. Podríamos hacer un recuento de distintas formas de representar el territorio a lo largo de la historia y dar cuenta de cómo éstas permanecen estrechamente vinculadas con una visión y una forma de aproximarse al mismo particular.

Desde las perspectivas de marcado valor formalista del S XIX, pasando por las plantas perfectamente definidas del movimiento moderno, las especulaciones científico/futuristas de archigram, los relevamientos tipológicos de Rossi o los mapeos de recorridos urbanos de los situacionistas.

No es la intención de éste trabajo hacer un relevamiento de las distintas maneras de representar el territorio y la relación de éstas con el entorno cultural en el que surgen. Sí reflexionar investigar y experimentar sobre el surgimiento y desarrollo de un nuevo modo de representación característico



PIX>PIX

Experimentación con técnicas de modelación aplicadas a la simulación de entornos territoriales.

de nuestra época y que parece corresponderse por un lado con la aparición de un nuevo paradigma científico/filosófico que se ha consolidado en los últimos años, y por otro con la aparición y proliferación de nuevas herramientas y tecnologías.



2.0 Objetivos, Plan de trabajo, y esbozo metodológico. >



- 2.1-Propuesta de investigación.
- 2.2-Objetivos de la investigación.
- 2.3-Plan de trabajo.



Propuesta de Investigación.



Inmerso en este contexto, el proyecto intenta experimentar con técnicas de modelización, evaluando su capacidad para representar y prefigurar realidades complejas. Indagando de esta manera en dichas técnicas como mecanismo de valor operativo para el análisis y el ordenamiento del territorio, que permitan a la disciplina predecir y medir las consecuencias de las acciones que se planifican en él, logrando de ésta manera un manejo más eficiente del mismo. Se buscará poner a prueba la capacidad de estas nuevas técnicas para producir prefiguraciones territoriales en entornos concretos, y en base al proceso realizado reflexionar sobre la viabilidad y el alcance de las técnicas de modelización a la hora de servir como apoyo a procesos de planificación territorial, sistematizando acerca de del propio proceso de modelización.

Objetivos.

Obj. General:

Experimentar con técnicas de modelización y su capacidad para representar y prefigurar realidades complejas, indagando de esta manera en dichas técnicas como mecanismo de valor operativo para el análisis y el ordenamiento del territorio.

Obj. Específicos:

1. Experimentar con metodologías de modelización como dispositivo capaz de dar cuenta de sistemas y procesos complejos, que habiliten a sistematizar acerca de éstos mismos sistemas y del propio proceso de modelización.
2. Poner a prueba la capacidad de estas nuevas técnicas para producir prefiguraciones territoriales en entornos concretos.
3. Reflexionar sobre la viabilidad y el alcance de las técnicas de modelización a la hora de servir como apoyo a procesos de planificación territorial.



PIX>PIX

Experimentación con técnicas de modelación aplicadas a la simulación de entornos territoriales.

Plan de trabajo.



1. Relevamiento de técnicas y programas de modelación, selección de la caja de herramientas que se usará en el proceso de la investigación.

2. Definición del Entorno: Se definirán 4 entornos de estudio. Cada uno de estos entornos corresponde a distintos períodos históricos con configuraciones físicas, entidades territoriales y realidades específicas para cada uno. Dichos entornos se relacionan con las etapas de desarrollo territorial más importantes y características del territorio uruguayo; período indígena, período colonial, modernidad, contemporaneidad. Estos entornos permitirán poner a punto la técnica de modelización. La definición de cada uno de ellos tomará en cuenta los siguientes puntos:

Entidades territoriales: Para cada escenario se distinguirán las principales entidades generadoras y transformadoras del territorio, con sus características y modelo de comportamiento principales.

Selección de Variables: Se seleccionará el conjunto de variables que se consideren relevantes en los desarrollos territoriales de cada entorno.

Delimitación del área de estudio: En base a las características particulares de cada escenario se definirán las porciones territoriales que serán foco del estudio para cada escenario.

3. Modelo de relacionamiento: Una vez elegidas y definidas las principales entidades y variables componentes de cada uno de los entornos se definirán las redes de relaciones que vinculan unos con otros. Es esta red la que hará que cada uno de las entidades componentes del modelo esté en una relación dinámica con el resto, generando así un sistema complejo capaz de auto-organizarse. Para esto será necesario definir un conjunto de parámetros para vincular cada una de las especies de entidades territoriales antes definidas.



4. Generación de prefiguraciones: Definidos los entornos, las entidades y los parámetros que relacionan las mismas se procederá a definir conjuntos de



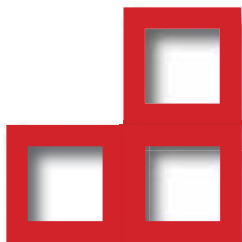
variables para exigir a los modelos bajo distintas circunstancias. Se procederá así a generar distintas prefiguraciones territoriales para cada escenario obteniendo un espectro de posibles desarrollos territoriales. Un conjunto de cartografías posibles de cada uno de los entornos.

5. Análisis y conclusiones parciales: Se compararan las prefiguraciones obtenidas con cartografía histórica tratando de analizar la capacidad de los distintos modelos para encarnar realidades complejas. Se analizarán las diferencias más relevantes, identificando los márgenes de error y la viabilidad y el alcance de estas nuevas técnicas de representación como apoyo a procesos de planificación territorial.

6. Catálogo de prefiguraciones prospectivas: En base al trabajo realizado se elaborará un catálogo prospectivo de prefiguraciones que permitan dar cuenta de los posibles desarrollos del territorio contemporáneo bajo distintas configuraciones del modelo elaborado.

7. Análisis y conclusiones finales.





3.0 Soportes Teóricos >



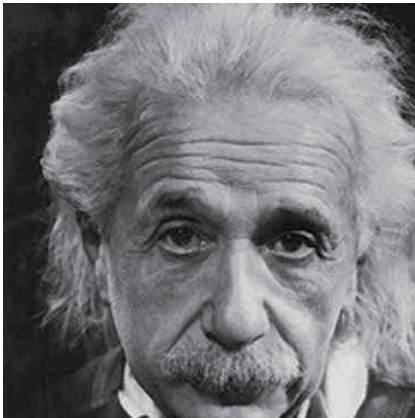
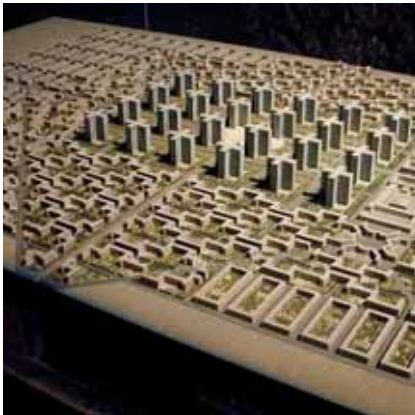
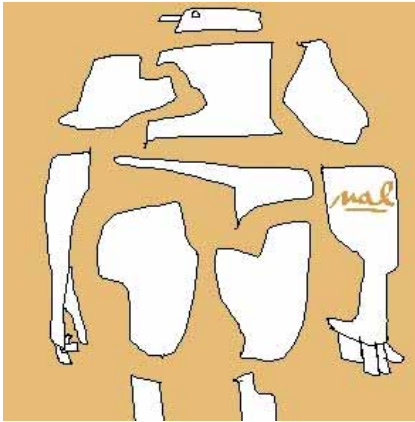
3.1-El nuevo soporte científico/filosófico.

Teoría general de sistemas.

Sistemas complejos.

3.2-La interpretación del territorio desde los nuevos soportes científico/filosóficos.





PIX>PIX

Experimentación con técnicas de modelación aplicadas a la simulación de entornos territoriales.

2.1 Los nuevos soportes Científico/ Filosófico.

Un cambio de paradigma.

Hemos estado asistiendo a un cambio de paradigma en el que la idea de un mundo de fenómenos lineales y determinados está dejando lugar a la concepción de una realidad que está compuesta por fenómenos y sistemas complejos. Poco a poco se ha empezado a dejar atrás el reduccionismo, en el que lograr mayor simplificación posible era el mejor método para comprender y controlar la realidad. Esta fue la actitud central de la ciencia para aproximarse a los fenómenos que estudiaba desde la época de Descartes. Éste en su Discurso del Método planteaba textualmente:

“...[se debe] dividir cada una de las dificultades que se examinan en tantas partes como sea posible, a fin de resolverlas mejor. Conducir ordenadamente el pensamiento, empezando siempre por los objetos más simples y fáciles de conocer, para ascender luego, paso a paso, gradualmente, hasta el conocimiento de los objetos compuestos. Hacer siempre recuentos tan completos y revisiones tan generales que se llegue a estar seguro de que nada se ha omitido...”

-R.Descartes.-

En lo que se refiere a las síntesis a posteriori, a la posibilidad de recomponer lo previamente de-construido, de re-crear el mundo una vez que se ha entendido, surgía un problema y es que muy pocas cosas podían ser verdaderamente reconstruidas, ni siquiera a nivel cognitivo, después de haberlas desintegrado. Este contexto teórico/filosófico permitió sustentar un modo de acercamiento a los fenómenos urbano-territoriales que adoptaba este mismo proceso de división sistemática de la realidad. Se dividió la ciudad en “funciones” y se utilizó la zonificación como herramienta de ordenamiento, suponiendo que la ciudad y el territorio era la suma lineal de cada una de las funciones que se reconocían en ellos. La superposición de las distintas funciones era el producto de un desarrollo desordenado que había que remediar.

Ya en la primera mitad del Siglo XX empieza a dibujarse una nueva concepción de la realidad que daría paso al nuevo paradigma científico filosófico que nos interesa. Albert Einstein con la formulación de la Teoría General de la

Relatividad abre las puertas a una física nueva que se alejaba radicalmente de la física clásica que había dominado hasta entonces. La física cuántica y la teoría del caos son dos ejemplos claros de los nuevos caminos que estaba tomando la ciencia. La característica más importante (al menos en lo que a nosotros respecta) es la incorporación de la probabilidad en la ciencia. Según estas nuevas posturas ya no era posible predecir con total certeza el comportamiento de cualquier sistema, aún teniendo todos los datos necesarios.

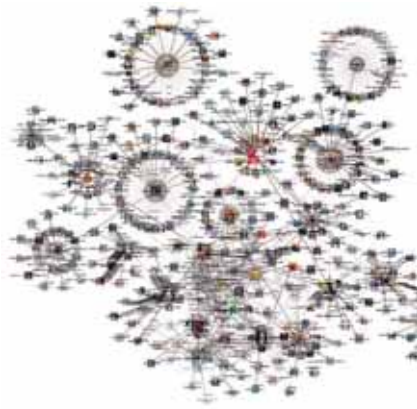
También en lo que se refiere a la interpretación de los procesos urbano territoriales empezaban a aparecer en la primera mitad del Siglo XX nuevas posturas. Como contrapunto a las plantas “limpias” y “ordenadas” del movimiento moderno grupos nuevos de jóvenes arquitectos empezaban a dibujar ciudades que nos mostraban una imagen distinta. El grupo Archigram nos mostraba ciudades que se movían de un punto a otro consumiendo recursos, grandes edificios que eran producto del agrupamiento espontáneo de cápsulas individuales que eran a la vez un lugar de trabajo, un hábitat y un medio de transporte para sus habitantes (las funciones de la ciudad moderna se condensan en cada una de estas cápsulas). New Babilonia es otro ejemplo de la nueva visión que estaban tratando de introducir estos grupos, en ella Constant nos habla de una red global compuesta por núcleos más densos entre los que viajan las personas de manera casi aleatoria.

Una perspectiva holística y sistémica del Territorio.

Teoría General de sistemas.

Esta nueva forma de abordar el territorio implica en primer lugar entenderlo como un sistema. La Teoría General de Sistemas (TGS) fue concebida por Bertalanfy en la década de 1940, con el fin de constituir un modelo práctico para conceptualizar los fenómenos que la reducción mecanicista de la ciencia clásica no podía explicar. En particular, la teoría general de sistemas parece proporcionar un marco teórico unificador tanto para las ciencias naturales como para las sociales, que necesitaban emplear conceptos tales como “organización”, “totalidad”, “globalidad” e “interacción dinámica” donde lo lineal es sustituido por lo circular, ninguno de los cuales era fácilmente estudiable por los métodos analíticos de las ciencias puras.





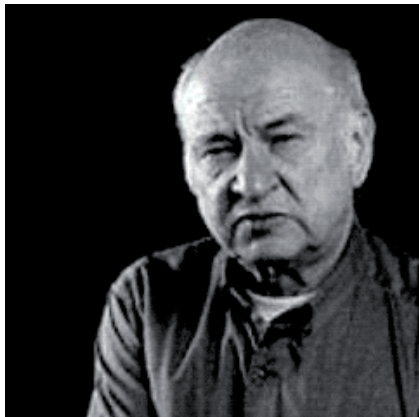
El primer punto a tener en cuenta en esta nueva perspectiva del territorio es el carácter holístico de esta aproximación. Ya no es posible un acercamiento parcial al mismo.

“Holismo: También denominado sinergia. Sostiene que una colección de entidades u objetos puede generar una realidad más amplia, no analizable en término de componentes en sí mismos; que la realidad de cualquier fenómeno es por lo general más grande que la suma de sus partes” (Berman, 1987).

No es una novedad que en el territorio es posible distinguir un grupo de componentes que lo estructuran, sin embargo no se debe entender este grupo como un agregado sino como un sistema con una estructura relacional. Hay que distinguir “sistema” de “agregado”. Ambos son conjuntos, es decir, entidades que se constituyen por la concurrencia de más de un elemento, la diferencia entre ambos consiste en que el sistema muestra una organización de la que carecen los agregados. Así pues, un sistema es un conjunto de partes interrelacionadas. Entender el territorio en éstos términos es verlo como un universo organizado en subsistemas interrelacionados unos con otros.



“Sistema: conjunto de objetos, junto con las relaciones entre los objetos y entre sus propiedades. Las partes componentes del sistema son los objetos, cuyas interrelaciones lo cohesionan.” (Hall, Fagen).



El territorio como construcción humana es entendido entonces como un sistema abierto, es decir que mantiene una relación permanente con su medio ambiente. Intercambia energía, materia e información.

Los sistemas abiertos tienden hacia una evolución constante y un orden estructural, en contraposición a los cerrados en los que se da una tendencia a la indiferenciación de sus elementos y al desorden, hasta alcanzar una distribución uniforme de la energía.

PIX>PIX

Experimentación con técnicas de modelación aplicadas a la simulación de entornos territoriales.

El territorio como una estructura emergente.

Sistemas complejos.

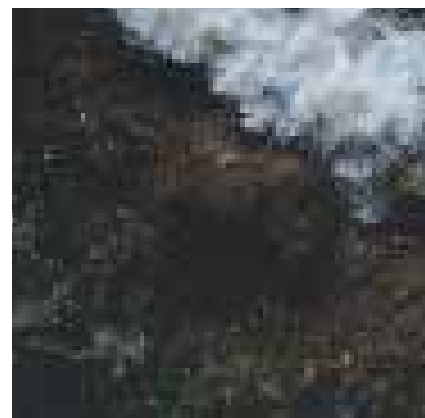
Sin embargo el territorio muestra patrones y estructuras de funcionamiento que exceden por mucho la red de relaciones de sus componentes individuales. Esta “emergencia” de estructuras y comportamientos no son posibles de explicar aludiendo solamente a la Teoría General de sistemas. En este punto tomaremos como referencia principal el trabajo del filósofo y sociólogo francés Edgar Morin, para él la complejidad no es sólo la forma anidada en que se estructura el mundo, forma que la concepción sistémica percibía ya con claridad. La Realidad Compleja, que se identifica con la realidad toda, cuenta además con otros rasgos característicos. Entre ellos los siguientes:

1. Toda entidad real (y, por eso mismo, compleja) es abierta, en el sentido de estar relacional y energéticamente integrada en un medio constituido por una intrincada red de otras entidades de su mismo nivel y de otros niveles, con el que establece un intercambio energético-entrópico e informacional permanente.

2. Al mismo tiempo, toda entidad es también cerrada, en el sentido de contar con una frontera o límite que define su campo espacial de existencia. No obstante, ningún límite es absoluto ni definitivo, aunque sí puede ser estable durante largo tiempo.

3. No es la linealidad sino la circularidad (o mejor, la recursividad) lo que suministra la clave de la Naturaleza. Con gran frecuencia las dinámicas circulares no son “viciosas” (vuelven estérilmente al punto de partida) sino que son “virtuosas”, creativas.

4. Toda entidad real y por tanto compleja despliega, en alguna medida, “apariencia de finalidad”, al menos en lo que a su auto-mantenimiento se refiere. La teleonomía no es exclusiva de la vida orgánica, aunque sí se despliega en ella con expresividad máxima. La auto-organización, basada





principalmente en dinámicas recursivas, en feedbacks, es un fenómeno universal.

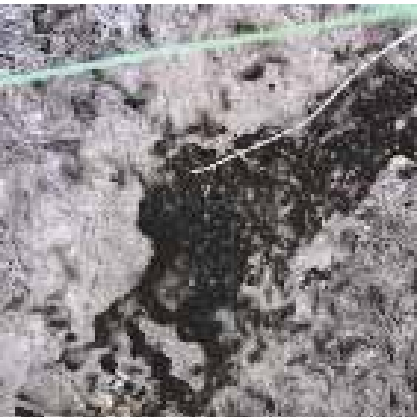
5.

Algo parecido a una “auto-identidad” rudimentaria parece vislumbrarse en las entidades naturales, a causa de su auto-organización.

Aunque parezca un tanto excesivo hablar de conciencia tratándose de entidades no vivas, lo cierto es que un modelo basado en el cierre auto-organizativo más la apertura informacional proporciona una base para que la misma pueda teóricamente esbozarse a un nivel muy elemental, incluso muy atrás (o muy abajo) en la “Gran Cadena de la Realidad Compleja”, inextricablemente solidaria, por otra parte, en tanto que red con nudos entitativos múltiples.

6.

Las propiedades emergentes de las entidades que surgen en los niveles de integración superiores, que postula la teoría de sistemas, son admitidas también por el enfoque de la complejidad, pero se tiene en cuenta que el “yo” también forma parte de la Red de la Realidad compleja, y que en las propiedades y cualidades de todo también él se encuentra, de algún modo, implicado. Un mundo sensible e inteligible sólo nace de la interacción entre dicha realidad y el sujeto, sólo nace en la interfase de ambos, por lo que todo descubrimiento (por ejemplo, de propiedades emergentes) tiene algo de creación, y viceversa.



7.

La naturaleza intrínsecamente compleja de la Realidad no desemboca “hacia abajo” en un nivel básico simple. La complejidad existe en y desde la misma base, afirma con rotundidad Edgar Morin. Pero desde el momento en que la complejidad se define como “la imposibilidad de descomponer algo en partes absolutamente simples aplicando un algoritmo, aunque sea ilimitadamente largo”, cabe concluir que no existe, según Morin, ningún zócalo físico verdaderamente elemental al que todo puede ser reducido. La Naturaleza se da en niveles múltiples, todos de la misma categoría ontológica, que son revelados por la conciencia (la cual es, a su vez, producto de esa misma Naturaleza que ella contribuye a dar forma).

PIX>PIX

Experimentación con técnicas de modelación aplicadas a la simulación de entornos territoriales.

Resumiendo podemos decir que la realidad no es una colección de elementos aislados y separados, sino una multidimensional, indivisible y compleja red de interconexiones. Lo que se denomina un “objeto” o un “suceso” es

simplemente un determinado patrón dentro de una red inseparable de relaciones ilimitadas.

2.2 La interpretación del territorio desde los nuevos soportes teóricos.



¿Qué tienen de común nuestras ciudades y los hormigueros?

En 1968, Evelyn Fox Keller, Doctorada en física por Harvard con una tesis sobre Biología Molecular se une a Lee Segel, proveniente de la matemática aplicada para estudiar el comportamiento del Moho de Fango. A partir de sus estudios se descubrió que dicho Moho es en realidad el producto de la agregación espontánea de miles de organismos unicelulares. Dichos organismos viven de forma aislada la mayoría de su vida, pero cuando las condiciones del ambiente se vuelven propicias se dispara un proceso que los congrega para formar una estructura mayor. Durante años se creyó que existía lo que se denominó “marcapasos” que no eran más que algunos de dichos organismos que se encargaban de disparar el proceso mediante la liberación de una sustancia llamada Acrasina. Sin embargo los estudios de Keller y Segel demostraron que tales marcadores no existían y que el proceso se realizaba de forma espontánea sin que hubiera nadie que lo liderada o dirigiera.

Esto puso por primera vez sobre la mesa el tema de los sistemas auto-organizativos, concepto que aún hoy es difícil de aceptar por los científicos y público general. Sin embargo este es un fenómeno que se repite una y otra vez en la naturaleza, ello parece muy evidente en los insectos sociales como las abejas o las hormigas donde la interacción de individuos en base a reglas muy simples producen colectivos de alta complejidad sin necesidad de categorías jerárquicas ni una cadena de mando. Estos grupos son capaces de triunfar en su entorno y responder a las amenazas del mismo, evolucionar y adaptarse sin un liderazgo, de manera espontánea. A pesar de que, por ejemplo, las hormigas como individuos no tienen la capacidad para lograr una comprensión o una visión de conjunto de su comunidad, de alguna manera se las arreglan para mantener un porcentaje constante de la cantidad de hormigas dedicadas a cada tarea (recolección, construcción, alimento de larvas, etc.).

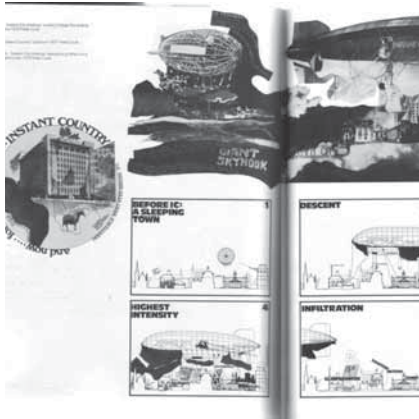
Durante toda la historia de la humanidad nos hemos acostumbrados a que los grupos se organizan de forma descendente. Los sistemas de mando, las





jerarquías y el liderazgo en sus variadas formas parecía ser la única manera de organización grupal. Sin embargo la observación de las hormigas y otras comunidades de insectos colectivos abrió la perspectiva a otros tipos de organización. Este nuevo tipo de organización surge desde la base y se funda en una red de relaciones de individuos construida en torno a un conjunto de reglas muy simples. Es un tipo de organización ascendente.

Sin embargo el tema no termina ahí. Estos sistemas auto-organizativos presentan una característica aún más notable, la Emergencia. Se puede decir que estos sistemas “aprenden” y tienden a reproducir los patrones de comportamiento que resultan exitosos. Volviendo a las hormigas se puede apreciar que hormigueros “jóvenes” tienen comportamientos más inestables que hormigueros más “maduros”, estos hormigueros jóvenes tomarán comportamientos distintos frente a problemas similares como pudo comprobar Deborah Gordon en su estudio de las hormigas granívoras, mientras que hormigueros maduros habrán “aprendido” a repetir un tipo de conducta que ha resultado beneficioso anteriormente.



Lo más notable de esto es que las hormigas individualmente no son conscientes de este comportamiento, mientras el período de vida de un hormiguero es de 15 años aproximadamente, el de una hormiga es de 1 año tan sólo, y por supuesto no hay una transferencia ni una documentación que permita a los individuos saber los comportamientos que han sido beneficiosos en el pasado, sin embargo el conjunto tiende a repetir los patrones de comportamiento exitosos. Esto está muy lejos del concepto de inteligencia y aprendizaje que tenemos, y que implica conciencia de uno mismo, voluntad e intencionalidad.

En las comunidades de hormigas granívoras es el sistema mismo el que evoluciona y “aprende” a reiterar comportamientos. Esto se realiza a una escala diferente y ajena a la de los individuos que componen el sistema.

“¿Qué características comparten estos sistemas? En términos sencillos resuelven problemas recurriendo a masas de elementos relativamente no inteligentes en lugar de hacerlo recurriendo a un solo “brazo ejecutor” inteligente. Son sistemas ascendentes no descendentes. Extraen su inteligencia de la base. En un lenguaje más técnico, son sistemas complejos de adaptación que despliegan comportamientos emergentes. En estos sistemas, los agentes que residen en una escala comienzan a producir comporta-

PIX>PIX

Experimentación con técnicas de modelación aplicadas a la simulación de entornos territoriales.

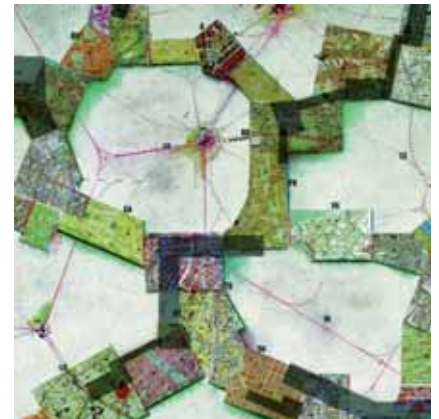
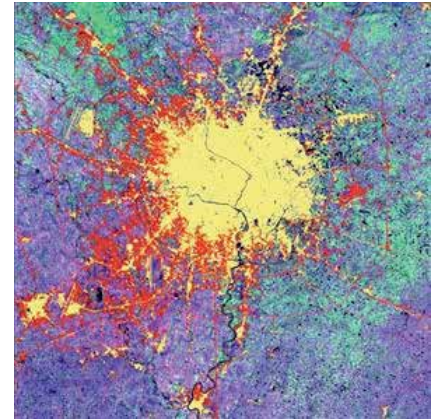
mientos que yacen en una escala superior a la suya; las hormigas crean colonias, los habitantes de una ciudad crean barrios. La evolución de reglas simples a complejas es lo que llamamos; Emergencia.” – Ilya Prigogine y G. Nicolis-

Esta naturaleza auto-organizativa parece fácil de aceptar a la hora de observar comunidades de seres simples como las hormigas, sin embargo a la hora de explicar el comportamiento de individuos más complejos parecen aparecer dudas, y pensar en entender los comportamientos y las producciones colectivas de los seres humanos en base a esta perspectiva genera por lo menos resistencia.

Sin embargo, ¿por qué dudamos en explicar los productos de los colectivos humanos en base a esta nueva perspectiva? ¿Qué argumentos tenemos para defender esa singularidad si se comprueba cómo éstos patrones de funcionamiento y organización se reiteran una y otra vez a través de distintas especies, a todas las escalas? ¿Por qué nos obstinamos en pensar que nuestra especie escapa a las estructuras de funcionamiento que ha encontrado la naturaleza a lo largo de miles de años de evolución? Tal vez valga la pena abandonar esa posición y al menos preguntarse si realmente nuestras ciudades difieren tanto de los hormigueros.

En un territorio que es entendido como un sistema complejo, las variables no se relacionan de forma lineal. El comportamiento de los elementos responde al de un sistema, donde la alteración de una de las variables, genera comportamientos que influyen en el resto del sistema. El sistema, que es un resultado de las variables analizadas y sus interrelaciones, pre-existe entonces al hecho territorial y es en la confrontación con las circunstancias específicas de cada entorno concreto, donde alcanza su configuración definitiva.

Como en la mayoría de sistemas complejos, la complejidad se alcanza a partir de las relaciones de elementos muy simples, que se agrupan para generar entidades con un grado mayor de complejidad (bottom-up). En el caso del territorio estas entidades son básicamente las mismas que han tratado el urbanismo y la planificación territorial tradicionalmente, vías circulatorias, centralidades, etc., etc. La diferencia radica en que no se entiende a cada entidad como una capa aislada de la realidad sino como una entidad en el sentido que define E. Morin, y que por lo tanto tiene todas las características de dependencias e influencias dinámicas sobre el sistema y sobre otras entidades que menciona.



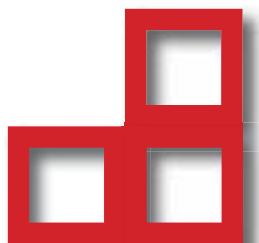
Esto implica entender que el motor de desarrollo del territorio está oculto y reside en esas redes de relaciones dinámicas. El territorio tangible es solamente el resultado del devenir constante de ese sistema que opera en un segundo plano, y que se modifica y evoluciona constantemente. Es entonces que nos planteamos las siguientes interrogantes; ¿cómo lograr representar ese nuevo nivel de realidad?, ¿cómo entender y predecir el comportamiento de un sistema dinámico?, ¿cómo es posible relacionar este nuevo nivel de realidad con los cambios y procesos que se producen en el entorno físico y tangible?

Contestar estas preguntas, lograr representar este nuevo nivel de realidad es clave para lograr intervenir eficientemente en los procesos de desarrollo territorial.



PIX>PIX

*Experimentación con técnicas de modelación
aplicadas a la simulación de entornos
territoriales.*



4.0 Soportes Tecnológicos >



4.1-Los nuevos soportes tecnológicos.

Autómatas Celulares.

Fractales.

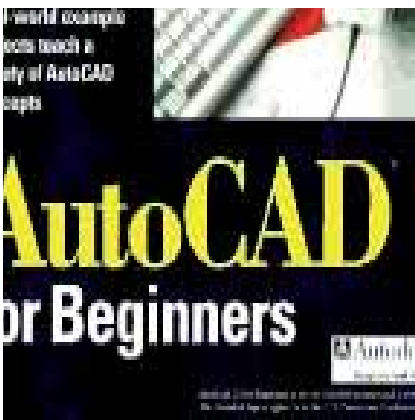
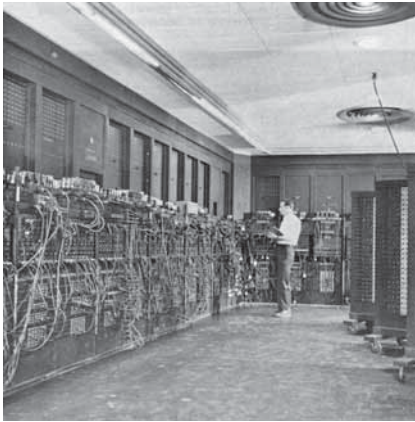
L-Systems.

Agentes.

4.2-La representación del territorio desde los nuevos soportes tecnológicos.



4.1 Los nuevos soportes Tecnológicos.



PIX>PIX

Experimentación con técnicas de modelación aplicadas a la simulación de entornos territoriales.

El comienzo del camino, incorporación de las nuevas herramientas. El siglo XX vio nacer la primera ésta ocupaba una habitación entera, sólo podía ser manejada por expertos y realizaba las mismas funciones que hoy una calculadora de mano. El desarrollo de la informática desde este momento fundacional hasta hoy ha sido exponencial. Hoy por hoy la potencia de los computadores personales y la relativa accesibilidad a éstos por parte del grueso de la población sumado al desarrollo de paquetes de software dirigidos a todas las áreas imaginables y la preocupación por el diseño de interfases intuitivas y fáciles de apropiar por parte de los usuarios han puesto al alcance de todos herramientas de una potencialidad asombrosa.

La irrupción de estas nuevas herramientas ha tenido dos momentos distinguibles. En una primera etapa la inclusión de éstas como una más dentro de la caja de útiles de artistas y dibujantes no produjo cambios sustantivos en el carácter de los productos, solamente se había incorporado un nuevo medio sin explorar las posibilidades y características únicas que éste proporcionaba.

En una primera etapa aparecen los primeros programas de dibujo digital, los primeros videojuegos y las primeras animaciones y simulaciones de la realidad.

Sin embargo al ver estas primeras incursiones en el mundo de la virtualidad es evidente como la utilización de estas nuevas herramientas no escapa a los parámetros y mecanismos de representación utilizados tradicionalmente. La computadora era sencillamente un “lápiz” digital y los productos gráficos que se obtenían no diferían sustancialmente de los dibujos a mano que se producían en ese momento.

Esta etapa permitió sin embargo introducir estas nuevas herramientas y adoptarlas como parte del repertorio instrumental del que disponían diseñadores, dibujantes y arquitectos.

En este momento estamos asistiendo a una segunda etapa en la que la aparición de una nueva raza de artistas y diseñadores que se han apropiado de estas nuevas herramientas están explorando y profundizando en las posibilidades únicas que éstas presentan.

El advenimiento de estas nuevas herramientas en los campos del arte y la representación ha sido particularmente fértil y aun hoy no hemos alcanzado a evaluar su impacto. El arte digital que toma como plataforma para su realización estas nuevas herramientas está todavía en un período de desarrollo y parece encontrar permanentemente nuevas líneas de experimentación. La animación por computadora que ha revolucionado la industria del cine, ha generado una categoría propia y ha avanzado desde aquellos primeros productos toscos y artificiales hasta producciones de un realismo impensado pocos años atrás. Finalmente la aplicación de estas herramientas a la representación, producción y planificación de objetos y espacios a toda escala, desde utensilios de cocina a ciudades ha tenido un impacto no menor. Hoy por hoy ya son naturales para nosotros los dibujos técnicos en programas CAD, y un poco más cercano en el tiempo la representación virtual de edificios, espacios y territorios.

La manera en que esta nueva generación de artistas y diseñadores nombran su actividad nos da una primera idea de un cambio de posición respecto a la obra, Arte Generativo, Diseño Emergente... También los nombres de las páginas web que se dedican a agrupar, difundir y conectar a los miembros de esta nueva comunidad, CodeForm, Generatiff, Generative components... Esta nueva aproximación al arte y a la representación de la realidad se caracteriza por el abandono del control directo del producto final. Esta nueva tendencia de artistas y diseñadores parecería estar más cerca de la comunidad de programadores e ingenieros de sistemas que de los artistas de las vanguardias europeas del S.XX. La obra radica en la creación de patrones y modelos definidos en entornos digitales que generan productos que surgen de la interacción de los elementos que ha pre-definido el artista/diseñador/programador.

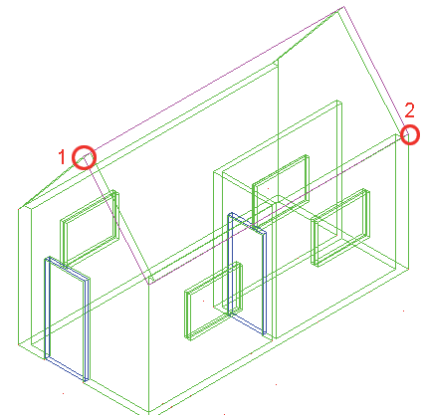
Relevamiento de técnicas de representación.

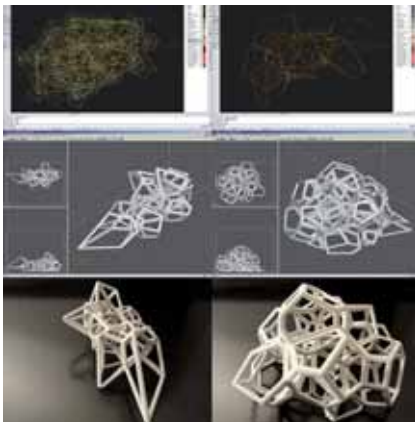
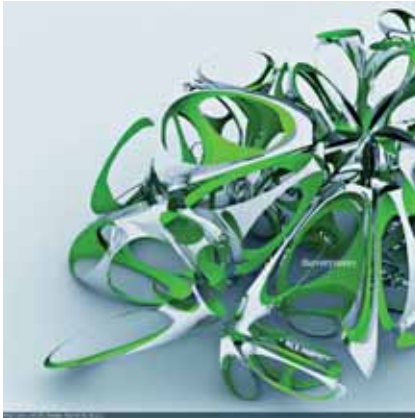
Modelación y Simulación.

“Modelo: Un objeto X es un modelo del objeto Y para el observador Z, si Z puede emplear X para responder cuestiones que le interesan acerca de Y”
-Minsky-

“Simulación: Simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con él, con la finalidad de aprender el comportamiento del sistema o de evaluar diversas estrategias para el funcionamiento del sistema” -Shannon-

Desde la aparición de la primera versión del AutoCad como una novedad hace





PIX>PIX

Experimentación con técnicas de modelación aplicadas a la simulación de entornos territoriales.

no mucho mas de 10 años y la producción de los primeros planos digitales hasta hoy, el perfeccionamiento y diversificación de las herramientas dirigidas al dibujo y modelado digital ha sido sorprendente.

En lo que refiere a la simulación y el modelado urbano-territorial también se ha avanzado en el desarrollo de herramientas de uso específico. Un área de importante desarrollo ha sido la de los sistemas de información geográfica (G.I.S.) que se han constituido en una potente herramienta de análisis territorial con aplicaciones en una imponente variedad de áreas. Por otro lado se han surgido una serie de técnicas de simulación con el objetivo de simular procesos naturales que van desde el comportamiento del clima, hasta el crecimiento vegetal. En todas ellas se reitera la preocupación por desarrollar técnicas que permitan la recreación de fenómenos no-lineales, dinámicos y con características auto-organizativas.

Estos desarrollos llevan ya varias décadas en muchos casos y han producido ciertas categorías. Entre ellas citamos algunas que nos servirán como referencia a la hora de iniciar nuestra propia experiencia:

Autómatas celulares.

Los autómatas celulares son modelos basados en un conjunto de entidades (células) distribuídas uniformemente en un espacio virtual. Este espacio evoluciona pasando de un “estado” al siguiente en base a la definición de dependencias entre el estado de cada célula y sus “vecinas”. El sistema entonces evoluciona en base a una serie de reglas locales no-centralizadas que generan en muchos casos órdenes y estructuras globales.

De cierta manera el modelo genera a través de éstas relaciones locales una red dependencias e influencias que engloba el modelo entero.

En general los modelos basados en autómatas celulares generan cuatro tipos de comportamientos hacia los que converge la estructura global: Homogéneo. Después de una primera etapa el modelo converge hacia estructuras estables que no varían.

Periódico. La estructura global adquiere un comportamiento cíclico que alterna entre momentos de aparente caos y el surgimiento de estructuras estables que se reiteran a lo largo de un número determinado de ciclos.

A-periódico. No existe un comportamiento cíclico del modelo. sin embargo se revelan estructuras repetitivas que actúan como una suerte de atractores y que parecen aparecer sin un criterio regular.

Localizado. El modelo muestra la aparición de estructuras de fuerte

remanencia que perduran durante varios ciclos antes de “morir” y dar paso a otras nuevas, sin dejar ver patrones que permitan explicar el paso de una estructura a otra.

El momento de modelar comportamientos territoriales basados en autómatas celulares le principal restricción es las relaciones estrictamente locales que tienen las entidades, que definen su comportamiento en base al estado de sus vecinos inmediatos solamente. Un modelo basado en esta técnica debería lograr incluir de alguna forma las influencias de áreas más grandes en el comportamiento de cada célula.

Fractales.

Un fractal es un objeto semi geométrico cuya estructura básica, fragmentada o irregular, se repite a diferentes escalas. El término fue propuesto por el matemático Benoît Mandelbrot en 1975 y deriva del Latín fractus, que significa quebrado o fracturado. Muchas estructuras naturales son de tipo fractal. A un objeto geométrico fractal se le atribuyen las siguientes características;

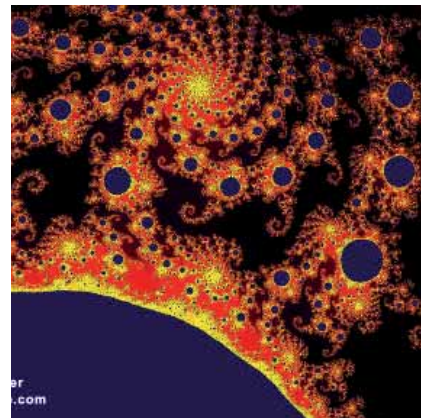
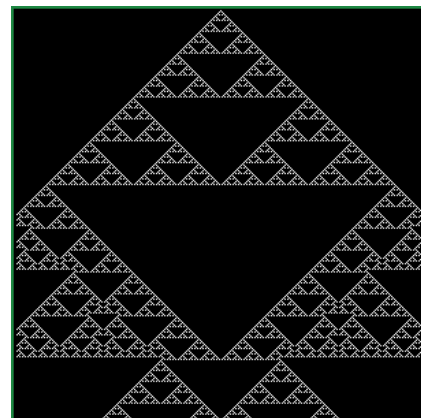
- Es demasiado irregular para ser descrito en términos geométricos tradicionales.
- Posee detalle a cualquier escala de observación.
- Es autosimilar (exacta, aproximada o estadística).
- Se define mediante un simple algoritmo recursivo.

Las nubes, las montañas, el sistema circulatorio, las líneas costeras o los copos de nieve son fractales naturales. Esta representación es aproximada, pues las propiedades atribuidas a los objetos fractales ideales, como el detalle infinito, tienen límites en el mundo natural.

L-Systems.

El concepto de Sistema de Lindenmayer (L-system) fue concebido en 1968 por Aristid Lindenmayer, biólogo que trabajó con levadura y hongos filamentosos, como un modelo matemático de crecimiento biológico.

Los L-systems se basan en la reescritura de un código que genera una estructura sencilla, sustituyendo una parte de la misma por otra más compleja elaborada a partir de unas determinadas reglas, de tal manera que a cada paso (iteración), la estructura aumenta su complejidad. Las reglas de producción de las nuevas partes pueden ser las mismas que se usaron para crear las partes anteriores, y de esta forma se pueden crear formas en las cuales cada parte de





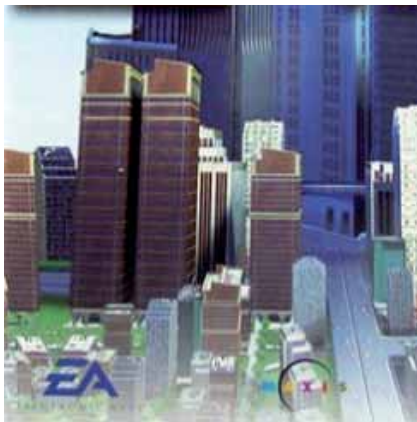
la misma se parece al total, lo que se conoce como “autosimilaridad” Para la generación de los elementos geométricos de una estructura se pueden usar diferentes códigos o lenguajes de programación que incluyan funciones de creación de geometría (cilindros, conos...). Por otra parte es ineludible el uso de bucles para la reescritura de las partes del mismo que tengan que ser modificadas en cada iteración, y la complejidad asociada a la implementación de estos bucles puede acabar siendo bastante alta según el lenguaje de programación que se use.

Agentes.

Estos modelos estan basados en la interacción de entidades móviles que se desplazan dentro de un entorno definido. Se establecen criterios de comportamiento de dichos agentes móviles en relación con su entorno y con otros agentes de su mismo tipo u otro. De esta manera los patrones globales que emergen responden a las estructuras de comportamiento basadas en interacciones locales de los agentes.

Este tipo de técnica es ampliamente utilizada para las simulación de flujos peatonales y vehiculares. El modelado y diseño de rutas de escape de edificios, simulación de incendios, etc.

El principal inconveniente de esta técnica es la relativa “inmovilidad” del entorno en el que se mueven los agentes. Un modelo territorial basado en agentes debe lograr incluir las dinámicas de suelo, definiendo un entorno capaz de evolucionar en base a determinados criterios.



PIX>PIX

Experimentación con técnicas de modelación aplicadas a la simulación de entornos territoriales.

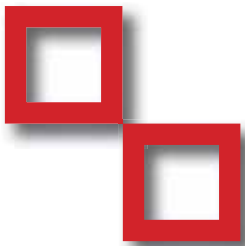
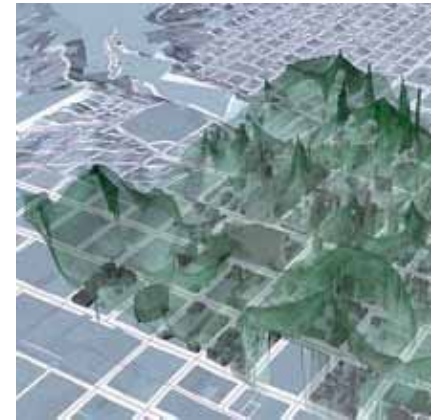
4.2 La representación del territorio desde las nuevas tecnologías.

La unión de éstas técnicas de simulación con el desarrollo de software de la más amplia variedad ha producido una variedad importante de estrategias para la representación de la realidad y más concretamente del territorio. Este universo es de una diversidad enorme y en él podemos encontrar desde videojuegos como el popular SimCity, pasando por modelos de tráfico y circulaciones peatonales hasta paquetes de software orientados al diseño urbano con una base en conceptos que incluyen los fractales u otras de las técnicas antes mencionadas.

Es importante no despreciar ninguno de éstos ejemplos porque todos, más

allá de la profundidad del sustento científico/teórico que lo precede, tienen el valor de abordar y entender la realidad desde la nueva perspectiva que nos estamos planteando en esta investigación. Aún videojuegos bastante simples y de desarrollo lineal como SimCity tienen parten del entendimiento de la realidad como este sistema de elementos relacionados dinámicamente, en el que cada una de las partes afecta al todo y viceversa.

Es impresionante ver cómo una vez aceptada esta nueva perspectiva de la realidad aún los modelos más sencillos elaborados en base a ésta logran representar de manera bastante precisa el desarrollo de las ciudades y territorios contemporáneos. Existen varias investigaciones y estudios sobre distintos escenarios y en general los resultados de la modelación logran imágenes que se asemejan de manera bastante precisa al desarrollo de sus objetos de estudio respectivos. Esto no es solamente un hecho anecdótico ya que ha sido bastante difícil predecir los desarrollos urbano-territoriales contemporáneos y el desarrollo de éstas nuevas técnicas parecen tener el potencial necesario para lograr convertirse en herramientas muy útiles para asistir al trabajo de las especialidades relacionadas con el planeamiento territorial.



5.0 Requerimientos de la Herramienta >



5.1-Requerimientos de la herramienta.

5.2- Elección de herramientas.

-Autómatas Celulares.

-Los Autómatas Celulares y la realidad.

-Sistemas de información geográfica.

-Integración de Autómatas celulares y SIG.

- PIX>PIX



5.1 Requerimientos de la herramienta.



Definido los objetivos y los soportes a partir de los cuales intentaremos llevar a cabo este trabajo es hora de proceder a precisar los métodos y técnicas con los que buscaremos lograr representar el territorio entendido desde ésta nueva perspectiva de funcionamiento.



Teniendo en cuenta entonces las características fundamentales que se buscan representar es que aparecen una serie de requerimientos mínimos a los que la herramienta debe ser capaz de dar respuesta y los cuales detallamos a continuación:

Comportamientos Bottom-up.

Entender el territorio desde la perspectiva que nos brinda la complejidad implica asumir en primera instancia que el mismo se configura a partir de procesos auto-organizativos con una estructura Bottom-Up. El territorio se organiza desde la base y es la estructura de relaciones de sus componentes más básicos la que genera procesos y estructuras emergentes de mayor complejidad

Sistema de relaciones paramétricas.

El territorio entendido como un sistema es una suma de elementos interrelacionados de manera dinámica. Sin embargo estas relaciones no son fijas ni lineales si no que cambian y evolucionan con el sistema mismo.

La herramienta debe ser capaz de reproducir este conjunto de relaciones mediante relaciones paramétricas que vinculen las diferentes variables del modelo.



Retroalimentación-Recursividad (Feed-Back).

Los sistemas complejos se desarrollan y evolucionan a partir de procesos iterativos. Para que un modelo del territorio sea realmente capaz de representarlo debe ser capaz de retroalimentarse constantemente, el modelo debe lograr convertir los resultados de salida en datos de entrada de una nueva iteración en un proceso recursivo mediante el cual el modelo se complejiza y genera esas estructuras emergentes características de los sistemas complejos.

4ª Dimensión.

Sistemas de representación 4D (x, y, z, t).

Ya ha sido señalado que es imposible entender un sistema complejo sin tener en cuenta el desarrollo en el tiempo del mismo, es dentro de esta 4ª dimensión que se hace posible la secuencia de fenómenos que distinguen a los sistemas complejos. El feed-back, la auto-organización, la recursividad, son todos fenómenos imposibles de entender sin incorporar dicha dimensión. Es entonces que cualquier herramienta de representación del territorio dentro de esta nueva perspectiva deberá ser capaz de incluir las 3 dimensiones físicas (x, y, z) y la cuarta dimensión (t).



5.2 Elección de técnicas y herramientas.

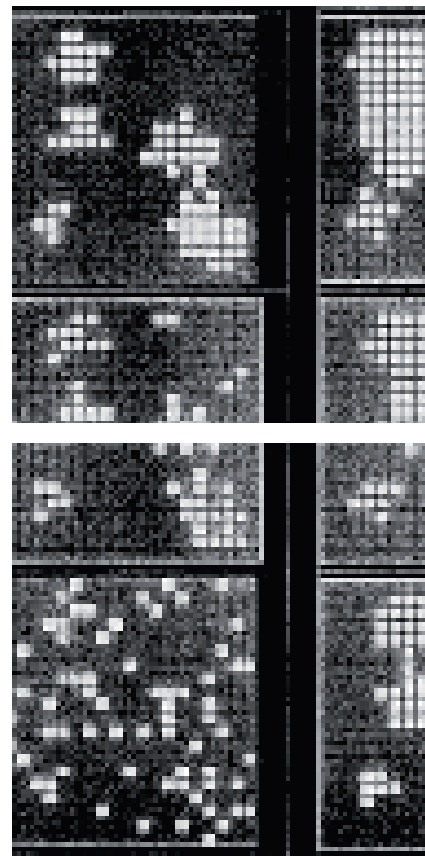
Los Autómatas Celulares como metodología de modelación y simulación.

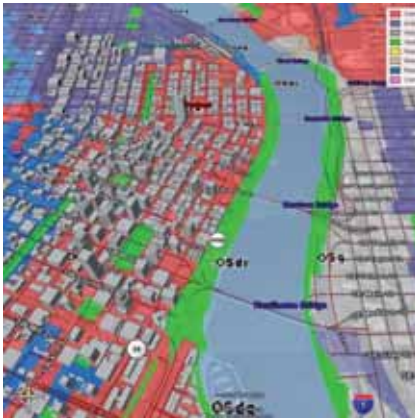
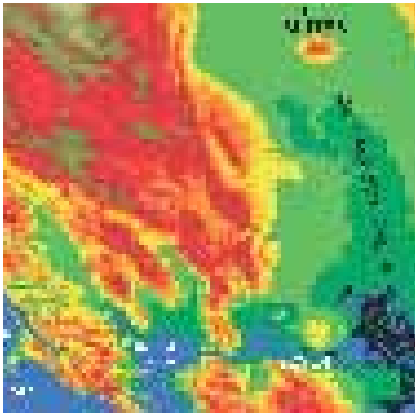
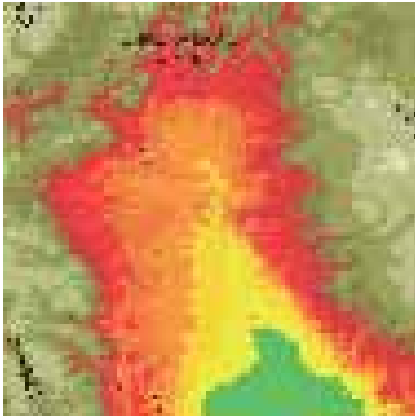
Los Autómatas celulares (AC) fueron esquematizados por primera vez por John von Neumann en 1940 como herramienta para representar sistemas auto-reproductivos. Han sido aplicados para simular una enorme cantidad de fenómenos y en particular hay numerosos ejemplos de la aplicación de esta técnica de modelado orientada a la representación de crecimiento urbano. Un AC es un sistema consistente en un espacio regular de celdas o “células” que pueden presentar un número finito de estados posibles, estos estados varían en función de la sucesión de distintas instancias del modelo. El pasaje de una instancia a otra implica la definición del estado de cada célula del sistema en base a una serie de reglas que relacionan la célula con sus vecinas.

Los AC son usados para el estudio de sistemas con dinámicas temporales. Las variables espaciales en un AC son actualizadas en base a un proceso recursivo, es decir que no es un sistema determinístico si no que es posible asociarlo a las características de comportamiento de los sistemas complejos. Durante el proceso de simulación de los AC se pueden apreciar la aparición de estructuras emergentes formación de nuevos centros, patrones de comportamiento y propiedades fractales.

Los Autómatas Celulares y el mundo real.

Ya se mencionó que un AC consiste en un espacio regular de “celdas” que adquieren diferentes estados en base a un proceso recursivo que relaciona





PIX>PIX

Experimentación con técnicas de modelación aplicadas a la simulación de entornos territoriales.

cada celda con sus vecinas teniendo en cuenta un conjunto de reglas fijas. Una de las claves en la utilización de AC para la modelación territorial es definir ¿Qué significan cada uno de estos estados? lo cual ayudará a definir las reglas adecuadas de transición y los mecanismos de interpretación de los resultados.

La representación territorial no es ajena al uso de “celdas”. En este sentido la influencia de los medios digitales ha sido clave para esta aproximación. La idea de una representación pixelada de la realidad a través de una imagen u otro tipo de fuente es ya común para la mayoría de la gente. En estas representaciones el Pixel se convierte en la unidad mínima de representación. y adquiere un valor único que tiene una relación directa con alguna propiedad del mundo real. De esta manera el valor de ese Pixel se convierte en una representación de alguna característica como el uso del suelo, valor del mismo, densidades, etc.

Sistemas de información geográfica.

Los sistemas de información geográfica han irrumpido en los últimos años como potentes herramientas de representación territorial. Empezaron siendo plataformas para la integrar la representación gráfica del territorio con bancos de datos que permitían el manejo y visualización de grandes volúmenes de información. Sin embargo han evolucionado rápidamente sumando capacidad para el análisis y la proyección territorial.

Las plataformas SIG se pueden dividir en 2 tipos, por un lado las plataformas vectoriales que representan la realidad a través de objetos discretos como puntos, vectores o polígonos, en estos tipos de sistemas cada entidad gráfica tiene una relación directa con el objeto representado (padrón, calle, río, etc).

La segunda familia son los sistemas de información geográfica basados en rasters, éstos representan la realidad en base a objetos continuos y regulares (rasters).

La gran diferencia radica entre estos dos tipos de sistemas es que los sistemas vectoriales si bien son muy precisos a la hora de representar la realidad presentan limitaciones importantes a la hora de superponer información ya que esto es posible únicamente si la información está relacionada a la misma entidad gráfica de referencia. Los rasters como objetos continuos y regulares permiten el cruce de la información de varias capas ya que todas ellas comparten una base común.

Integración de Autómatas Celulares y Sistemas de Información Geográfica. Teniendo en cuenta entonces la capacidad de los Autómatas Celulares para simular las características esenciales de los sistemas complejos y la de los SIG para representar y analizar información geográfica es que se buscará experimentar con la unión de éstas dos herramientas para modelar los territorios en diversos entornos.

El punto de contacto entre estas dos herramientas es la capacidad de ambas para trabajar en base a información bajo un formato raster, por un lado los SIG como se ha dicho ya están familiarizados con el uso de éstos para representar información geográfica, por otro lado los rasters son equiparables al ambiente continuo y regular en el que se desarrollan los Autómatas Celulares.

A esto se suma la existencia de plataformas SIG que permiten desarrollar y definir modelos de procesamiento de información. En particular se trabajará sobre la suite de programas ArcGis 9.3, que suministra varias herramientas para el procesamiento de rasters, así como una aplicación (model builder) que se ha desarrollado para la automatización de procesos sobre esta plataforma. Esta herramienta es capaz de definir procesos iterativos donde la salida final se puede utilizar como datos de entrada de una nueva iteración.

La conjunción de todas estas herramientas debería permitir entonces el desarrollo de modelos que sean capaces de representar el territorio dentro de los marcos ya definidos.

PIX>PIX.

Esbozo de una estrategia de modelado.

Los experimentos se plantean entonces la integración de plataformas SIG como base para el modelado y autómatas celulares como técnica de referencia a la hora de simular sistemas autorganizativos. La integración se realizará como se ha dicho en base al trabajo con información en formato raster. Esto implica la transformación de información geográfica y o estadística a este formato lo que supone entender el territorio como un todo continuo en el que la “celda” o “pixel” indica la unidad mínima de representación, o dicho de otra forma el pixel se convierte en el nivel máximo de precisión en la representación de la realidad que se intenta modelar.

Como ya se ha dicho el territorio entendido desde las perspectivas antes expuestas es la suma de distintos componentes relacionados de manera dinámica. Las plataformas SIG están preparadas para trabajar con distintas



1	0	3	1
1	2	1	4
1	0	1	2
1	3	2	1

+

0	1	2	1
1	4	3	1
2	1	0	1
1	3	1	1

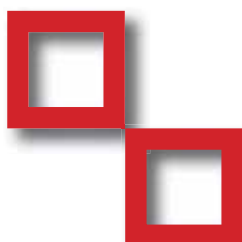
=

1	1	5	2
2	6	4	5
3	1	1	3
2	6	3	2

capas de información independientes que representan por separado un aspecto puntual de la realidad. El trabajo en formato raster permite que estas capas de información se presenten en un formato uniforme y compartido mediante el cual es posible cruzarla y sumarla, re-componiendo de esta manera la realidad que estábamos representando de manera segmentada. Este proceso se realiza celda a celda, pixel a pixel, $PIX > PIX$, y mediante él es posible re-construir una realidad que se estudia de manera fragmentada pero que sin embargo es un todo continuo. Es posible entonces re-construir esa realidad completa punto a punto sumando, pixel a pixel.

PIX > PIX

Experimentación con técnicas de modelación aplicadas a la simulación de entornos territoriales.



6.0 Experimentos >



E.1-Territorio Indígena-
E.2-Territorio Colonial-
E.3-Territorio Moderno-
E.4-Territorio Complejo-



E.1 Territorio Indígena >

E1.1-Definición del entorno

Entidades territoriales.

Variables.

Entorno físico.

E1.2-Eschema general del modelo

E1.3-Conclusiones parciales.

E01-Período Indígena.

El primer experimento busca una aproximación inicial al uso de las herramientas que se van a poner a prueba. Este entorno está marcado por la existencia de tribus seminómades y nómades que se convierten en el estructurador primario del territorio, provocando en él los cambios más reconocibles a través de su movimiento continuo y a-direccional.

E01.1 Definición del entorno.

Entidades.

La entidad estructuradora es entonces la tribu, tomada ésta como una unidad móvil que se desplaza por el territorio modificándolo e imprimiendo huellas en él.

Variables.

Estos movimientos no son aleatorios, por el contrario están pautados por una serie de variables de las que se han tomado unas pocas consideradas como de mayor relevancia. Éstas variantes se han agrupado en dos subsistemas uno que comprende las variables socio/culturales y un segundo que comprende las variables físicas.

Subsistema SocioCultural: Este subsistema engloba por un lado la existencia de puntos notables dentro del territorio que son producto de la actividad de las tribus. Los cementerios (cerritos) son ejemplos de estos puntos, sin embargo el devenir de éstos grupos humanos deja otras marcas como éstas en el territorio que integran la memoria colectiva del grupo y que influyen sus movimientos mediante el reconocimiento de lugares familiares o de un especial valor simbólico y/o religioso.

Subsistema físico: Éste comprende dos juegos de variables que se consideraron los más influyentes a la hora de modelar el movimiento de las tribus. Las dos tienen que ver con la existencia de recursos que permitan la subsistencia de las tribus. Un juego de variables lo representan los cursos de agua que son fuente principal del suministro de agua potable, el segundo, las fuentes primarias de alimentos, distribuidas a lo largo del territorio

Entorno físico

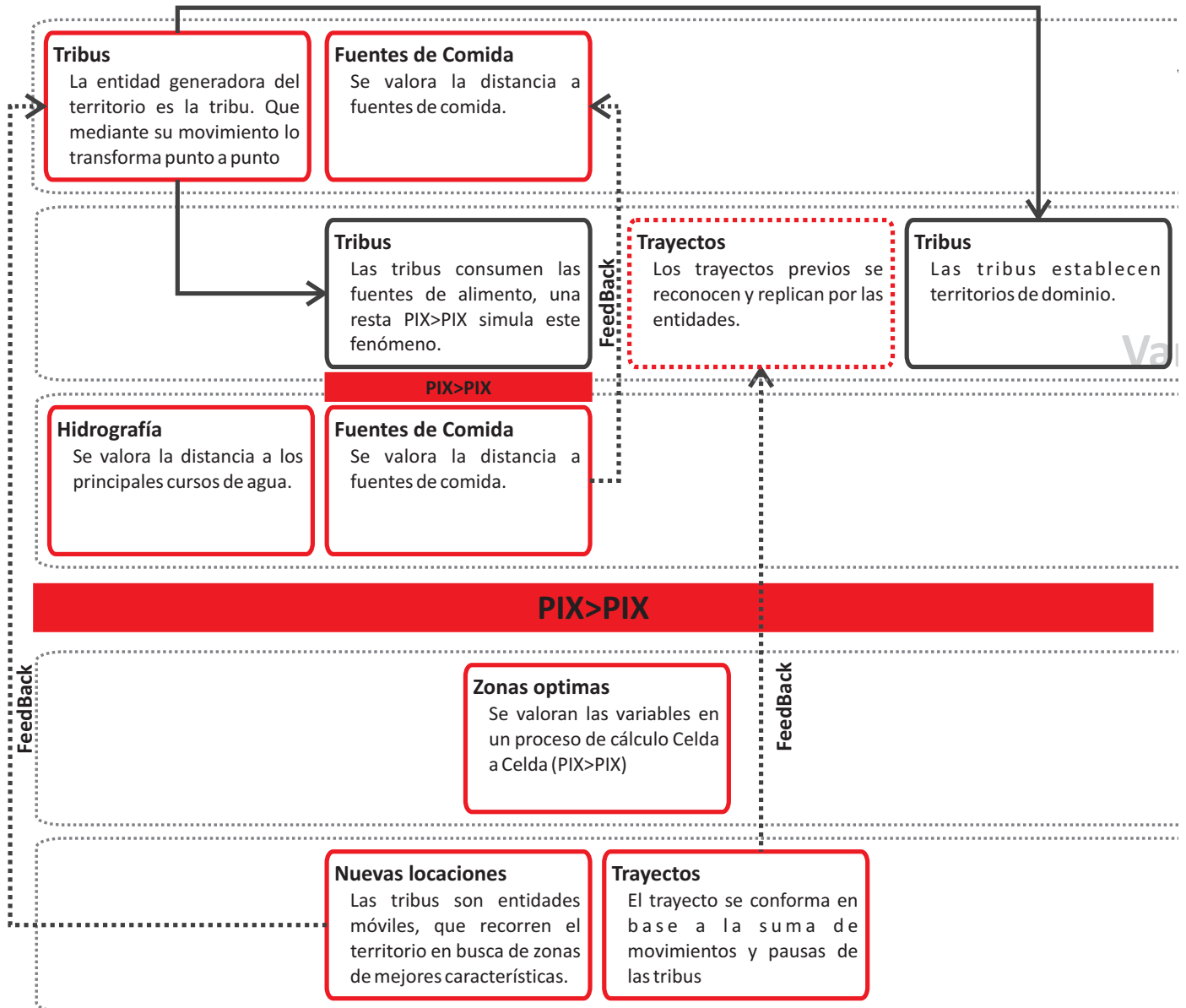
El área de trabajo elegida para este entorno es la banda sur del Uruguay, desde la desembocadura del río Uruguay hasta lo que hoy es la frontera con Brasil. La ubicación inicial de las tribus y fuentes de comida se realizó mediante un proceso aleatorio que generó un número determinado de puntos a lo largo del área de trabajo definida.

El proceso de pasaje de información a formato raster se realizó sobre la plataforma SIG y permitió uniformizar dicho material para ser utilizado por el modelo.

Este primer experimento incluye la prueba de dos procesos centrales dentro de la técnica que se busca desarrollar. El primero es la capacidad de retroalimentación de la herramienta, el segundo es una primer experiencia con el procesamiento de información raster mediante una valoración celda a celda (PIX>PIX) que permita el diálogo y la superposición de distintas capas de información.



Modelo, esquema general.



PIX>PIX

Experimentación con técnicas de modelación aplicadas a la simulación de entornos territoriales.

El territorio es ocupado por tribus nómades estacionales y semi-nómades, que son el elemento estructurador primario, con un alto grado de movilidad en comparación con los elementos estructuradores de otros periodos. Esta movilidad está pautada por su economía y fuentes de alimento.

El movimiento de las tribus está pautados en parte por la existencia de otras tribus con las que compiten en el dominio de un territorio y también por la existencia de “marcas” que dan cuenta de una historia, de lugares con un valor cultural capaz de influir en los movimientos de éstos grupos.

Las tribus se mueven buscando zonas que ofrezcan las mejores condiciones de subsistencia, éstas están dadas principalmente por la existencia de cursos de agua y fuentes de alimentos.

Variables Físicas.

La suma pixel a pixel permite mapear el territorio, identificando las zonas que conjugan cercanía tanto a cursos de agua como a fuentes de comida.

Proceso.

El territorio abierto, es un lugar nómada donde cada punto se encuentra subordinado a una trayectoria. Un espacio liso, sin centro y a-direccional, donde la distribución se opera según frecuencias y en el curso del movimiento.

Salida.

E01.3 Conclusiones Parciales.

Recursividad.

Este primer entorno ha permitido testear la capacidad de retroalimentación que presenta la extensión Model Builder del ArcGIS, esto permite la creación de modelos capaces de realizar procesos iterativos, indispensables a la hora de pensar en el desarrollo de modelos que simulen sistemas complejos, ya que la recursividad es el mecanismo mediante el cual estos sistemas alcanzan a desarrollarse y generan estructuras y patrones emergentes.

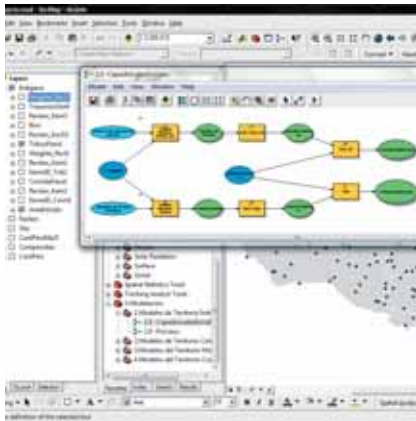
El modelo se comporto satisfactoriamente en este sentido. Se realizaron simulaciones con 50 iteraciones que fueron llevadas a término sin demasiadas dificultades. El model builder permitió también manejar distintos juegos de variables como la cantidad inicial de fuentes de comida o tribus logrando ver algunas diferencias en los resultados finales a partir de la variación solamente de éstos datos iniciales.

PIX>PIX.

El modelo incluye dos instancias en las que se pone a prueba el mecanismo PIX>PIX para la integración de variables, después de estas primeras pruebas quedó claro la necesidad de tener especial cuidado en los rangos de valores de los rasters que deben ser compatibles a la hora de ser sumados. Se realizaron sumas lineales en las que la suma o resta se realiza celda a celda utilizando el valor correspondiente. Sin embargo la valoración general se puede catalogar de buena y el proceso PIX>PIX demostró ser una forma muy útil de superponer información que en el resto del proceso debe ser trabajada de modo aislado.

Patrones.

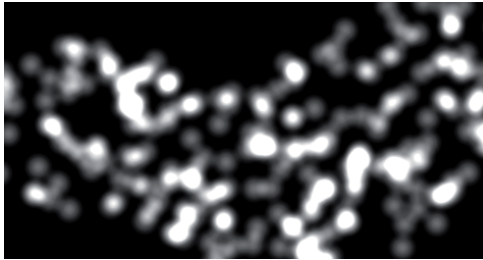
Si bien en este modelo no se implementó aún un autómata celular y su desarrollo es fruto tan solo de la suma y resta de variables los resultados de salida mostraban algunos patrones recurrentes. En todas las pruebas los “recorridos” de las tribus se mostraban como conjuntos de líneas relativamente paralelas a la costa. En general este patrón se reiteró en todas las pruebas independientemente de la cantidad de tribus y fuentes de comida iniciales, así como de su localización en la zona de estudio que fue aleatoria.



Model Builder, extensión del ArcGis 9.3 que brinda el soporte para la creación de modelos.

PIX>PIX

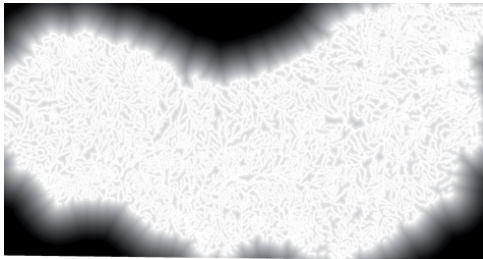
Experimentación con técnicas de modelación aplicadas a la simulación de entornos territoriales.



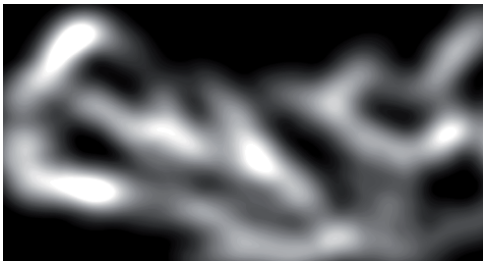
Áreas de influencia de las tribus existentes



Principales fuentes de alimentos

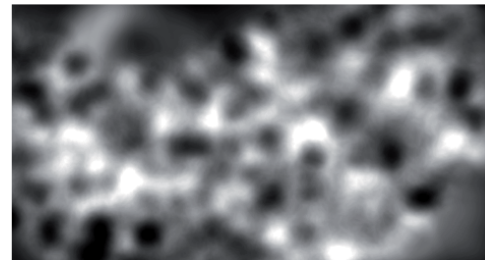


Cursos de agua



Trayectos - Rutas

PIX>PIX



Suma de variables.

E.2 Territorio

Colonial >

E2.1-Definición del entorno

Entidades territoriales.

Variables.

Entorno físico.

E2.2-Esquema general del modelo

E2.3-Conclusiones parciales.

“Con la llegada del colonizador llega un nuevo modo de apropiación del territorio, basado en el acto fundacional de ciudades que emergían de manera completa basadas en una serie de normas que las teorizaban y un acto fundacional que las estatúan. A diferencia del pueblo indígena que se solapaba con la naturaleza la ciudad colonial se erigía contrastante, dividía el paisaje entre un territorio “civilizado” y uno “salvaje”. Es así que el territorio se puebla de un collar de ciudades que se despliegan a lo largo de las rutas de colonización del territorio de la Banda Oriental.”

-Glinka Crisci-

E01-Período Colonial.

E01.1 Definición del entorno.

Entidades.

La entidad transformadora por excelencia de este período es la ciudad colonial. Ésta se conforma mediante un acto fundacional y se implanta como un objeto acabado, estableciendo un radio de influencia dentro del cual el territorio es transformado por nuevos usos.

Variables.

Subsistema SocioCultural: La suma progresiva de nodos urbanos trae como primera consecuencia el impacto individual de cada uno de éstos sobre el territorio. Cada nodo genera un área de influencia con fines económicos, defensivos y de subsistencia. Dentro de éste radio no es posible la implantación de nuevos nodos por lo que se genera una zona de rechazo a la aparición de nuevas ciudades. Por otro lado el conjunto de ciudades coloniales empieza a generar un subsistema de conexiones “camino” que permiten el intercambio de mercaderías, personas e información. Esta red de conexiones empieza a actuar como nuevo atractor debido a las ventajas que ofrece el fácil acceso a ésta para el desarrollo de nuevas urbes. Finalmente el territorio es un territorio en disputa entre las fuerzas colonizadoras, por esta razón las zonas fronterizas que aún no tienen una definición clara funcionan como zonas atractoras para nuevas colonizaciones, ya que éstas facilitan las tareas de defensa y consolidación de un borde.

Subsistema físico: Por un lado los ríos siguen jugando un papel fundamental. La cercanía de un curso de agua asegura la provisión de agua potable imprescindible para la supervivencia de cualquier ciudad especialmente en este período histórico. Por otro lado la costa sur actúa como otro fuerte atractor a la hora de definir nuevas implantaciones ya que ésta posibilita la posible aparición de puertos y al menos la posibilidad de comunicación con las rutas comerciales marítimas, flujo principal de intercambio de personas y mercaderías.

PIX>PIX

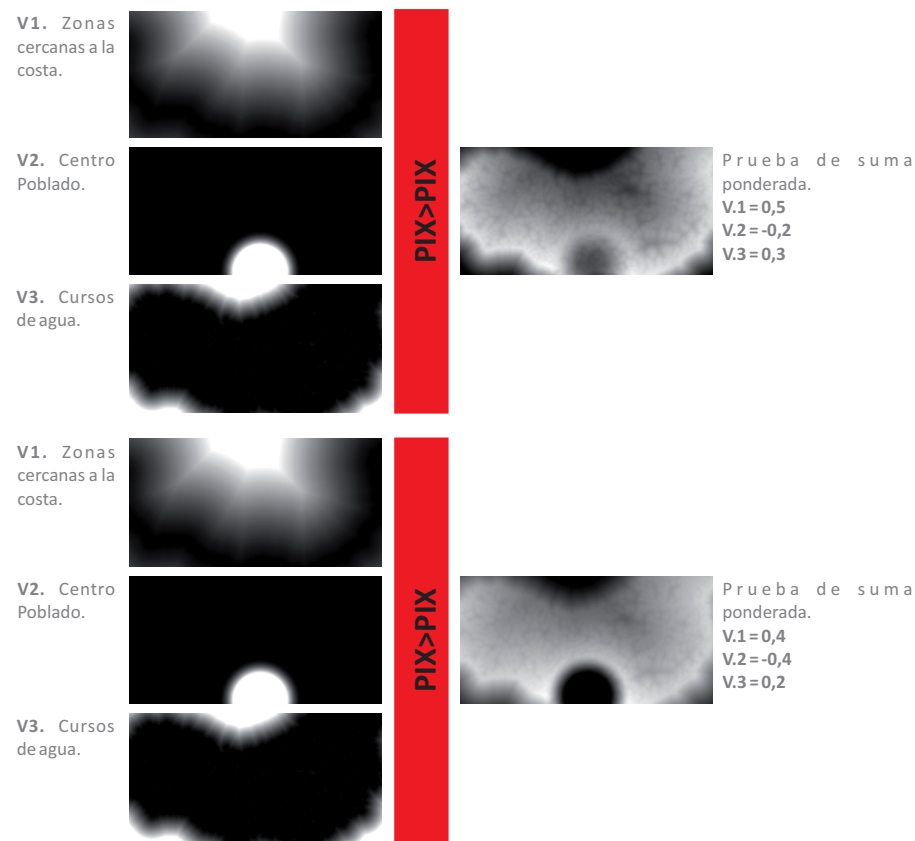
Experimentación con técnicas de modelación aplicadas a la simulación de entornos territoriales.

Entorno físico

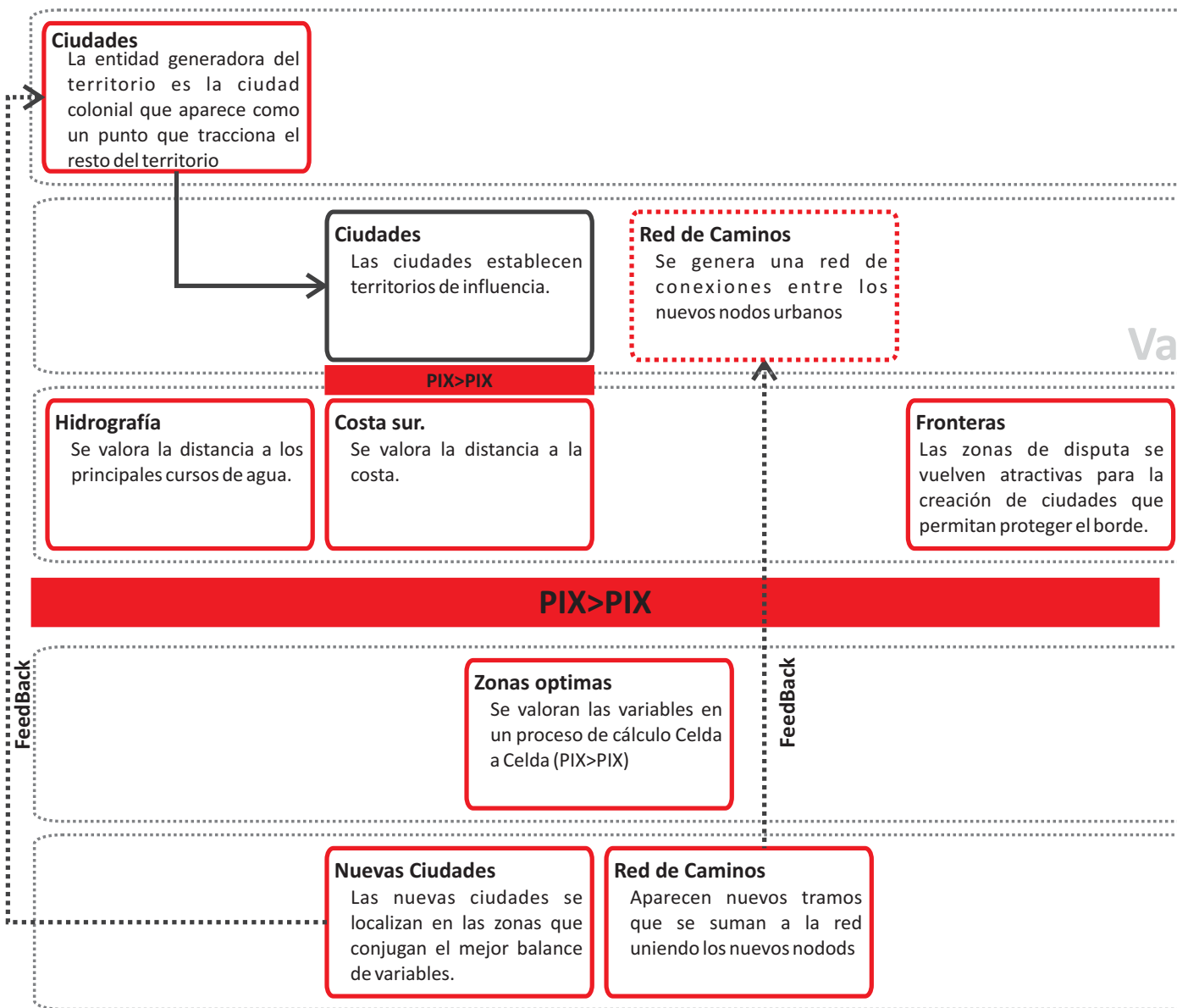
El área de trabajo elegida para este entorno es la banda sur del Uruguay, esta zona fue receptora de la mayor cantidad de las fundaciones coloniales y según

las variables elegidas es la zona más rica para los procesos que llevará adelante el modelo. Las capas de información fueron convertidas igual que en ejemplo anterior a formato raster como base para los cruces de información.

La suma de variables pixel a pixel en este caso incorpora una nueva potencialidad, posibilitando una suma ponderada, lo que permite calibrar el peso de cada variable a la hora de integrarlas en una suma celda a celda. Esta capacidad será de suma importancia a la hora de modelar entornos de mayor complejidad y nos permitirá definir un modelo modificar el peso de cada variable logrando de esta manera simulaciones que nos den prefiguraciones territoriales que respondan a distintas situaciones. Es decir lograr prefiguraciones que se correspondan con distintos desarrollos potenciales del territorio.



Modelo, esquema general.



PIX>PIX

Experimentación con técnicas de modelación aplicadas a la simulación de entornos territoriales.

El territorio colonial es ocupado y transformado por la aparición de ciudades coloniales que surgen como un objeto acabado y definido de fuerte contraste con la base “natural” y “salvaje” en la que se posa.

Entidades Generadoras.

Se establece una red que se superpone a ese territorio salvaje, esta red está compuesta por nodos (ciudades) y conexiones (camino) que la vuelven un sistema que potencia a su vez la aparición de nuevas ciudades

Variables Socio/Culturales.

Las principales variables físicas están dadas por la necesidad de fuentes de agua potable en el entorno de los nuevos nodos, la costa Sur como principal zona de tránsito y transporte marítimo y las fronteras como zonas de disputa constante.

Variables Físicas.

La suma pixel a pixel permite mapear el territorio, identificando las zonas que se vuelven más atractivas para el surgimiento de nuevas ciudades coloniales.

Proceso.

El proceso genera una nueva ciudad y la conecta a esa red, el proceso se repite generando una simulación del avance colonizador de este periodo.

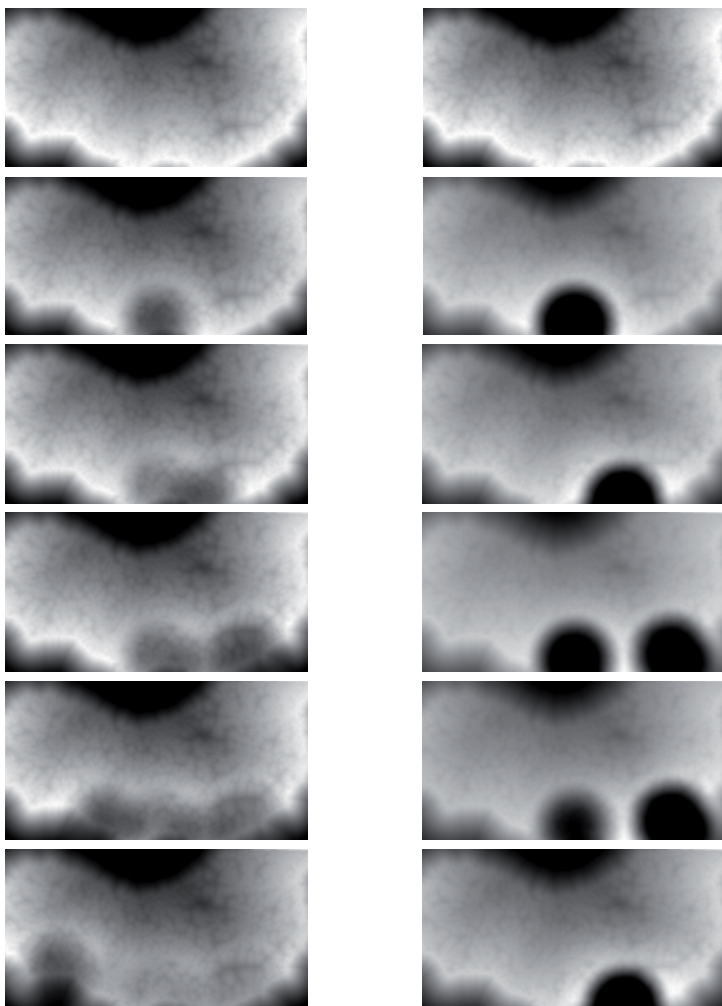
E01.3 Conclusiones Parciales.

PIX>PIX- Suma ponderada.

La capacidad de integrar las variables en una composición pixel a pixel ya probada en el entorno anterior ahora se potencia mediante la incorporación de una nueva capacidad que permite una suma ponderada mediante la cual es posible definir el peso de cada variable con respecto a las demás a la hora de realizar la composición de las mismas. Se realizaron 2 pruebas del modelo variando la incidencia de las zonas de influencia de las ciudades ya fundadas mostrando comportamientos distintos y coherentes en relación a la variable modificada.

Patrones.

La posibilidad de probar distintas ponderaciones para la suma de las variables permite apreciar de manera más clara la generación de ciertos patrones, en este caso es evidente la aparición de una faja de ciudades que va de Este a Oeste de forma paralela a la costa. Una vez más es resaltable la aparición de estos patrones sin incorporar un autómata celular al modelo que es la principal herramienta para simular procesos autorganizativos que se usará en estas experiencias.



Sucesivas Iteraciones del modelo en dos variantes de la suma ponderada que se probó en esta etapa. En ellas se aprecia claramente cómo los centros urbanos que genera el modelo tienen una influencia distinta a la hora de sumar las variables, produciendo mapeos bastante distintos en cada caso.

E.3 Territorio Moderno >

E3.1-Definición del entorno

Entidades territoriales.

Variables.

Entorno físico.

E3.2-Esquema general del modelo

E3.3-Conclusiones parciales.

“La segunda mitad del Siglo XIX nos muestra un país dando sus primeros pasos como estado independiente. Un país monoprodutor y dependiente económicamente de sus exportaciones de materia prima a Europa, así como de sus importaciones de productos manufacturados ingleses. En este contexto es el puerto y Montevideo junto a las líneas de penetración (vías de ferrocarril) que se internan en el territorio los elementos estructurantes. Es un territorio radial rígido y macrocéfalo.”

-Glinka Crisci-

E01-Período Moderno.

E01.1 Definición del entorno.

Entidades.

En este período la entidad estructurante son las líneas de penetración materializadas en la realidad en las vías férreas. Dichas líneas surgen de un punto ya constituido que representa la entrada/salida al territorio (el puerto de Montevideo) y se sumergen en ese territorio en busca de zonas de producción de materias primas.

Variables.

Subsistema SocioCultural: En este período se considerarán dos atractores fundamentales, uno es la existencia de nodos urbanos ya establecidos que se convierten en traccionadores a la hora del trazado de las nuevas líneas de penetración, dichos nodos son fuente de provisiones, y aglomeradores de las materias primas en un determinado radio de influencia, materias primas a las que éstas líneas de penetración dan salida. El otro estructurador considerado son zonas de producción de materias primas. Estas zonas también traccionan el desarrollo de las nuevas líneas ya que la cercanía a las fuentes productivas redundará en ahorros de transporte.

Subsistema físico: Las variables físicas que se consideran relevantes a la hora de modelar este entorno territorial tienen estrecha relación con el instrumento de penetración (la locomotora) y sus requerimientos de funcionamiento. Por esta razón el trazado de las nuevas líneas busca zonas de baja pendiente y trata de evitar en lo posible el cruce sobre cursos de agua.

Entorno.

En este caso se ha optado por utilizar todo el territorio uruguayo como área de estudio. La construcción de las vías férreas en el Uruguay surgió desde Montevideo y se internaron a lo largo y ancho de todo el territorio uruguayo por lo que a la hora de valorar los patrones que resulten de la simulación será más sencillo si se toma como base el área mencionada.

PIX>PIX

Experimentación con técnicas de modelación aplicadas a la simulación de entornos territoriales.

En este entorno se pondrá a prueba una última técnica antes de implementar el autómatas celular. Cuando nos referimos a los autómatas celulares al definir los soportes tecnológicos en los que se sustentaría la investigación y precisar

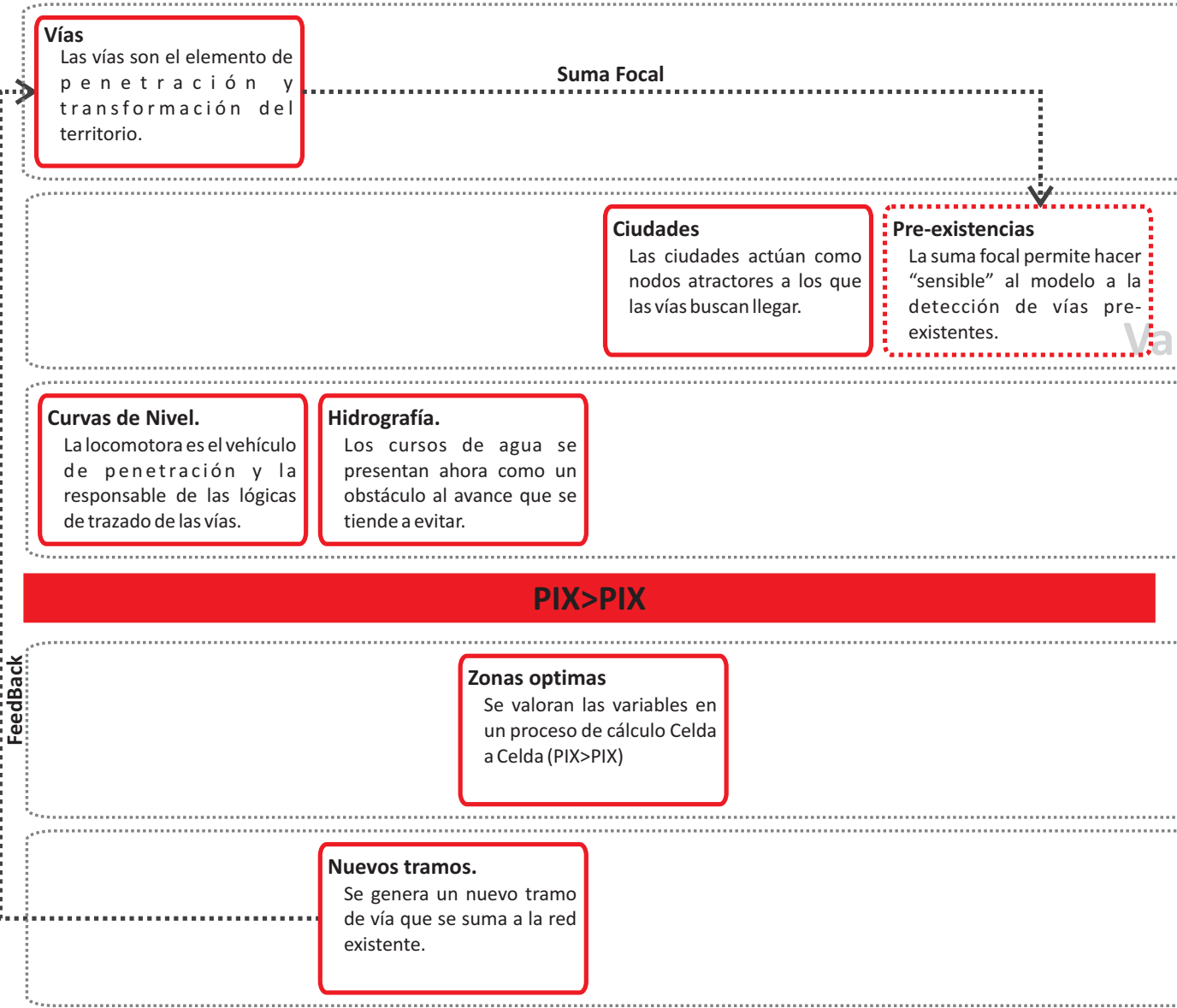
las características de los mismos hablamos de que la transición de un estado a otro del autómata se realizaba a partir de unas reglas fijas que relacionaban cada celda particular con sus vecinas. Es entonces imprescindible encontrar una manera de definir un “vecindario” y de analizarlo en un entrono raster.

Utilizando la extensión Spatial Analyst de ArcGis es posible realizar “estadísticas focales”, esto es la creación de un nuevo raster a partir de uno inicial en el que el valor de cada celda es fruto de operaciones realizadas en las celdas vecinas. Esta herramienta permite la definición de “vecindarios” muy variados en lo que tiene que ver tanto con su extensión como su geometría. Los primeros autómatas celulares se basaron en dos tipos clásicos de vecindarios (Moore y von Neumann), mediante estas herramientas no sólo es posible definir estos mismos vecindarios sino casi cualquier otro que podamos imaginar.

Por otro lado los autómatas celulares clásicos se limitaban a definir la cantidad de células “vivas” o “muertas” en el vecindario, sin embargo la extensión del ArcGis que utilizaremos no sólo permite hacer ese conteo, además se pueden realizar operaciones de mayor complejidad como calcular valores medios, desviaciones estadísticas, sumas, y varias otras.

En lo que respecta al modelo del entrono en cuestión se realizará una suma focal celda a celda (PIX>PIX) que tomará como raster de partida el mapeo de las líneas de penetración ya generadas. De esta manera se genera un nuevo raster que identificará las zonas con ausencia de dichas líneas de penetración y en la suma de variables general se incluirá dichas zonas como atractoras para la generación de líneas nuevas.

Modelo, esquema general.



PIX>PIX

Experimentación con técnicas de modelación aplicadas a la simulación de entornos territoriales.

Las vías son el elemento estructurador primario de este periodo, definiendo una nueva estructura de funcionamiento del mismo en base a líneas radiales de penetración que parten del puerto de Montevideo.

Entidades Generadoras.

Esta nueva estructura tiene como antecedente una red de ciudades y polos de producción de materias primas a las que las nuevas vías buscan acceder y que actúan como traccionadores de las mismas. Así mismo las vías generadas se suman como preexistencia al comienzo de cada iteración del modelo.

La locomotora es la que establece las lógicas de los nuevos trazados en base a sus exigencias de funcionamiento. En este sentido las grandes pendientes así como los cursos de agua se vuelven escollos importantes que se buscan evitar.

Variables Físicas.

La suma pixel a pixel permite mapear el territorio, identificando las zonas óptimas para el trazado de nuevos tramos.

Proceso.

Salida.

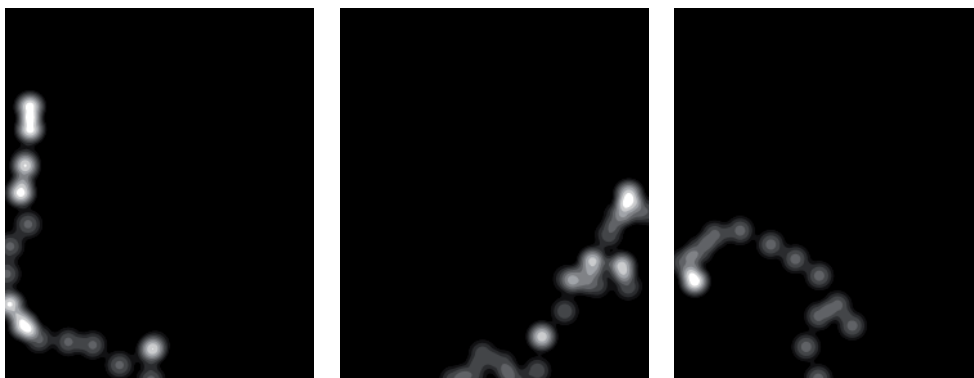
E01.3 Conclusiones Parciales.

PIX>PIX- Suma Focal.

Se puso a prueba la capacidad de la plataforma SIG para realizar valoraciones focales teniendo en cuenta un “vecindario” definido previamente para cada celda. Esto es un requerimiento esencial para la implementación de un autómata celular. La experiencia dio resultados aceptables. Al llevar adelante las simulaciones del entorno pudo verse como la generación de nuevas vías era “sensible” a la existencia de vías previas, se vio cómo estas nuevas vías buscaban desarrollarse en zonas del área de estudio vacías, o mejor dicho en las zonas del área de estudio donde la suma focal de cada celda era promedialmente más bajo.

Patrones.

El trazado de las vías por parte del modelo mostró ciertas inconsistencias en sus resultados. Si bien al analizar los rasters generados por la suma focal éstos eran coherentes con la existencia de trazas anteriores, la integración de éstos a través de la suma ponderada con el resto de las variables presentó ciertos problemas. Esto hace evidente la necesidad de uniformizar los rangos de valores de todos los raster para de esta manera lograr un mayor control a la hora de ponderar la suma de variables. Es claro que a medida que la suma de variables incluye un mayor número de rasters es necesario un período de calibración del modelo que se realiza en base a la prueba sucesiva del modelo mediante un proceso de prueba y error.



El modelo tiene una sola variante importante entre iteración e iteración, ésta surge de la suma focal que se realiza para “percibir” las zonas donde existe un trazado vial anterior y permite al modelo evitar la superposición de trazados nuevos.

El hecho de que esa sea la única variación entre iteraciones nos permite valorar mejor la incidencia de la suma focal en el desempeño general. En las figuras se muestran 3 iteraciones sucesivas, en ellas es evidente como cada trazado busca evitar las zonas utilizadas por trazados anteriores ocupando las zonas vacías de la zona estudiada.

E.4 Territorio

Complejo >

E4.1-Definición del entorno

Entidades territoriales.

Variables.

Entorno físico.

E4.2-Esquema general del modelo

E4.3-Conclusiones parciales.

“El territorio actual es el resultado de las transformaciones producidas desde fines del Siglo XIX hasta hoy y a la inserción de dinámicas globales. Estos cambios nos permiten admitir más que una evolución, una mutación o un nuevo estrato. Surgen, tres centros estructurados principales; Área Metropolitana, Colonia del Sacramento y Punta del Este. Estos centros presentan inserción regional y se proyectan como polos atractores.

Se perfila un territorio dual: por un lado la campaña, vacía, con pueblos empobrecidos y ciudades en retroceso y una franja costera urbanizada y dinámica con proyección regional. En este territorio dual las ciudades interiores mantienen aún homogeneidades sociales y espaciales; en tanto las tres centrales presentan sectores polarizados social y territorialmente.”

-Glinka Crisci-

E04-Período Contemporáneo.

E01.1 Definición del entorno.

Entidades.

En este período el territorio se caracteriza por la combinación de dos factores primordiales, por un lado una estructura más o menos estable que se ha conformado a partir del desarrollo y la superposición de infraestructuras y marcas en el territorio, fruto de las actividades humanas desde fines del Siglo XIX hasta la actualidad. Ésta brinda un marco más o menos fijo en relación a otros componentes de mayor dinamismo.

Por otro lado los individuos se convierten en el componente territorial de mayor capacidad transformadora. Este período histórico se caracteriza por la gran movilidad de estos individuos. El territorio en el área de estudio considerada se ha vuelto en gran medida un todo urbano continuo atravesado por una red de infraestructuras de cierta estabilidad. En él los individuos se trasladan permanentemente, en algunos casos de manera intencionada en busca de zonas más atractivas dentro de la mancha urbana, en otros casos son excluidos de las zonas de mejores calidades.

Entonces a la hora de modelar este entorno se deberá encontrar un mecanismo para representar el movimiento de éstos individuos. Para hacerlo se representará este movimiento a través del mapeo de densidades de población. Es así que el movimiento quedará representado a través de estos mapas de densidades que lo muestran de manera indirecta a partir del vaciamiento de algunas zonas y densificación de otras.

Variables.

Si el modelo intenta mostrar el movimiento continuo de los individuos sobre el territorio es entonces necesario definir el conjunto de variables que pautan dicho movimiento. Está claro que las variables tomadas en cuenta no abarcan el universo completo de factores que inciden en los movimientos que realizan éstos individuos ni mucho menos, pero se debe recordar que el objetivo de esta investigación no es realizar un modelo preciso de los entornos de prueba que se han elegido, sino experimentar con técnicas de modelación/simulación y ver hasta qué punto éstas son capaces de reproducir desarrollos territoriales.

Dicho esto pasaremos a precisar las variables tomadas en cuenta para realizar el modelo.

Se han agrupado las variables temáticamente para lograr un mejor control de su incidencia en el modelo.

Ambiente: Las distintas calidades ambientales de las diferentes zonas del área de estudio son un factor relevante a la hora de definir el emplazamiento de los individuos dentro de ésta. Las zonas más ricas en áreas verdes o con espacios públicos de calidad actúan como fuertes atractores a la hora de que los individuos definan su lugar de residencia. Para incluir estos factores dentro del modelo se incluyeron las siguientes capas de información:

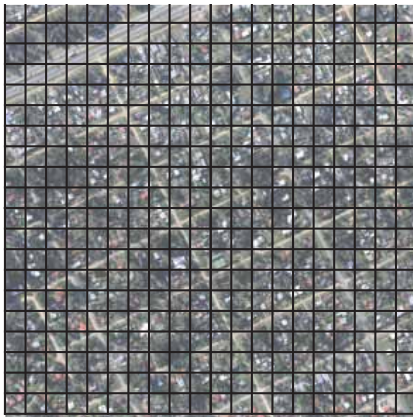
- Conjunto de espacios verdes dentro del área metropolitana.
- Rambla y playas.
- Espacios públicos, que incluyen plazas, zonas deportivas y de recreación.

Infraestructuras: Las zonas con mayor cantidad de infraestructuras también resultan de mayor atractivo que otras que carecen de las mismas, mayor conectividad, saneamiento, cobertura eléctrica son decisivas a la hora de definir un lugar de residencia dentro del área metropolitana. En este sentido se incluyeron en el modelo las siguientes capas:

- Conectores viales principales.
- Zonas con saneamiento.

Zonificación primaria: Los individuos se mueven en un territorio que es sujeto de definiciones legales que incentivan o no la implantación de grupos humanos en diferentes áreas. Se ha tomado la zonificación primaria establecida por el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de la ciudad de Montevideo con el fin de experimentar con los diferentes posibles desarrollos territoriales a partir de distintos niveles de incidencia de estas restricciones.

Centralidades: Las zonas de mayor concentración de población, tienden a atraer la localización de grandes infraestructuras, mayor cantidad de servicios y definir de esta manera centralidades nuevas. Se ha tratado de hacer “sensible” al modelo frente a la aparición de zonas de una densidad de población especialmente relevante y luego de reconocidas transformarla en nuevos atractores para la localización de nuevos individuos.



Las celdas tienen una extensión de 20X29 mts que es equiparable al área de un padrón urbano de tamaño medio. Si bien no es posible realizar una comparación geométrica con la realidad, esta correspondencia asegura una relación entre la unidad de cálculo del modelo y la unidad de cambio real, la parcela.

Entorno.

El área elegida es Montevideo y su zona metropolitana, ésta a sido una de las áreas que ha concentrado mayor cantidad de población y sufrido grandes y vertiginosas transformaciones en su estructura. Esto sumado a la existencia de información que será usada como insumo a la hora de generar el modelo la hace especialmente atractiva para llevar adelante la última experiencia de la investigación, poniendo a prueba todas las herramientas que se han evaluado hasta el momento.

En este último experimento se integrarán todas las herramientas que se han utilizado hasta ahora, tratando de generar un modelo que sea capaz de dar respuesta a todos los requerimientos que se plantearon como exigencias en el principio de este trabajo. Para esto se debe sumar a las ya utilizadas la implementación de un autómata celular que generará una dinámica interna que tratará de reproducir las características de los sistemas complejos en los que se basa este enfoque.

Para esto ya se ha probado el desempeño de algunas herramientas que serán fundamentales, la suma ponderada pixel a pixel que permitirá la integración de todas las variables consideradas y las estadísticas focales que hacen posible una valoración de las células en base a sus vecinas.

Game of Life.

Para la implementación del autómata celular se tomó como referencia el llamado “game of life” elaborado por von Neumann, éste es un ejemplo clásico y bastante sencillo en la historia de los autómatas celulares. Se desarrolla en torno a un vecindario de 8 células y usa 4 reglas para la transición entre cada iteración:

- Supervivencia. Todas las células vivas con 2 o 3 vecinas vivas siguen estando vivas.
- Alta densidad. Todas las células vivas con 4 o más vecinas vivas mueren.
- Baja densidad. Todas las células vivas con 2 o menos vecinas vivas mueren.
- Nacimientos. Todas las células muertas con tres vecinas vivas vive.

Tomando este ejemplo clásico como referente para el modelado de este último entorno se han hecho algunas modificaciones que suponemos nos permitirá obtener resultados que se acerquen más a los comportamientos de la realidad.

PIX>PIX

Experimentación con técnicas de modelación aplicadas a la simulación de entornos territoriales.

Células.

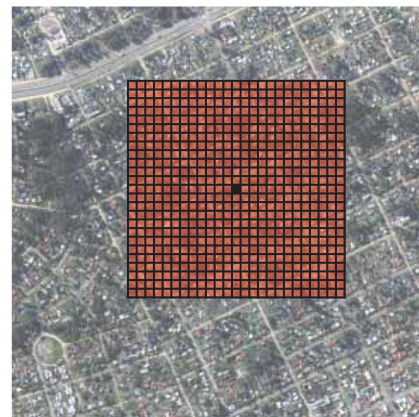
Primeramente se definió el tamaño de las celdas de cada uno de los raster. Se utilizará un tamaño de 20X20 mts. Ésta dimensión nos da una unidad de cálculo con una superficie similar a la de un padrón urbano promedio (400 mts²). Si bien la distribución uniforme de las celdas de un raster no nos permite hacer una correspondencia geométrica con los padrones que conforman en la realidad nuestra área de estudio nos brinda una base coherente ya que la unidad en base a la cual evoluciona la realidad por un lado (padrón) y el raster por otro (celda) son dimensionalmente similares con respecto al conjunto.

Variables.

La segunda variante es la introducción de las variables que se han definido antes como pertinentes a la hora de modelar el desarrollo urbano territorial del área en cuestión. En el autómata de von Neumann el único dato de entrada-salida que alimenta cada iteración del modelo tiene que ver con los estados de las células en sí mismas y nada más. En nuestro caso ya hemos dicho que el movimiento de los individuos que se intenta representar está relacionado por un lado con la distribución de ellos mismos en el territorio pero también con la existencia de estructuras de mayor remanencia que ya se han mencionado (infraestructura, ambiente, etc). La inclusión de éstas variantes se realiza mediante una suma ponderada que permite relativizar el peso del movimiento de los individuos por un lado y las estructuras de más remanencia por otro.

Vecindarios.

En nuestro modelo el movimiento de los individuos se pauta por una suma de variables que definen zonas más o menos “atractivas”, éstas serán mapeadas a través de un raster que es la suma $\text{PIX} > \text{PIX}$ de las variables estudiadas. Sobre éste raster se realizará una suma focal ya probada y explicada en las experiencias anteriores que nos permite “sumar” el valor de las celdas en un vecindario determinado. En el autómata de von Neumann el vecindario era de 8 células, eso en nuestro ejemplo sería asimilable a decir que cada padrón está influenciado solamente por los padrones inmediatamente contiguos, o un radio de 20 mts a la redonda. Sabemos que variables como infraestructura, conectividad u otras deben ser consideradas en entornos más amplios. Por esto se definieron vecindarios más extensos para nuestro modelo, los mismos son de 25 celdas (500mts) como vecindario base para el cálculo de celdas vivas y muertas en cada iteración y 51 celdas (1000 mts) para el cálculo de centralidades.



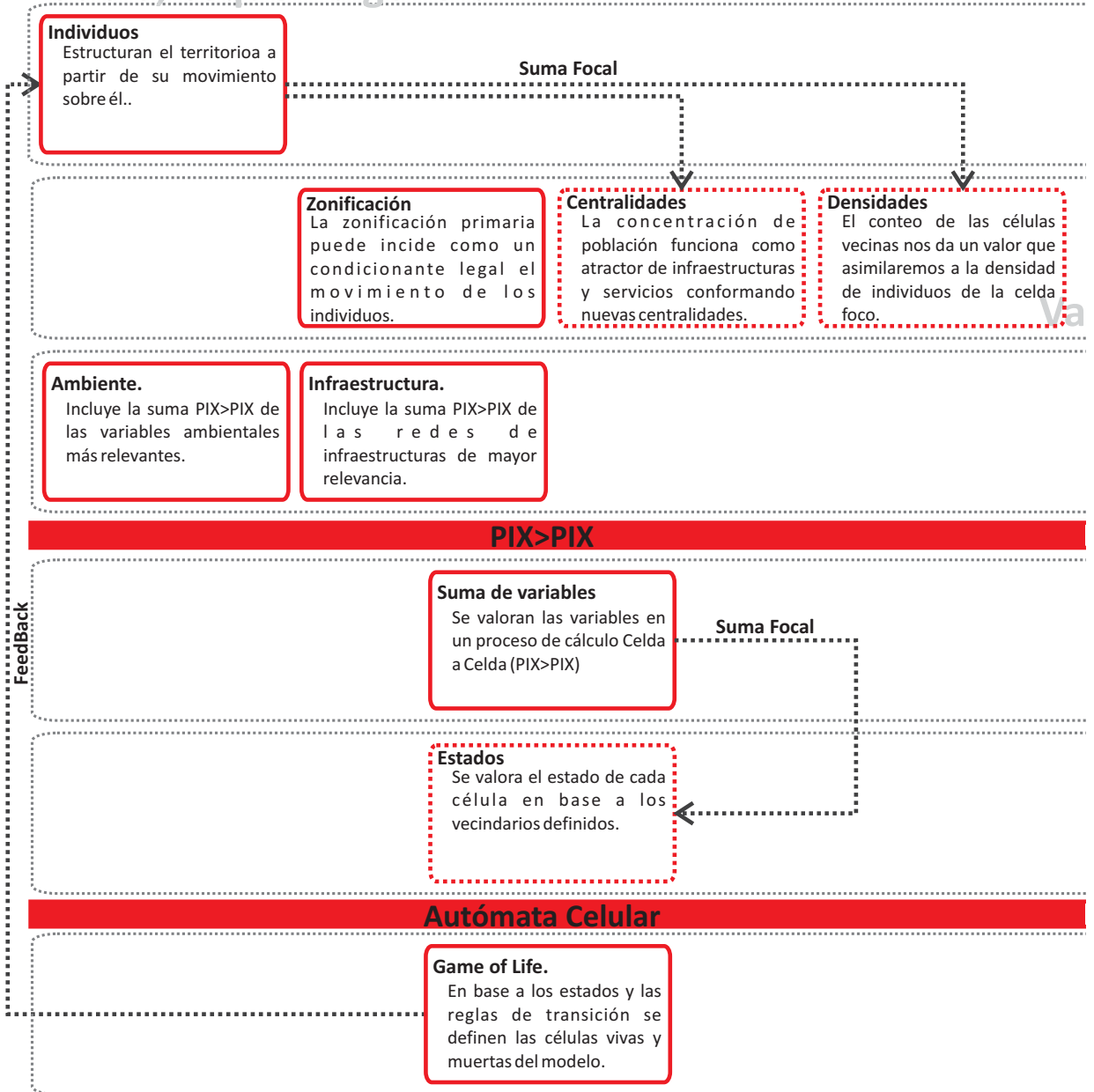
La suma focal que permite integrar la suma de variables para la definición de los estados de las distintas celdas toma un vecindario de 25 celdas que conforman un área de unos 250.000 m².

Estados.

En el autómata de von Neumann las células pueden adquirir tan sólo 2 estados, 0 y 1 (vivas o muertas), sin embargo en nuestro caso éstos 2 estados resultan insuficientes para realizar una valoración de las variables utilizadas. Nuestro raster de referencia, en base al cual se realizarán los cálculos de cada iteración, es el resultado de la suma focal que se mencionó antes, esto quiere decir que cada celda puede adquirir un valor entre 0 y 625. Sin embargo estos valores se dividieron en rangos de 0 a 10 que permiten un mayor control sobre el modelo.

Resumiendo las celdas de nuestro autómata tienen 11 estados posibles (0 > 10) que están relacionados no solamente con las células vivas o muertas sino también con la influencia de las variables que intervienen en el modelo.

Modelo, esquema general.



PIX>PIX

Experimentación con técnicas de modelación aplicadas a la simulación de entornos territoriales.

Los individuos y su constante tránsito sobre el territorio se transforman en el agente estructurador principal del mismo, provocando en él cambios permanentes y la aparición de patrones emergentes.

Entidades Generadoras.

Las centralidades y las densidades se incluyen como variables que surgen del movimiento mismo de los individuos simulado en el modelo. Por otro lado la zonificación aparece como una condicionante previa que influye dichos movimientos.

Variables Socio/Culturales.

La infraestructura y el ambiente son los grupos en los que se engloban las variables físicas del modelo. Éstas dos surgen de una suma ponderada que incluye varios juegos de datos como ser estructuradores viales, espacios públicos, cuencas fluviales, playas, etc..

Variables Físicas.

La suma pixel a pixel permite mapear el territorio, identificando las zonas más o menos “atractivas” para la concentración de individuos.

Proceso.

La suma focal amplía la valoración del territorio anterior y permite incorporar la influencia del “vecindario” que se definió previamente.

Salida 1.

En base a las reglas de transición se define un nuevo juego de células vivas y muertas que servirán como datos de entrada de la nueva iteración.

Salida 2.

E01.3 Conclusiones Parciales.

PIX>PIX- AUTÓMATA CELULAR.

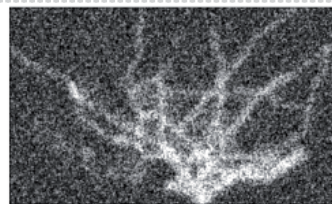
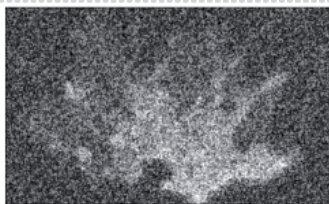
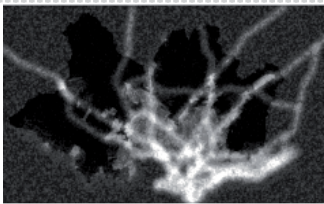
En esta última experiencia se ha sumado a las herramientas ya trabajadas anteriormente la implementación de un autómata celular como técnica de modelación que permita simular entornos complejos. En primera instancia queda claro como esta técnica suma al modelo un comportamiento dinámico más cercano al real además de ser mucho más evidentes la aparición de estructuras emergentes en la simulación. Sin embargo también ha quedado claro que tanto el autómata celular como su unión con los grupos de variables que se suman como condicionantes externas de mayor remanencia exige un importante proceso de calibración que permite llegar a un funcionamiento aceptable.

En nuestro caso la calibración del modelo se realizó a través de un proceso de prueba y error que nos llevó lentamente a obtener resultados cada vez más parecidos a los desarrollos reales del área de estudio.

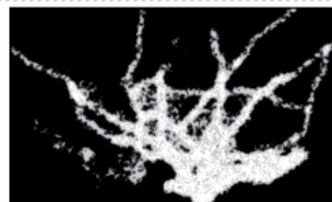
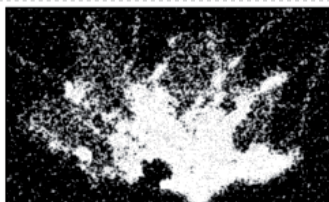
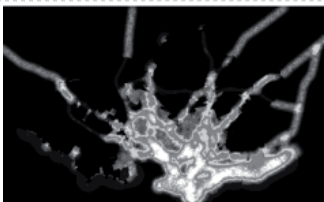
Luego de varios intentos se llegó a calibrar el modelo de forma aceptable. Las pruebas de calibración se realizaron con simulaciones de 50 iteraciones que tomaron como punto de inicio un raster generado de manera aleatoria.

En las imágenes se puede observar como rápidamente se pasa de una dispersión aleatoria de celdas “vivas” y “muertas” a una estructura de la zona metropolitana bastante reconocible.

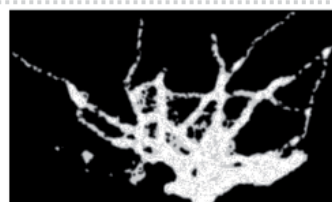
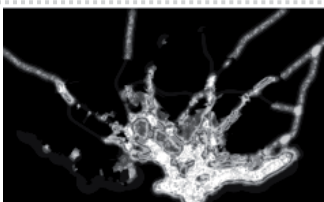
Iteración 5



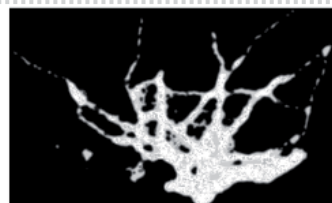
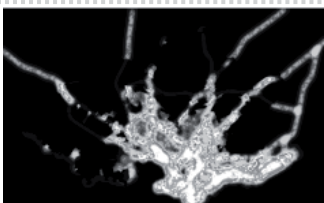
Iteración 15



Iteración 25



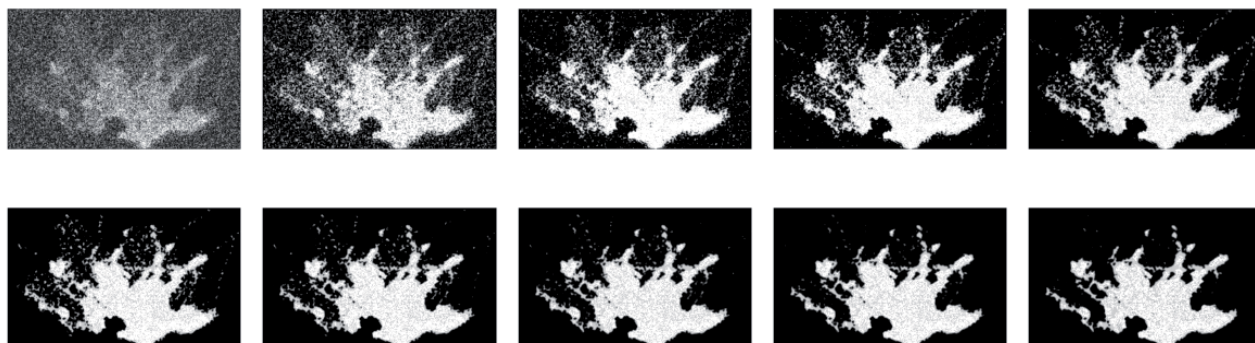
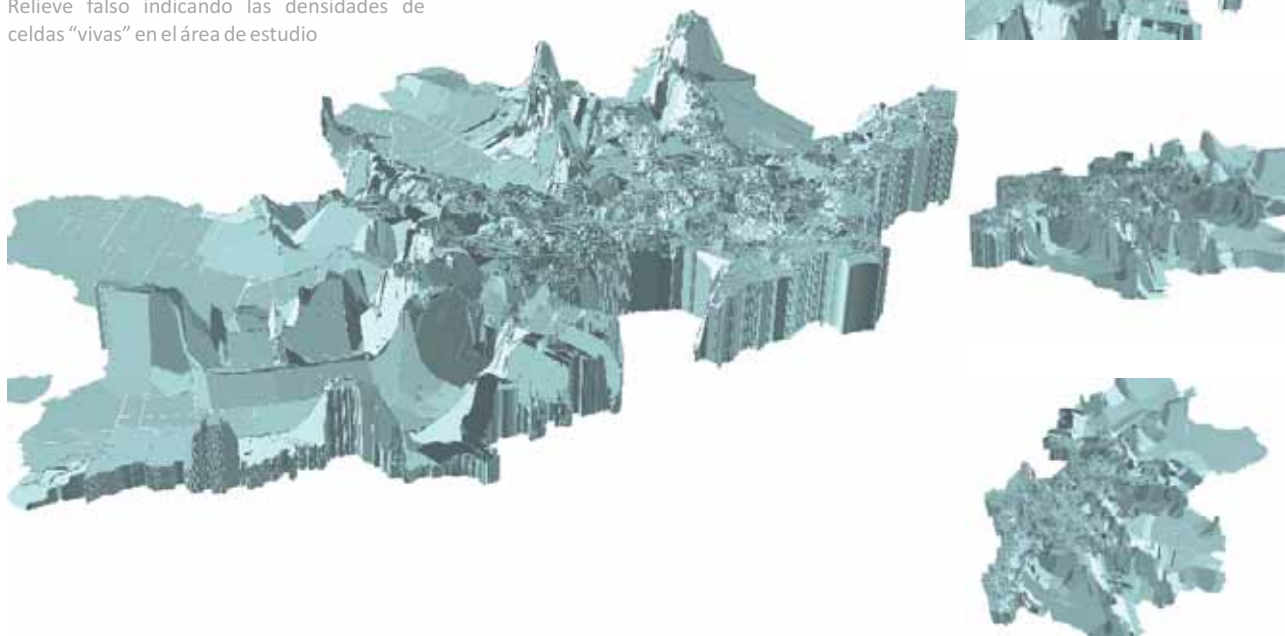
Iteración 35



Muestras de algunas de las pruebas de calibración que fueron necesarias para el ajuste del modelo. En ellas se calibró tanto la incidencia de cada variable en su grupo, así como el peso relativo de éstos grupos en el desarrollo del autómata celular.



Relieve falso indicando las densidades de
celdas “vivas” en el área de estudio



Algunas de las iteraciones de la simulación. En ellas se puede observar el pasaje de un estado inicial
aleatorio a una estructura metropolitana claramente reconocible.

PIX>PIX

*Experimentación con técnicas de modelación
aplicadas a la simulación de entornos
territoriales.*

7.0 Prefiguraciones Territoriales >





Catálogo de prefiguraciones territoriales.

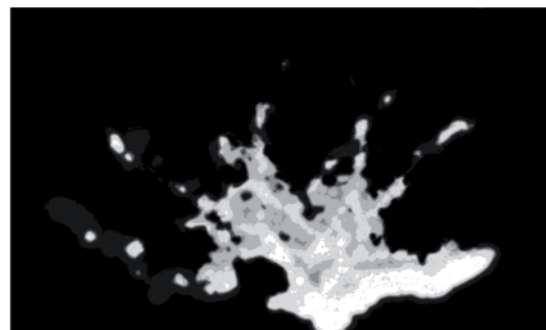
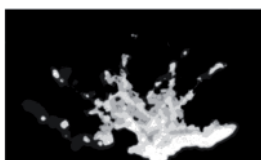
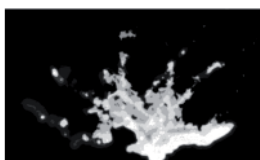
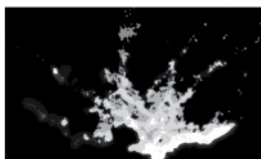
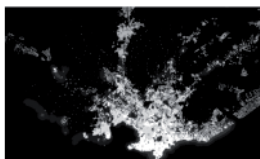
Una vez terminado y calibrado el modelo que se desarrolló en la última experiencia, que ha sido realizado con todas las herramientas y técnicas que nos hemos propuesto emplear en este trabajo, se procedió a ponerlo a prueba. Para esto se tomó como estado de partida la densidad de población que surge de los datos del censo de población y vivienda 2004 del INE.

A partir de este punto de partida se corrió el modelo bajo distintas configuraciones haciendo incidir de manera predominante alguna de las variables que se utilizaron. En cada caso se corrieron con 100 iteraciones y en todas las pruebas aparecieron estructuras bastante estables de manera relativamente rápida.

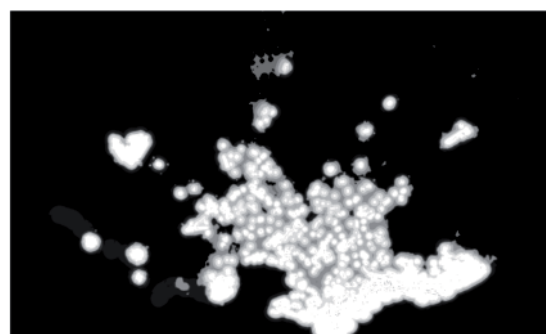
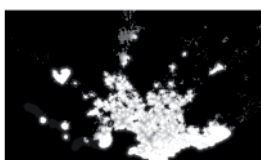
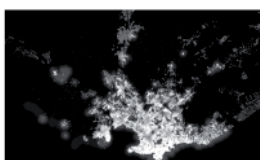
Es evidente que los resultados finales son coherentes en general con las variables predominantes que incidieron en cada caso y se puede reconocer en los mapeos la influencia de éstas variables de mayor peso.

A continuación se encuentra un resumen de las pruebas realizadas y los resultados obtenidos así como la variable que se eligió como predominante en cada simulación.

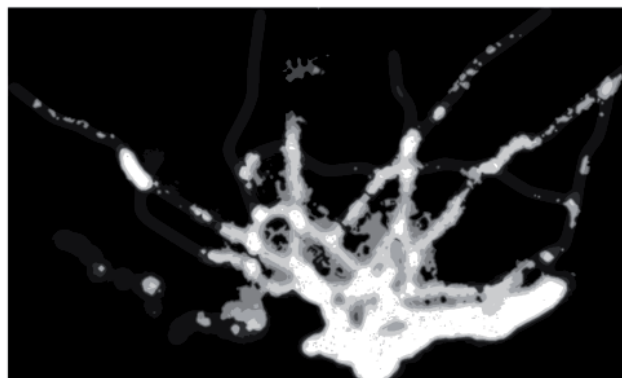
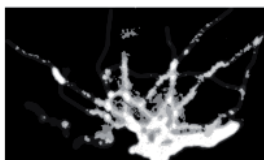
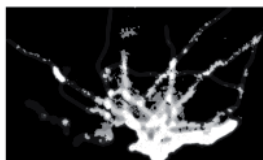
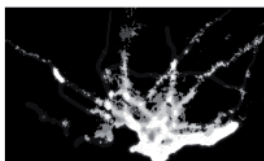
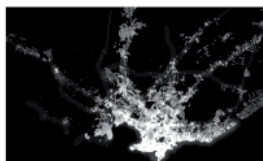
Zonificación Primaria | Zonas Urbanas.



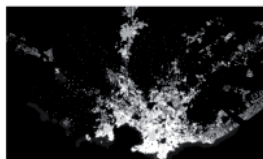
Ambiente | Espacios Verdes.



Estructuradores Viales|



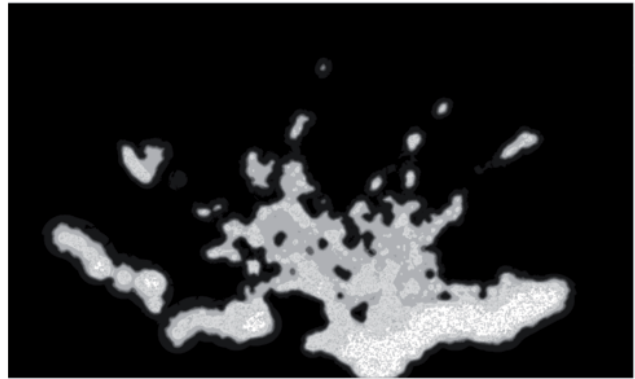
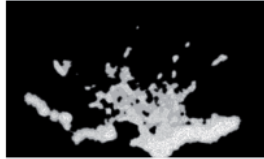
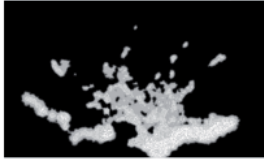
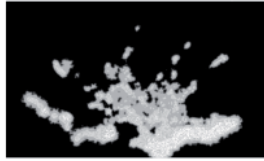
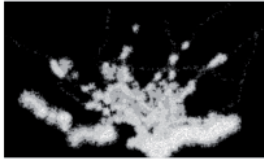
Centralidades|



PIX>PIX

*Experimentación con técnicas de modelación
aplicadas a la simulación de entornos
territoriales.*

Ambiente | Playas.



8.0 Conclusiones >





6.0 Conclusiones

En la introducción de este trabajo se ha mencionado cómo la representación de la realidad ha sido en el correr de la historia un reflejo de la visión científico/filosófica dominante. En este sentido se ha realizado un breve punteo de los soportes teóricos contemporáneos que permiten abordar la realidad desde una perspectiva totalmente nueva. Como es de esperar entonces este nuevo soporte teórico exige necesariamente el desarrollo de una forma de representación compatible con ellos y esta experiencia buscó transitar por algunas tecnologías que podrían dar respuesta a esta necesidad.

En base a esto es necesario asumir la necesidad de abordar el estudio de los fenómenos urbano-territoriales desde esta nueva base teórica que muestra la capacidad de explicar fenómenos que hasta hace pocos años atrás eran difíciles de entender y predecir. Esto implica entender el territorio como un sistema complejo en el que la estructura circunstancial del sistema es un estado momentáneo de un proceso dinámico que relaciona las distintas variables que intervienen en éste. Esto quiere decir que entender el desarrollo de los procesos urbano territoriales es necesariamente entender esa red de relaciones dinámicas que trabajan en un segundo plano y que son las responsables de la conformaciones momentáneas que este adquiere.

También implica aceptar que el desarrollo territorial responde a procesos autorganizativos, eso quiere decir que la posición que debe asumir el que planifica e interviene en el territorio es totalmente diferente. Éste debe entender que su accionar sobre el territorio a través de acciones puntuales no lo transforma de manera profunda, sencillamente agrega un dato más dentro de esos procesos autorganizativos que seguirán trabajando y reproduciendo patrones de comportamiento recurrentes.

El planificador entonces debe entender que la única manera eficaz de intervenir en el territorio es entender cómo se desarrollan esos procesos que trabajan en un segundo plano. De esta manera es posible modificarlos desde la base y poder concretar intervenciones de un impacto profundo y duradero en el territorio.

PIX>PIX

Experimentación con técnicas de modelación aplicadas a la simulación de entornos territoriales.

Es en este punto que los medios de representación se vuelven aún más relevantes. En otras áreas de la ciencia ya se ha trabajado en este aspecto, en ellas una vez aceptada esta nueva perspectiva para el abordaje del objeto de

estudio se han buscado mecanismos que permitan representar no solamente el objeto en sí mismo, sino ese conjunto de procesos que operan en segundo plano y que constituyen la esencia del mismo. En estas experiencias el medio de representación no sólo se ha vuelto tan solo un mecanismo mediante el cual se grafica una conformación eventual del objeto de estudio, por el contrario se ha vuelto una herramienta de gran valor operativo que permite la simulación de esos procesos autorganizativos logrando entender cómo éstos operan y responden a la intervención por parte de agentes externos.

Se ha hecho en este trabajo también un recuento de los soportes tecnológicos surgidos en los últimos años, el desarrollo de los mismos y las potencialidades que presentan como caja de herramientas a la hora de desarrollar técnicas de modelación con el objetivo de simular sistemas complejos. Asimismo se ha hecho un relevamiento de las técnicas que ya han sido desarrolladas y utilizadas para la simulación de una gran amplitud de fenómenos que van desde el crecimiento vegetal, hasta movimientos peatonales o la formación de galaxias. Éste trabajo logró incorporar algunas de estas técnicas aplicándolas a la simulación de procesos territoriales y valorar como sucede con otras experiencias su capacidad como herramienta de valor operativo a la hora de estudiar y predecir el comportamiento de los mismos.

Se han utilizado 4 entornos de experimentación que han permitido un desarrollo del trabajo que incorporó en cada paso mayor complejidad y herramientas a la hora de modelar cada ejemplo. De esta manera se ha logrado testear cada una de las herramientas y técnicas incorporadas midiendo su aporte y su efecto global en los entornos modelados de acuerdo a lo planificado previamente.

Es importante recordar que esta investigación no buscaba obtener como producto un modelo preciso de los entornos trabajados, dichos entornos sirvieron como base para probar las herramientas y técnicas elegidas. En este entendido si bien los resultados de cada experimento a la hora de la comparación de la cartografía real y la que surgió como resultado de la simulación fueron dispares, en una mirada más general se puede decir que más allá de las imprecisiones de los resultados puntuales se pudo ver que los patrones de desarrollo que adquirirían cada uno de los modelos eran similares a los reales y en base a esto suponer que con un estudio y un ajuste más detallado de las variables y las relaciones que las unen hubiera sido posible obtener mapeos mucho más precisos y mucho más semejantes a los desarrollos reales de cada entorno.

Cabe recordar que los modelos fueron realizados en base a un SIG de escritorio, y la implementación de un autómata celular muy básico, esto quiere decir que los resultados se han obtenido en base a herramientas y técnicas fácilmente accesibles a un gran número de personas y no ha sido necesario la utilización de conocimientos específicos demasiado complejos. Es importante destacar este punto ya que existe pre-concepto erróneo cuando se habla de temas como sistemas complejos, modelado y simulación lo que lleva normalmente a pensar que el desarrollo de estas experiencias requieren de una inversión en herramientas y capacitación importante, por el contrario el avance en el área tecnológica, que ya se ha puntualizado a la hora de analizar dichos soportes, hace que las herramientas necesarias para realizar estos desarrollos estén al alcance de la mano. Como contraparte la utilización de estas herramientas nos posibilitan el desarrollo de modelos con una potencialidad de representación de gran valor operativo, capaces de reproducir entornos de gran complejidad, prediciendo los desarrollos que de otra manera serían muy difíciles de interpretar y de esta manera definir intervenciones que produzcan cambios profundos y resultados deseables.

Resumiendo las experiencias han demostrado la capacidad de las herramientas elegidas para la representación de sistemas complejos y del territorio entendido como tal respondiendo de buena manera a los requerimientos que nos exigimos en un comienzo -recursividad, comportamientos bottom-up, relacionamiento paramétrico de variables, etc-. Si bien como se ha dicho los modelos realizados son de gran sencillez y su precisión es bastante baja creemos que han sido capaces de reproducir los patrones de desarrollos característicos de cada entorno. Es decir que esta falencia no es fruto de las características y potencialidades de las herramientas y técnicas utilizadas en sí mismas sino del nivel de profundización alcanzado en cada ejemplo y que consideramos apropiado en relación al alcance de este trabajo.

Podemos decir por lo tanto que esta experiencia ha servido para convencernos de que este tipo de acercamientos al territorio, tanto para su representación como para su planificación e intervención es viable y capaz de producir resultados que superan con creces el tiempo y el esfuerzo invertido en su realización. Queda entonces, en lo que a nosotros respecta al menos, el camino abierto para futuras experiencias y el avance y profundización de este tipo de desarrollos.



9.0 Bibliografía >





PIX>PIX

*Experimentación con técnicas de modelación
aplicadas a la simulación de entornos
territoriales.*

Bibliografía.

Autopoiesis, la unidad de una diferencia. Luhmann y Maturana

Arte-arquitectura-gramaticas complejas. Carlos Reynoso

Comportamiento contraintuitivo de los sistemas sociales. JAY W. FORRESTER

Emergence. Steve Johnson

La ciudad escalable. Atrapados entre Jane Jacobs y los videojuegos. Juan Freire

Algoritmos genéticos para diseñar vías urbanas. M. Angélica Pinninghoff,
Eduardo Matthews, Héctor Díaz C.

Automatas celulares para modelar usos de suelo urbano. Una revision del modelo de White. Antonio Aguilera Ontiveros

Los modelos en el ordenamiento territorial. Elsa Dominguez

Modelos analisis regional. Federico morales Barragén

Videojuegos. Hacia la recreacion interactiva de la realidad. Marcelo Daniel Hansen

Simulacion urbana parametrica. Claudio Labarca, M.Rodrigo Culagovski R.

